

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE EDUCAÇÃO



**ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS SEGUNDO O MODELO
INSTRUTIVO 4C-ID: UM ESTUDO COM ALUNOS DO 9º ANO**

Mário Marcelino Luís de Melo

Orientadora: Professora Doutora Guilhermina Maria Lobato Ferreira de
Miranda

Tese especialmente elaborada para obtenção de grau de Doutor em Educação,
especialidade de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação

2018

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE EDUCAÇÃO



**ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS SEGUNDO O MODELO
INSTRUTIVO 4C-ID: UM ESTUDO COM ALUNOS DO 9º ANO**

Mário Marcelino Luís de Melo

Orientadora: Professora Doutora Guilhermina Maria Lobato Ferreira de Miranda

Tese especialmente elaborada para obtenção de grau de Doutor em Educação, especialidade de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Filipe Lacerda de Matos

Vogais:

- Doutor Paulo Maria Bastos da Silva Dias, Professor Catedrático do Instituto de Educação da Universidade do Minho
- Doutor José Luís Pires Ramos, Professor Associado da Escola de Ciências Sociais da Universidade de Évora
- Doutor João Filipe Lacerda de Matos, Professor Catedrático do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa
- Doutora Guilhermina Maria Lobato Ferreira de Miranda, Professora Auxiliar com Agregação do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa, orientadora
- Doutora Neuza Sofia Guerreiro Pedro, Professora Auxiliar do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa

2018

Para o Diogo e Miguel.

AGRADECIMENTOS

É o momento de olhar para os últimos anos, lembrar e agradecer a todos os que de alguma forma me acompanharam e ajudaram neste projeto.

Em primeiro lugar, agradeço profundamente à minha orientadora, Professora Doutora Guilhermina Lobato Miranda, pela amizade e apoio incondicional em todas as fases deste percurso. Pelo exemplo de sabedoria, de rigor e de determinação, pela orientação e dedicação e em especial por acreditar e confiar em mim e no meu trabalho. O convívio e o trabalho conjunto enriqueceram-me do ponto de vista humano e profissional.

Gostaria também de agradecer à Dr.^a Isabel Soares, não só por ter permitido a realização deste projeto, mas também por ter acreditado nele e em mim.

Um agradecimento especial às minhas colegas de grupo, Inês e Susana, pelo apoio, incentivo, colaboração e ajuda na implementação do projeto.

Ao Pedro Mendonça, pela ajuda fundamental no desenho gráfico, na programação e pelas sempre pertinentes sugestões que permitiram criar o RED “Circuitos elétricos”.

Um agradecimento muito especial à Celina pelo seu Amor e pela sua compreensão e incentivo na realização deste projeto!

À minha família presente e aos meus pais, que estejam onde estiverem, continuam a acreditar em nós e a cuidar de nós.

RESUMO

Nos dias de hoje o problema do uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) não está relacionado com escassez de recursos, mas sim com a forma como estes devem ser usados para promoverem a aprendizagem de modo eficiente.

O objeto de estudo desta tese é a conceção, implementação e avaliação de um recurso educativo digital (RED) para o ensino dos circuitos no 9ºano do 3ºciclo do Ensino Básico. O RED estudado foi concebido com base no Modelo de Desenho Educacional de Quatro Componentes (*Four Components Instructional Design Model – 4C/ID-model*). O modelo 4C/ID aplica-se ao treino de aprendizagens complexas que tem por objetivo a integração de conhecimentos, competências e atitudes. No nosso caso a aprendizagem complexa que se pretendeu trabalhar foi a “análise de um circuito elétrico simples”.

A investigação foi realizada com cinco turmas do 9ºano de uma escola do ensino particular da região de Lisboa. A amostra foi dividida em dois grupos: o grupo experimental (n = 78) constituído por três turmas e o grupo de controlo (n = 51) constituído por duas turmas.

Apesar de cada turma constituir um grupo natural a seleção das turmas para os dois grupos foi aleatória. Utilizámos uma metodologia experimental com *design* quase-experimental para se estudar o efeito do tipo de abordagem instrutiva (4C/ID versus convencional) sobre as variáveis ‘desempenhos’ (reprodução de conhecimentos e transferência de aprendizagem), ‘esforço mental percecionado’, ‘eficiência instrutiva’ e ‘abordagens à aprendizagem’.

Realizou-se um *follow-up* passado uma semana. Também foi nosso objetivo descrever o processo através da observação das sessões de ambos os grupos e de entrevistas semi-diretivas realizadas aos professores envolvidos.

A investigação é constituída por um estudo que originou cinco artigos que analisam os dados com perspetivas diferentes, permitindo dar resposta aos objetivos de investigação. O primeiro artigo corresponde a uma revisão sistemática da literatura com meta-análise para sistematizar

os resultados de investigação sobre a eficiência da utilização do modelo 4C/ID em sala de aula. O segundo artigo corresponde à fundamentação teórica das opções tomadas no planeamento e construção do RED. No terceiro e no quarto artigos analisámos o efeito da utilização do modelo 4C/ID sobre as variáveis ‘desempenhos’ dos alunos (reprodução de conhecimentos adquiridos e transferência de aprendizagem), ‘esforço mental percecionado’ e ‘eficiência instrutiva’. O quinto artigo focou-se na análise do efeito da utilização do modelo 4C/ID sobre a variável ‘abordagens à aprendizagem’.

Os resultados de investigação mostraram que houve diferenças significativas, a favor do grupo experimental, entre os dois grupos ao nível das variáveis ‘desempenhos’, ‘esforço mental percecionado’ para o teste de transferência, ‘eficiência instrutiva’, e ‘abordagens à aprendizagem’.

Palavras-chave: Abordagens à aprendizagem, Aprendizagem complexa, Circuitos elétricos, Meta-análise, Modelo 4C/ID, Teoria da Aprendizagem Multimédia, Teoria da Carga Cognitiva.

ABSTRACT

Nowadays, the problem of the Information and Communication Technologies (ICT) use is not related to the lack of resources, but it is related to how they should be used to promote efficient learning.

The purpose of this thesis is to design, implement and evaluate a digital educational resource (DER) for teach electrical circuits in the 9th grade. The DER design was based on the Four Component Instructional Design Model (4C/ID-model). The 4C/ID-model applies to complex learning training. Complex learns involves the integration of knowledge, skills and attitudes. In our case the complex learning that was intended to work was the "analysis of a simple electric circuit".

The research was carried out with five classes from the 9th grade of a private school in the Lisbon region. The sample was divided into two groups: the experimental group (n = 78) composed by three classes and the control group (n = 51) composed by two classes. Although each class constitutes a natural group, the selection of classes for the two groups was made randomly. We used an experimental research methodology with a quasi-experimental design to study the effect of the type of instructional approach (4C/ID versus conventional) on the variables 'performance' (knowledge reproduction and transference of learning), 'perceived mental effort' and 'students approaches to learning'. We did a follow-up a week later. It was also our goal to describe the implementation process, so we observe both groups sessions and we conducted interviews to the teachers involved.

The research consists of a study that has originated five papers that analyse the data with diferente perspectives, allowing to meet research objectives. The first paper corresponds to a systematic literature review with meta-analysis to systematize the results of research on the efficiency of the use of the 4C/ID-model in classroom. The second paper corresponds to the theoretical foundation of the options taken in the DER design In the third and fourth papers

we analysed the effects of the use of the 4C/ID-model on the students' 'performance' variables (reproduction of acquired knowledge and transference of learning), 'perceived mental effort' and 'instructional efficiency'. The fifth paper focused on the analysis of the effect of the 4C/ID-model approach on the variable 'students approaches to learning (SAL)'. The research results showed that there were significant differences, in favour of the experimental group, between the two groups in the variables 'performance', 'perceived mental effort' for the transfer test, 'instructional efficiency', and 'SAL'.

Keywords: Cognitive Load Theory, Complex learning, Electric circuits, Meta-analysis, Multimedia Learning Theory, Students Approaches to Learning (SAL), 4C/ID-model.

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO.....	1
Contextualização do Problema	1
Enquadramento Teórico	3
Arquitetura Cognitiva e Processamento de Informação	4
Teoria da Carga Cognitiva	8
Teoria da Aprendizagem Multimédia	10
Teorias e Modelos de Instrução	13
Modelo 4C/ID	18
Aprendizagem Multimédia Segundo o Modelo 4C/ID	19
Abordagens à Aprendizagem.....	23
Metodologia de Investigação.....	26
Objetivos, Questões de Investigação e Definição das Variáveis	26
Opções Metodológicas.....	27
Desenho da Investigação.....	29
Instrumentos de Recolha de Dados.....	30
Pertinência do Estudo.....	31
Estrutura da Tese.....	32
Referências.....	35
CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA	43
Efeito do modelo 4C/ID sobre a aquisição e transferência de aprendizagem: revisão de literatura com meta-análise	43
Resumo.....	43
Abstract.....	44
Introdução	45

O Modelo 4C/ID	46
Eficiência do Modelo 4C/ID: Evidências Empíricas.....	47
Meta-Análise.....	48
Hipóteses.....	49
Metodologia	50
Procedimentos para a Pesquisa de Literatura.....	50
Critérios de Inclusão	51
Codificação dos Estudos e das Variáveis.....	51
Estudos Seleccionados.....	52
Cálculo das Medidas de Magnitude de Efeito e Análise Estatística	55
Resultados.....	55
Magnitude de Efeito Global.....	56
Estimativa do Viés de Publicação (Publication Bias).....	59
Análise da Magnitude de Efeito por Variável.....	60
Discussão	63
Considerações Finais	65
Referências.....	67
CAPÍTULO II – CONSTRUÇÃO DO RECURSO EDUCATIVO DIGITAL (RED)	71
The 4C/ID-Model in Physics Education: Design Digital Learning Environment to	
Teach Electrical Circuits.....	71
Abstract.....	71
Introduction.....	73
Theoretical Background.....	73
Instructional Design.....	73
Overview of the 4C/ID-Model.....	75

Multimedia Learning and the 4C/ID-Model	77
Learning Environment Design	81
Set performance objectives	81
Design Learning Tasks	83
Design Supportive Information.....	87
Design Procedural Information.....	90
Design Part-Task Practice.....	91
Method	92
Participants.....	92
Instruments.....	92
Procedure	93
Results	94
Discussion and Conclusion	97
Suggestions for Further Research	100
References.....	101
CAPÍTULO III – RESULTADOS DE INVESTIGAÇÃO.....	105
III.1 - The effects of 4C-ID model approach on acquisition and transfer of knowledge about electric circuits.....	106
Abstract.....	106
Introduction.....	107
The 4C/ID-Model Background	108
The Multimedia Learning Theory.....	109
The Cognitive Load Theory.....	110
The 4C/ID-Model.....	112
Empirical Evidences of the Effectiveness of the 4C-ID-Model	115

The Empirical Study	119
Propose of the Study	122
Methodology	122
Experimental design.....	122
Participants.....	123
Independent variable.....	123
Dependent variables.....	124
Cognitive Load.....	125
Instructional efficiency	125
Results	126
Performance	126
Cognitive Load.....	127
Instructional efficiency	127
General Discussion and Conclusion	128
References	132
III.2 - Learning electric circuits: The effects of the 4C-ID instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge	139
Abstract	139
Introduction	140
Theoretical Framework – the 4C/ID-Model	144
The Model Background	144
Literature Review	147
Research Questions and Hypothesis	150
Method	151
Participants.....	151

Independent variable.....	151
Dependent Variable	155
Experimental Procedure.....	158
Results	159
Achievement Tests (Knowledge Acquiring and Learning Transfer).....	159
Perceived Cognitive Load.....	160
Instructional Efficiency.....	161
Discussion	163
Future Research.....	170
Conclusion	171
References.....	172
III.3 - Modelo instrutivo 4C/ID: efeitos sobre as abordagens à aprendizagem de alunos do 9º ano.....	183
Resumo.....	183
Abstract.....	185
Introdução	186
Revisão da Literatura	186
O Modelo Instrutivo de Quatro Componentes (4C-ID).....	186
Tipos de Abordagens à Aprendizagem	188
Estudos Empíricos sobre as Abordagens à Aprendizagem.....	191
Objetivos	194
Método	195
Participantes.....	195
Instrumentos de Recolha de Dados.....	195
Procedimento	198

Validação do IPE na Amostra em Estudo.....	199
Análise de Dados	200
Resultados.....	201
Distribuição dos Grupos em Função da Abordagem à Aprendizagem.....	201
Comparação dos Grupos no Pré e no Pós-teste	202
Análise do Uso da Abordagem Superficial à Aprendizagem	204
Análise do Uso da Abordagem Profunda à Aprendizagem	204
Evolução dos Grupos do Pré-teste para o Pós-teste.....	204
Efeito da Variável 'Classificação Média de Físico-Química'	205
Descrição do Processo – Dados de Natureza Qualitativa	208
Discussão dos Resultados	210
Conclusões e Implicações do Estudo	213
Referências.....	215
CAPÍTULO IV	219
Discussão Integrada dos Resultados	219
Limitações do Estudo e Sugestões para Investigações Futuras	233
Referências.....	237

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Distribuição da amostra pelos grupos (experimental e de controlo) e pelos professores	28
Quadro 2. Caracterização dos estudos selecionados.....	56
Quadro 3. Magnitude de efeito global	59
Quadro 4. Magnitude de efeito para as variáveis 'reprodução' (R) e 'transferência' (T)	62
Table 5. Summary of reactions and behaviours of students in both groups	96
Table 6. Example of the 4C/ID-model blueprint for task class 2	121
Table 7. Performance mean scores and standard deviations.....	126
Table 8. Mental effort mean scores and standard deviations.....	127
Table 9. Instructional efficiency mean scores and standard deviations.....	127
Table 10. Means and standard deviations of the achievement variables (knowledge acquiring and learning transfer)	159
Table 11. Means and standard deviations of dependent variable perceived cognitive load for the achievement tests	160
Table 12. Means and standard deviations of the instructional efficiency variable obtained in the achievement tests	162
Quadro 13. Características dos diferentes tipos de abordagem à aprendizagem	190
Quadro 14. Características do contexto de aprendizagem que influenciam as abordagens à aprendizagem	190
Quadro 15. Observações das aulas dos grupos experimental e de controlo	197
Quadro 16. Distribuição dos sujeitos por abordagem à aprendizagem no pré e pós-teste.....	202
Quadro 17. Distribuição dos sujeitos por subescala de abordagem à aprendizagem.....	202
Quadro 18. Valores médios da pontuação obtida para a abordagem superficial e profunda nos pré e pós-teste	203

Quadro 19. Análise da interação 'abordagem instrutiva' e a 'classificação média Físico-Química'	206
Quadro 20. Resultados da ANCOVA	207

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representação das interações entre os diferentes tipos de memórias e os tipos de processos cognitivos. (Fonte: Khalil & Elkhider, 2016).....	6
Figura 2. Sistema de processamento de informação (adaptado de Mayer, 2009, p.228).....	12
Figura 3. Fases do modelo ADDIE e os componentes de cada fase (Fonte: Khalil & Elkhider, 2016).	14
Figura 4. Representação de um modelo de ID. (Fonte: Miranda, 2009).	17
Figura 5. Gráfico de floresta dos estudos selecionados para a meta-análise com a indicação do OR (IC95%).....	57
Figura 6. Gráfico de funil para a meta-análise para magnitude de efeito vs erro padrão de magnitude de efeito (modelo de efeito aleatórios).....	60
Figura 7. Diagrama de floresta para os desempenhos de reprodução (R) com a indicação do OR (IC95%).....	61
Figura 8. Diagrama de floresta para os desempenhos transferência (T) com a indicação do OR (IC95%).....	61
Figure 9. A hierarchy of constituent skills with an indication of associated knowledge and attitudes for the complex skill “Analyse a simple electrical circuit”	82
Figure 10. (a) Example of a circuit for lesson 2 and (b) example of a circuit for lesson 3.	84
Figure 11. Sequence of learning tasks in lessons 2 (a) and 3 (b).....	84
Figura 12. Performance of both groups on the reproduction and transfer test for the 1st application and for the follow-up application.	94
Figure 13. A schematic overview of the 4C/ID-model and its main elements (van Merriënboer, Clark & de Crook, 2002).	113
Figura 14. The structure of the learning environment (Melo & Miranda, 2014).....	120
Figure 15. An overview of the lesson 3 (task class 2).	121

Figure 16. (a) Instructional efficiency for the experimental group (EG) and control group (CG) on the reproduction test. (b) Instructional efficiency for the experimental group (EG) and control group (CG) on the transfer test.	128
Figure 17. The structure of the learning environment (Melo & Miranda, 2014).....	153
Figure 18. Screen shot of a true and false item in a learning task.	153
Figure 19. Screen shot of a drag and drop item in a learning task.....	154
Figure 20. Transfer test item.....	156
Figure 21. An overview of the procedure.	158
Figure 22. (a) Instructional efficiency obtained by the experimental group (EG) and the control group (CG) in the knowledge acquisition test. (b) Instructional efficiency obtained by the experimental group (EG) and the control group (CG) in the transfer test (Melo & Miranda, 2014).....	162
Figure 23. Screen shot of supportive information about series and parallel circuits.....	166
Figure 24. Screen shot of cognitive feedback about voltage in series circuits.....	167

ÍNDICE DE ANEXOS (em papel)

Anexo I – Protocolo da meta-análise

Anexo II - Teste de reprodução de conhecimentos sobre circuitos elétricos

Anexo III – Teste de transferência de conhecimentos sobre circuitos elétricos

Anexo IV - Escala de valor (*rating scale*) de carga cognitiva (Paas, 1992)

Anexo V – Inventário de Processos de Estudo (Gonçalves, Simões, Almeida & Machado, 2006)

Anexo VI – Fichas de observação das aulas dos dois grupos

Anexo VII – Guião de entrevista de investigação

Anexo VIII – Grelha de avaliação do conteúdo e guião de exploração

ÍNDICE DE ANEXOS (em CD-ROM)

Anexo IX – Recurso Educativo Digital para Windows

Anexo X – Recurso Educativo Digital para MacOS

Anexo XI – Base de dados em SPSS para as variáveis ‘desempenhos de reprodução’, ‘desempenhos de transferência’, ‘esforço mental percebido’ e ‘eficiência instrutiva’

Anexo XII – Base de dados em SPSS para a variável ‘abordagens à aprendizagem’

Anexo XIII – Resultados do tratamento estatístico (*outputs* do SPSS e MSEXcel)

INTRODUÇÃO

Contextualização do Problema

O objetivo geral deste trabalho de investigação centra-se na apresentação da metodologia usada na conceção, construção e avaliação de um recurso educativo digital (RED) para o ensino do tema “Circuitos elétricos” no 9º ano do 3º ciclo do ensino básico. A conceção e a construção basearam-se nos princípios do modelo de desenho instrutivo de quatro componentes (*four components instructional design, 4C-ID-model*) e o estudo do seu impacto incidu sobre a avaliação dos desempenhos dos alunos, ao nível da aquisição e da transferência de aprendizagem, sobre a carga cognitiva a que os alunos estavam sujeitos e sobre o tipo de abordagem à aprendizagem que os alunos adotam perante as tarefas de aprendizagem.

Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) no livro “Cognitive Load Theory” estabelecem a diferença entre conhecimento biológico primário que corresponde à aprendizagem natural na qual os humanos aprendem sem serem ensinados, ou seja, pela imersão dos sujeitos no sistema social ao qual pertencem e o conhecimento biológico secundário que, por vezes, é denominado por aprendizagem pelo ensino, ao qual estão associados métodos e estratégias de ensino. É aqui que o desenho instrutivo, denominado na literatura anglo-saxónica por *instructional design* (ID) ou *instructional design and technology* (IDT), tem um papel fundamental. Começamos pela definição do campo de estudo do ID. O ID centra-se na gestão dos recursos cognitivos dos alunos com o intuito de facilitar a aquisição do conhecimento biológico secundário, isto é, o ID estabelece a ligação entre os recursos educativos disponíveis para a aprendizagem e o método de ensino usado para promover essa aprendizagem de forma significativa, através da gestão eficiente desses recursos cognitivos.

Qual é a sua abrangência? Segundo Reiser (2001a e 2001b), o ID “engloba a análise de problemas de aprendizagem, do desenho, do desenvolvimento, da implementação, da avaliação e da gestão dos processos instrutivos e não-instrutivos; também se ocupa dos recursos que devem ser usados para melhorar a aprendizagem e o desempenho” (p. 53) dos alunos no seu contexto de aprendizagem. Esta definição engloba duas perspectivas do ID: uma perspectiva pedagógica que corresponde à integração dos aspetos referidos por Reiser nos modelos e teorias da aprendizagem e da instrução e uma perspectiva processual que se refere ao processo de como um recurso educativo (digital) é pensado, concebido, implementado e modificado durante o processo de aprendizagem dos alunos. Assim, o ID é pensado como uma teoria de *design* de recursos educativos (digitais), na qual estão englobadas as teorias e os modelos da aprendizagem e da instrução.

A utilização de modelos de ID para a conceção do ambiente de aprendizagem, com recurso às tecnologias de informação e comunicação (TIC), enquadra-se nas teorias e modelos da aprendizagem multimédia que, segundo van Merriënboer e Kester (2009), podem ser posicionadas em três níveis. Num primeiro nível encontram-se as teorias que descrevem os sistemas de memória e os processos cognitivos que explicam a forma como os seres humanos processam diferentes tipos de informação, ou seja, como é que os seres humanos aprendem através dos *inputs* provenientes dos diferentes sentidos (abordagem do processamento de informação). Como exemplos destas teorias temos: (a) a teoria da dupla codificação (*dual coding theory*) de Paivio (Paivio, 1986); (b) o modelo da memória de trabalho de Baddeley, que preconiza a existência de uma unidade central de processamento de informação com dois sistemas de apoio, um que armazena informação auditiva (*phonological loop*) e outro que armazena informações provenientes da visão (*visual/spatial sketchpad*) (Baddeley, 1992, 1997); e (c) o modelo de Cowan para a atenção e memória (Cowan, 1997). Num segundo nível encontram-se as teorias de *design* de mensagens

educativas, que fornecem linhas orientadoras para a conceção de mensagens multimédia. Destas teorias destacam-se a Teoria da Carga Cognitiva de Sweller (Sweller, 2011), a Teoria da Aprendizagem Multimédia de Mayer (Mayer, 2009) e o modelo de Schnotz sobre a integração de informação proveniente de palavras e textos (Schnotz, 2005). No terceiro nível encontram-se as teorias e os modelos com carácter mais prescritivo que definem as normas que devem ser seguidas no desenvolvimento de programas educacionais. É neste terceiro nível que se situa o modelo de desenho instrutivo usado na conceção e construção do RED “Circuitos elétricos” - o modelo 4C/ID (cf. van Merriënboer, 1997; van Merriënboer Clark, & De Crook, 2002; van Merriënboer, Jelsma, & Paas, 1992; van Merriënboer, & Kirschner, 2013; van Merriënboer, Kirschner, & Kester, 2003), que é objeto de estudo nesta investigação.

Enquadramento Teórico

O enquadramento teórico que aqui se apresenta tem como principal objetivo contextualizar o modelo 4C/ID em termos de abordagem (*framework*) e teorias¹. Importa salientar que neste capítulo da tese são apenas contemplados os aspetos que não foram abordados nos restantes capítulos. Esta decisão resulta da opção tomada para o formato de apresentação da tese que engloba um conjunto de estudos apresentados sob a forma de artigos científicos que são integrados neste trabalho de investigação. Nestes estudos surge sempre uma contextualização teórica de cada tema, pelo que nesta parte vamos apenas elaborar um

¹ Abordagem é um conjunto de conceitos usados para se compreender um domínio, mas que não está suficientemente organizado de modo a construir uma teoria; a teoria é um sistema dedutivo mais preciso, mais genérico que um modelo (por exemplo, teoria da carga cognitiva e teoria da aprendizagem multimédia); o modelo corresponde a uma aplicação de uma teoria a um fenómeno específico (por exemplo o modelo 4C/ID) (Anderson, 1983).

resumo dos conceitos, teorias e modelo inerentes à investigação, fazendo sempre que se considere pertinente referência aos diferentes capítulos e subcapítulos da tese.

Arquitetura Cognitiva e Processamento de Informação

O conhecimento da arquitetura cognitiva e da cognição humana (processamento de informação) permite determinar as condições que maximizam a eficiência de uma instrução. Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) definem a arquitetura cognitiva humana como o conhecimento da forma como as estruturas e as funções do processo cognitivo se organizam, ou seja, sobre a forma como as pessoas lidam com novos conhecimentos (como aprendem). Este conhecimento permite conceber ambientes de aprendizagem mais eficientes do ponto de vista instrutivo, o que facilita a obtenção de dados de investigação sobre os procedimentos (instrutivos) que beneficiam o processo de aprendizagem, em particular com o recurso às tecnologias digitais.

As principais características de um sistema de processamento de informação são a existência: (1) de um conjunto muito grande de conhecimentos (informações) que permitem que o sistema funcione em diferentes ambientes; (2) de procedimentos para armazenar conhecimentos por intermédio de estímulos externos; (3) de procedimentos para promover o aperfeiçoamento dos esquemas mentais² existentes que permitem lidar com novas situações; (4) de procedimentos para garantir que a aquisição e/ou aperfeiçoamento dos esquemas mentais que levam a um desempenho mais eficiente; e (5) de procedimentos que permitem relacionar as novas informações com as existentes (Sweller, 2006). O conhecimento destes processos só é possível através do estudo da memória³, que se divide em dois tipos

² Um esquema mental corresponde a uma estrutura mental usada para representar conceitos genéricos armazenados na memória de longo prazo (Rumelhart, 1980).

³ Sistema biológico e cognitivo altamente complexo que tem a capacidade de preservar a informação representada e processada.

fundamentais: a memória de trabalho de capacidade limitada constituída por unidades de processamento parcialmente independentes associadas a informações provenientes dos canais de informação visual/espacial e auditivo/verbal e a memória de longo prazo com capacidade considerada ilimitada quando comparada com a da memória de trabalho (Paas, Tuovien, Tabbers & Gernven, 2003).

A aprendizagem, de acordo com esta perspectiva, assenta na interação entre estes dois sistemas de memória, uma vez que a memória de trabalho apresenta um papel ativo no processamento consciente dos novos conhecimentos e a memória de longo prazo como um “repositório de informação” no qual os novos conhecimentos são armazenados em novos esquemas mentais ou esquemas mentais com maior número de elementos de informação, cuja dimensão é proporcional à complexidade da informação ‘gravada’ na memória de longo prazo. O volume de informação adquirido pela memória de longo prazo permite distinguir um aluno experiente de um aluno inexperiente.

Em termos de processamento de informação, qualquer nova informação tem de ser processada na memória de trabalho para que possam ser construídos esquemas mentais na memória de longo prazo. No entanto, este processo é fortemente marcado pela capacidade limitada da memória de trabalho, que apenas consegue processar 7 ± 2 elementos de informação (cf. Miller, 1956). Para além disso, a memória de trabalho encontra-se segmentada em dois canais parcialmente independentes (memórias sensoriais) (Baddeley, 1992, 1997): canal fonológico que lida com a informação verbal (memória de trabalho auditiva) e o canal visual-espacial que lida com a informação visual (memória de trabalho visual). Segundo Penney (1989) a gestão correta destes dois canais aumenta a capacidade efetiva de memória de trabalho. Neste contexto a memória de longo prazo pode alterar as características de memória de trabalho, reduzindo ou até eliminando as suas limitações. Logo, uma aprendizagem eficiente é fruto da construção e automação de esquemas mentais cada

vez mais ricos e não apenas na capacidade que os sujeitos têm de efetuar raciocínios com muitos elementos de informação para serem processados e organizados na memória de longo prazo. Uma vez que a memória de trabalho humana não suporta o processamento de muitos elementos de informação, entra facilmente em sobrecarga cognitiva, daí que o conhecimento da forma como os humanos processam as novas informações seja essencial no desenho e concepção de ambientes de aprendizagem mais eficientes (Figura 1).

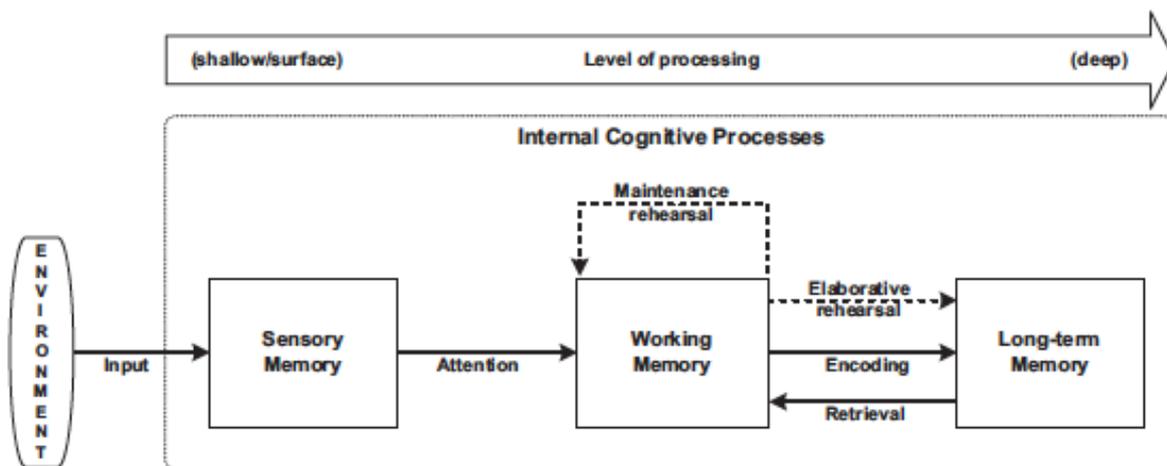


Figura 1. Representação das interações entre os diferentes tipos de memórias e os tipos de processos cognitivos. (Fonte: Khalil & Elkhider, 2016).

O esquema da Figura 1 mostra que os alunos usam dois tipos de abordagem no processamento de informação na memória de trabalho: uma abordagem mais reprodutiva (*maintenance*) e uma abordagem mais construtiva (*elaborative*). A primeira abordagem, designada por memorização ‘bruta’ ou memorização ‘tout-court’, ocorre quando o aluno repete muitas vezes o material de aprendizagem para lembrá-lo posteriormente, sem pensar nas relações entre as diferentes informações (o que pode conduzir a uma aprendizagem superficial). A segunda abordagem corresponde a um processo que implica a organização de informação para que sejam alcançados objetivos de aprendizagem mais desafiadores (conduzindo a uma aprendizagem profunda). O processo de memorização ‘bruta’ é mais passivo e leva a uma retenção da informação mais lábil, sujeita com mais facilidade ao

esquecimento, sobretudo se os esquemas mentais reprodutivos não se associarem a outros mais compreensivos. A abordagem construtiva é um processo de aprendizagem mais ativo e útil para transferir a informação para a memória de longo prazo (aquisição/aperfeiçoamento de esquemas mentais). É bom recordar que ambos os processos de aprendizagem são necessários e há conhecimentos que só são adquiridos pela memorização ‘bruta’ (exemplo: saber dizer sequencialmente os planetas do sistema solar). Já Ebbinghaus, pioneiro no estudo científico e experimental sobre a memória, dizia que é a prática que torna as memórias duráveis e perfeitas (citado por Miranda, 2014). Tal como já referimos, ao contrário da memória de trabalho, a memória de longo prazo tem capacidade ilimitada e armazena permanentemente informações sob a forma de esquemas mentais organizados, alguns deles que se tornaram automáticos. Deste ponto de vista, o objetivo da instrução é encorajar a compreensão, não esquecendo que esta também se ancora em esquemas mentais automatizados, alguns deles fruto da memorização ‘bruta’, facilitando o processo de elaboração/aperfeiçoamento de esquemas mentais, ou seja, levando a uma codificação mais eficiente dos novos conhecimentos.

Assim, no contexto da aprendizagem baseada em sistemas de memória, a experiência desenvolve-se através de dois processos complementares: a construção e a automação de esquemas mentais. A construção refere-se à formação de um número cada vez maior de esquemas com complexidade crescente (esquemas de nível superior), através da combinação de elementos de informação que correspondem a esquemas designados de nível inferior. Estes esquemas organizam e armazenam o conhecimento, mas também permitem reduzir a carga cognitiva a que a memória de trabalho está sujeita, uma vez que os esquemas altamente complexos são vistos pela memória de trabalho como um elemento de informação singular. O segundo processo, a automação, ocorre quando o sujeito aplica um esquema na execução repetida com êxito a uma tarefa. Tal como na construção, a automação também contribui de

forma significativa para a diminuição da sobrecarga da memória de trabalho, pois um esquema automatizado permite que os aspetos mais rotineiros de uma tarefa sejam realizados sem serem processados na memória de trabalho.

Em suma, na construção de ambientes para a aprendizagem de competências complexas não se deve apenas considerar a construção de algoritmos de resolução de problemas e de raciocínios, mas também a automação de esquemas sobre os aspetos rotineiros que são necessários para a resolução das tarefas de forma eficiente. No contexto do modelo 4C/ID a construção e/ou reconstrução de esquemas mentais é feita através da interação entre as tarefas de aprendizagem e a informação de apoio (interação entre novos conhecimentos e os conhecimentos prévios) (cf. capítulo II). A consulta da informação processual (cf. capítulo II) sobre aspetos rotineiros das tarefas de aprendizagem e a prática ajudam a automatizar esquemas. Assim, segundo esta perspetiva a aprendizagem significativa é o resultado da construção e da automação de esquemas.

Teoria da Carga Cognitiva

Integrada na abordagem do processamento de informação, a Teoria da Carga Cognitiva de Sweller centra-se na forma como os recursos cognitivos são usados durante a aprendizagem (Sweller et al., 2011). Sweller considera que em cada momento da aprendizagem existe um limite de informação que o ser humano consegue processar de forma significativa e eficiente (capacidade limitada da memória de trabalho). Segundo esta perspetiva, quando este limite é alcançado (sobrecarga cognitiva) a nova informação não é processada, comprometendo o processo de aprendizagem.

A Teoria da Carga Cognitiva baseia-se nos seguintes princípios: (1) o objetivo fundamental da instrução é construir conhecimentos na memória de longo prazo; (2) os mecanismos subjacentes à alteração da informação pré-existente na memória de longo prazo

devem ser incrementados em pequenos segmentos de informação, devido à capacidade limitada da memória de trabalho; e (3) as alterações da informação existente na memória de longo prazo devem ser realizadas de forma organizada para tornar a aprendizagem mais funcional.

Neste contexto, a aprendizagem é definida como o processo de codificação e armazenamento de informação na memória de longo prazo que poderá vir a ser recuperada e usada mais tarde e num contexto de aprendizagem diferente. Para que este processo ocorra de forma eficiente os alunos têm de processar na memória de trabalho a informação proveniente da instrução, o que implica uma carga cognitiva que se refere à atividade mental a que a memória de trabalho está sujeita em cada instante. Assim, esta teoria define diferentes tipos de carga cognitiva imposta à memória de trabalho pelo processamento da informação oriunda da instrução e define estratégias, validadas experimentalmente, para as gerir de forma eficiente. No capítulo II faz-se uma descrição mais pormenorizada dos aspetos relacionados com a gestão da carga cognitiva.

Como avaliar a carga cognitiva a que um aluno está sujeito durante o processamento de uma instrução? Atualmente a avaliação da carga cognitiva é feita por (a) processos indiretos, (b) por medidas subjetivas associadas a medidas de eficiência, (c) através de uma segunda tarefa e (d) por medidas fisiológicas (frequência cardíaca, resposta pupilar, imagem obtida por ressonância magnética funcional e eletroencefalograma).

Os processos indiretos incluem a avaliação com modelos computacionais da taxa de erros cometidos durante a realização de uma tarefa, a avaliação do tempo despendido na realização das tarefas e a avaliação da tipologia de erros cometidos. Com o avanço da investigação experimental em torno da Teoria da Carga Cognitiva surgiu a necessidade da utilização de medidas diretas da carga cognitiva (Chandler & Sweller, 1994; Sweller &

Chandler, 1991). Este problema foi resolvido por Paas (1992) quando sugeriu um processo de medidas subjetivas de avaliação da carga cognitiva.

Em 1972, Bratfish, Borg e Dornic desenvolveram um instrumento para avaliar a intensidade do esforço mental baseado na capacidade que os sujeitos têm de avaliar o seu esforço mental na aprendizagem. Paas considerou que esta medida de esforço mental poderia ser um indicador da carga cognitiva imposta a um sujeito durante a aprendizagem. Mais tarde Paas et al. (2003) definiram o esforço mental como o aspeto da carga cognitiva que se refere à capacidade cognitiva que é efetivamente utilizada pela exigência imposta na instrução, ou seja, será considerada uma maneira de refletir a carga cognitiva real. Claro que se trata de uma avaliação efetuada com base na percepção dos sujeitos sobre o seu esforço mental despendido e por este motivo vamos passar a denominar esta variável por ‘esforço mental percebido’. A medição desta variável é efetuada com uma escala de índice de Likert de 9 pontos (1 – muito, muito baixo esforço mental a 9 – muito, muito elevado esforço mental). A combinação dos dados desta variável com os dados referentes à avaliação do desempenho dos alunos permite definir uma nova variável denominada por eficiência das condições de instrução, cuja descrição e aplicação neste trabalho se encontram no capítulo III (subcapítulos III. 1 e III.2).

Teoria da Aprendizagem Multimédia

Os estudos desenvolvidos no domínio da aprendizagem multimédia recomendam que as mensagens educacionais multimédia devem ser concebidas a partir do conhecimento da forma como a mente humana funciona. Segundo Mayer (2001) uma mensagem educacional multimédia é uma comunicação que contém palavras (que podem ser processadas através do canal auditivo, quando faladas, ou através do canal visual, quando escritas) e imagens (através do canal visual). Portanto, o objeto de estudo da Teoria da Aprendizagem

Multimédia é o conhecimento do modo como a informação proveniente destes dois canais é processada para maximizar os recursos cognitivos dos alunos.

Segundo esta teoria as pessoas aprendem mais profundamente a partir de palavras e imagens, face à informação transmitida apenas por palavras (princípio multimédia). A Teoria da Aprendizagem Multimédia baseia-se em três pressupostos: (1) pressuposto do duplo canal: o sistema humano de processamento de informação inclui canais duplos (separados) para o processamento visual/pictórico (ilustrações, vídeos, animações e textos) e auditivo/verbal (informação narrada) (2) pressuposto da capacidade limitada da memória de trabalho: cada canal tem uma capacidade de processamento limitada e (3) pressuposto do processamento ativo: a aprendizagem requer um processamento cognitivo essencial em ambos os canais, ou seja, a aprendizagem inclui concentração, organização da informação nova e a sua integração com a informação pré-existente.

Na Figura 2 está representado o modelo cognitivo da aprendizagem multimédia, na qual se pretende mostrar o sistema de processamento de informação nos seres humanos. As caixas retangulares representam os diferentes tipos de memória: sensorial, de trabalho e de longo prazo. As imagens e palavras provenientes de uma mensagem multimédia entram no sistema de processamento de informação através das memórias sensoriais associadas ao sistema visual e auditivo. Estas memórias permitem que as imagens e o texto impressos sejam retidos pela memória visual como imagens exatas durante um curto intervalo de tempo e que as palavras narradas e outros sons sejam retidos num curto intervalo de tempo como imagens exatas pela memória auditiva. As imagens são registadas pelos olhos e as palavras podem ser registadas pelos olhos (texto impresso) e pelos ouvidos (texto narrado).

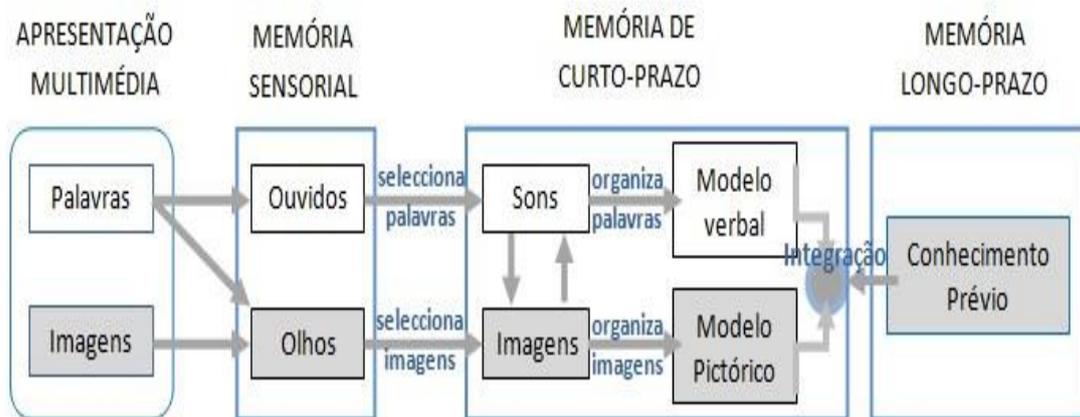


Figura 2. Sistema de processamento de informação (adaptado de Mayer, 2009, p.228).

O esquema da Figura 2 mostra que a principal estrutura responsável pela aprendizagem é a memória de trabalho, que tem como papel reter os conhecimentos temporariamente na consciência para que estes possam ser manipulados. A memória de trabalho desempenha duas funções: a representação da informação proveniente de palavras e de imagens e a sua organização que corresponde à construção de um modelo (verbal e pictórico). Salienta-se que pode haver conversão mútua de sons em imagens antes de serem organizados.

Os processos cognitivos inerentes à aprendizagem multimédia são a seleção de imagens e de palavras, a organização de imagens e de palavras e a integração da nova informação com a informação prévia, e correspondem aos cinco processos da Teoria da Aprendizagem Multimédia (Mayer, 2009). Estes cinco processos permitiram enunciar sete princípios validados experimentalmente, que têm implicações instrutivas no desenvolvimento de um RED: (1) *Princípio multimédia*: os alunos aprendem melhor quando se combinam palavras e imagens; (2) *Princípio de proximidade espacial*: os alunos aprendem melhor sempre que as palavras, o texto e as imagens correspondentes estão próximas umas das outras, uma vez que facilitam a construção de um elo de ligação entre estes elementos; (3) *Princípio de proximidade temporal*: os alunos aprendem melhor quando as palavras e as

imagens são apresentadas em simultâneo; (4) *Princípio da coerência*: os alunos aprendem melhor sempre que as palavras, as imagens e os sons apresentam uma relação entre si; (5) *Princípio da modalidade*: os alunos aprendem mais facilmente quando a informação verbal se estrutura com o suporte áudio, em vez de suporte textual; (6) *Princípio da redundância*: os alunos desenvolvem uma aprendizagem mais consciente quando uma apresentação multimédia combina animação e narração e (7) *Princípio das diferenças individuais*: os alunos com poucos conhecimentos prévios beneficiam mais das potencialidades de um RED.

Teorias e Modelos de Instrução

As teorias e modelos de instrução são baseados na compreensão da forma como os seres humanos aprendem. O seu campo de trabalho foca-se no desenvolvimento de métodos e estratégias instrutivas. Em que difere uma teoria da aprendizagem de uma teoria da instrução? As teorias da aprendizagem têm um pendor mais descritivo e explicativo, enquanto que as teorias da instrução são mais prescritivas e normativas, uma vez que prescrevem regras sobre o modo mais eficaz de se adquirir conhecimentos e competências, formulando critérios e condições necessárias para a implementação dessas regras. Assim, uma teoria da instrução deve acima de tudo valorizar os processos de aprendizagem em detrimento dos resultados, uma vez que estes dependem diretamente dos processos usados para se alcançarem determinados resultados. Isto não significa desvalorizar os resultados, mas tão só reforçar a ideia que estes dependem em grande parte da qualidade da instrução. Temos o exemplo dos sistemas de *feedback* corretivo e cognitivo, cuja descrição se encontra fundamentada e exemplificada no capítulo II para o RED construído e estudado neste trabalho.

Em suma, uma teoria da instrução centra-se essencialmente na melhoria e na otimização da aprendizagem e não na sua descrição. Todavia, uma boa teoria da instrução

não poderá subsistir se não tiver em consonância com as teorias e os modelos de desenvolvimento cognitivo e/ou teorias da aprendizagem.

Hoje em dia existem mais de 100 modelos de ID baseados em diferentes perspectivas da aprendizagem: os modelos construtivistas fundamentados pela teoria da aprendizagem pela descoberta guiada de Jerome Bruner, os modelos instrutivistas inspirados na teoria da aprendizagem cumulativa de Robert Gagné e os modelos cognitivistas apoiados pelas teorias e modelo de processamento de informação e pela teoria da carga cognitiva, nos quais se enquadra o modelo 4C/ID. A generalidade destes modelos tem por base os princípios do modelo de Silvern que define um conjunto de elementos-chave, também designados por fases, que qualquer modelo de ID deve seguir – o modelo ADDIE (acrónimo de *Analysis, Design, Development, Implementation e Evaluation*). Em todos os modelos de ID a produção eficiente de instruções exige que sejam percorridas as fases preconizadas no modelo ADDIE: análise, desenho, desenvolvimento, implementação e avaliação. O modelo ADDIE oferece uma abordagem sistemática para a conceção e desenvolvimento de ambientes de aprendizagem mais eficientes. O esquema da Figura 3 mostra cada uma destas fases e os respetivos componentes associados.

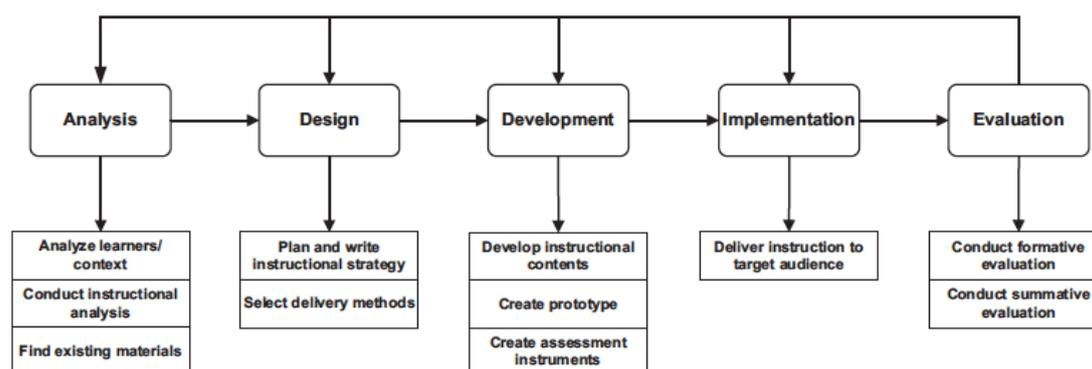


Figura 3. Fases do modelo ADDIE e os componentes de cada fase (Fonte: Khalil & Elkhider, 2016).

A fase da análise (*analysis*) corresponde à análise das características dos alunos, do contexto educativo e dos materiais instrutivos com o intuito de identificar as características dos sujeitos que irão utilizar esses materiais (e.g., conhecimentos prévios sobre o tema, experiências prévias, interesses e atitudes). É nesta fase que são definidos os objetivos instrucionais e o contexto do ambiente de aprendizagem. Na fase do desenho do projeto (*design*), os objetivos de aprendizagem são identificados permitindo fazer uma descrição dos conteúdos e da estratégia instrucional a usar. Nesta fase tomam-se decisões sobre as diferentes formas de apresentação dos conteúdos, dos tipos de atividades de aprendizagem e dos tipos de estratégias de apresentação dos materiais instrutivos (e.g., apresentação multimédia, animação, vídeo, etc.). Na fase do desenvolvimento (*development*) inclui-se a criação dos conteúdos do protótipo do ambiente de aprendizagem e dos instrumentos de avaliação das aprendizagens. A fase da implementação (*implementation*) corresponde à entrega dos materiais instrutivos aos alunos. E, por último, a avaliação (*evaluation*) que inclui uma componente formativa que ocorre em simultâneo com o processo de desenho das instruções e que as permitem melhorar continuamente o projeto antes da sua implementação final e a componente sumativa que ocorre após a implementação da versão final do ambiente de aprendizagem e que permite avaliar globalmente a eficiência instrutiva.

O principal objetivo deste trabalho de investigação é a conceção e desenho de um RED para o ensino dos circuitos elétricos para alunos no 9ºano do 3º ciclo do ensino básico, no âmbito da disciplina de Físico-Química. Neste contexto as fases preconizadas pelo modelo ADDIE foram percorridas do seguinte modo:

- *Análise*: analisaram-se as dificuldades sentidas pelos alunos na aprendizagem do tema “circuitos elétricos”, que se prendiam essencialmente com o carácter técnico das competências que devem ser trabalhadas neste tema, ou seja, a aprendizagem dos circuitos elétricos neste nível de ensino foi considerada complexa, uma vez que envolve a integração

de conhecimentos, competências e atitudes. Esta complexidade é, por vezes, agravada pela ausência de componente experimental aliada à extensão dos programas;

- *Desenho*: nesta fase foram definidos pelos professores envolvidos no projeto os conteúdos, os objetivos e as competências consideradas essenciais para este tema (anexo VII);

- *Desenvolvimento*: esta fase correspondeu ao desenvolvimento, pelo investigador em colaboração com especialistas em ID, das informações de apoio, das tarefas de aprendizagem e do sistema de *feedback* cognitivo e corretivo (cf. capítulo II);

- *Implementação*: o RED foi implementado, com a supervisão do investigador, num conjunto de três turmas deste nível de ensino;

- *Avaliação*: a componente formativa da avaliação foi realizada durante a fase de desenvolvimento, tendo sido feitas várias alterações para melhorar a qualidade dos materiais instrutivos. No que respeita à avaliação sumativa, foram aplicados dois testes de desempenhos, um para avaliar a capacidade de reprodução dos conhecimentos adquiridos e outro para avaliar a capacidade de aplicar esses conhecimentos a novas situações (transferência de aprendizagem). Em simultâneo também se avaliou o esforço mental percecionado pelos alunos na realização destas provas, cujos resultados são apresentados e discutidos no subcapítulo III.2.

Os vários modelos de ID que existem ajudam-nos a conceber projetos de ensino que visam melhorar a aprendizagem. Alguns destes modelos têm um carácter mais genérico e outros, mais específicos, focam-se mais na instrução. Miranda (2009) destaca o modelo de Child (1986), esquematizado na Figura 4, como o modelo de ID mais genérico vocacionado para o processo de aprendizagem em contexto escolar e pode ser aplicado em qualquer nível de ensino.

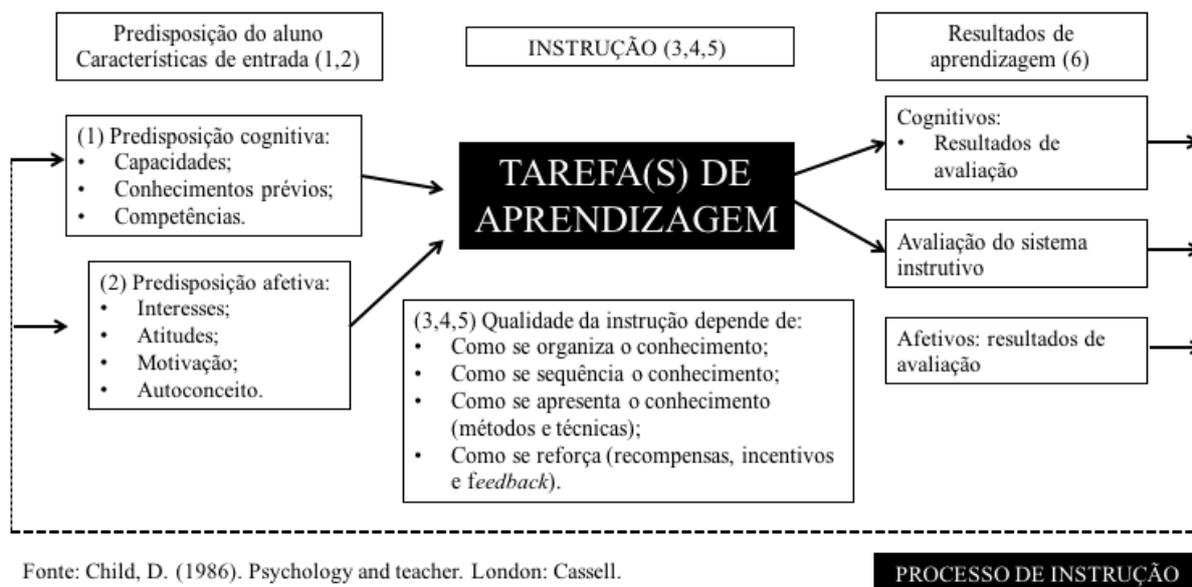


Figura 4. Representação de um modelo de ID. (Fonte: Miranda, 2009).

Este modelo contém todas as fases e características que um modelo de ID deve conter: predisposições cognitivas e afetivas (*inputs*); a instrução, que inclui as fases do desenho, desenvolvimento e implementação e a avaliação das aprendizagens dos alunos e do próprio sistema instrutivo (*outputs*).

Importa salientar que o modelo 4C/ID incorpora os mesmos princípios do modelo Child uma vez que, são tidos em consideração os *inputs* (conhecimentos prévios, motivação, atitudes, etc.) para que, através das tarefas de aprendizagem (instrução), sejam construídos e/ou aperfeiçoados esquemas mentais mais complexos. A avaliação das aprendizagens é feita através de testes de desempenhos ou mesmo através das próprias tarefas de aprendizagem e a avaliação da qualidade do modelo é feita através da combinação de medidas de desempenhos com medidas de carga cognitiva (cf. subcapítulos III.1 e III.2).

Modelo 4C/ID

A descrição do modelo 4C/ID assim como a sua ligação com os princípios da aprendizagem multimédia estão largamente explorados nos capítulos II e III, pelo que vamos apenas fazer uma breve descrição dos seus princípios e dos componentes.

A ideia central deste modelo é que as tarefas de aprendizagem devem estimular os alunos a integrarem os conhecimentos, as competências (*skills*) e as atitudes que potenciam a transferência das aprendizagens adquiridas na resolução problemas que envolvam novas situações ou situações não familiares aos alunos (van Merriënboer & Sluijsmans, 2009). Trata-se de um modelo sobretudo destinado a aprendizagens complexas. A força motriz da aprendizagem complexa, com base no modelo 4C/ID, são as tarefas de aprendizagem baseadas em tarefas da vida real, portanto, as tarefas de aprendizagem são o primeiro componente para o desenho de um ambiente de aprendizagem eficiente, visão que é partilhada pelas principais e mais recentes teorias e modelos de ID (Merril, 2012).

O modelo preconiza a existência de quatro componentes interligados que devem ser tidos em consideração na conceção de um ambiente de aprendizagem para o desenvolvimento de competências complexas:

- *Tarefas de aprendizagem*: que correspondem a tarefas que são caracterizadas por colocarem em contacto o aluno com todos os aspetos da competência complexa a trabalhar. Idealmente, estas tarefas de aprendizagem devem solicitar aos alunos a integração e a coordenação de todos ou quase todos os aspetos que permitem desempenhar com sucesso a tarefa, podendo incluir estratégias de resolução de problemas e aspetos mais rotineiros;
- *Informação de suporte*: que corresponde à informação que dá apoio à aprendizagem, fornecendo indicações para o desempenho de resolução de problemas e de raciocínio das tarefas de aprendizagem. Este tipo de informação descreve como o domínio da tarefa está

organizado e a melhor forma de abordagem aos problemas específicos do domínio, construindo a ponte entre os conhecimentos prévios dos alunos e os novos conhecimentos;

- *Informação processual*: corresponde às informações que constituem os pré-requisitos para a aprendizagem e para os desempenhos dos aspetos mais rotineiros das tarefas de aprendizagem. Esta informação é organizada em pequenas unidades de informação e é apresentada aos alunos no instante em que estes necessitam dela;
- *Prática de tarefas*: corresponde a exercícios adicionais para o treino de aspetos rotineiros das tarefas de aprendizagem, aos quais está associado um elevado nível de automaticidade. Este componente só existe quando as tarefas de aprendizagem não preconizam o nível de treino suficiente para ser alcançado o nível de automaticidade requerido.

A descrição das interações entre cada um dos componentes e a forma de organização interna de cada um dos quatro componentes é feita de forma detalhada nos capítulos II e III (em particular do subcapítulo III.2).

Aprendizagem Multimédia Segundo o Modelo 4C/ID

Nesta secção vamos analisar os processos de aprendizagem que estão diretamente relacionados com cada um dos componentes do modelo 4C/ID. No contexto da construção dos esquemas mentais distinguem-se dois conceitos: a indução, que corresponde ao processo de construção de esquemas através da abstração, a partir das tarefas de aprendizagem (componente 1); e a elaboração, que se refere à construção de esquemas através da relação entre os novos conhecimentos e os conhecimentos existentes na memória de longo prazo (componente 2).

A indução é o cerne da aprendizagem complexa uma vez que os alunos podem por um lado, partindo das tarefas de aprendizagem, construir esquemas com maior aplicabilidade numa gama mais ampla de situações e por outro, partindo de situações menos concretas,

construir esquemas mais específicos que resultam da análise de um conjunto de soluções de tarefas que envolvem o mesmo tipo de aprendizagem. Dito de outro modo, os processos indutivos permitem que os alunos consigam analisar o que há de comum nas diferentes tarefas de aprendizagem e ao mesmo tempo restringir a gama de utilização do esquema construído.

A elaboração refere-se às atividades cognitivas que envolvem a integração de novas informações (proveniente da informação de suporte – componente 2) com as informações dos esquemas cognitivos disponíveis na memória de longo prazo (cf. Willough, Wood, Desmarais, Sims & Kalra, 1997). Perante a informação de suporte os alunos relembram os esquemas cognitivos gerais que podem fornecer uma estrutura cognitiva para a compreensão da informação apresentada, podendo fazer analogias para estabelecer ligações entre a nova informação e as informações existentes na memória de longo prazo. Portanto, a utilização da informação prévia que os alunos têm de um determinado tópico ajuda-os a estruturarem e compreenderem a nova informação que lhe é apresentada em diferentes formatos (livros, palestras, sistema de hipermédia, redes sociais, etc.).

No processo de automação de esquemas mentais é comum fazer-se a distinção entre compilação de conhecimentos (*knowledge compilation*), que se refere ao processo preliminar na automação baseado na incorporação da informação processual (componente 3) em esquemas (automatizados) que permitem orientar diretamente o comportamento através das instruções fornecidas pelo sistema de comunicação (por exemplo, através de uma aplicação móvel, sistema de realidade aumentada ou sistema de ajuda *on-line*) para a produção da solução inicial do problema, que corresponde à criação de esquemas altamente específicos a partir da solução do problema (Anderson, 1993). O segundo processo corresponde ao desenvolvimento de níveis de automaticidade mais profundos baseados na prática de tarefas

(componente 4), permite aumentar a rapidez de aplicação dos aspetos mais rotineiros da competência complexa que se pretende treinar.

De acordo com o exposto anteriormente, as interligações entre os quatro componentes visam facilitar o processo de aprendizagem dando, em simultâneo, indicações claras sobre a seleção dos meios educacionais adequados e sobre os princípios multimédia mais importantes. No capítulo II é feita uma descrição completa dos princípios multimédia implícitos a cada um dos quatro componentes do modelo 4C/ID. No entanto, vamos aqui fazer referência aos três mais recentes princípios multimédia publicados na edição de 2014 do “The Cambridge Handbook of Multimedia Learning” (Mayer, 2014), que não foram apresentados e discutidos no capítulo II e que se inserem no contexto do controlo do processo de instrução através de sistemas adaptativos e do desenvolvimento de portfólios eletrónicos, que permitem desenhar o melhor trajeto de aprendizagem para cada aluno. Na conjuntura do modelo 4C/ID o controlo instrutivo está mais centrado na seleção de novas tarefas de aprendizagem, todavia pode ser usado nos restantes componentes (cf. van Merriënboer & Kirschener, 2013). Num ambiente de aprendizagem multimédia o papel do professor é apenas selecionar a tipologia de tarefas mais adequadas para os alunos; segundo as investigações mais recentes nesta área este papel pode ser substituído por sistemas adaptativos ou por sistemas tutoriais inteligentes. O sistema adaptativo faz o acompanhamento da progressão do aluno e de acordo com esta avaliação seleciona a tarefa de aprendizagem mais adequada, não havendo autorregulação da aprendizagem pelo aluno. Os resultados da investigação mais recentes mostram que esta limitação dos sistemas adaptativos pode ser contornada usando sistema de portfólios eletrónicos através dos quais os professores e os alunos partilham o controlo instrutivo por intermédio da autoavaliação e da identificação das necessidades de aprendizagem. Este procedimento permite uma seleção de tarefas que visam atender a essas

necessidades diagnosticadas pelos alunos, conferindo à aprendizagem um carácter de autorregulação mais significativo.

Assim, para além dos 19 princípios referidos no capítulo II vamos considerar ainda, no contexto a aprendizagem multimédia e do modelo 4C/ID, os seguintes princípios:

(20) *Princípio da individualização*. Alguns estudos têm mostrado que os sistemas adaptativos de treino que seleccionam dinamicamente as tarefas de aprendizagem com base nas características do aluno produzem maior transferência de aprendizagem do que os sistemas não-adaptativos nos quais é usada uma sequência de tarefas fixa e igual para todos os alunos (Corbalan, Kester & van Merriënboer, 2008; Salden, Paas & van Merriënboer, 2006). A seleção dinâmica das tarefas de aprendizagem pode ser feita com base apenas nos desempenhos (número de respostas corretas e/ou velocidade de resposta) ou também pode ser feita com base na combinação de dados referentes aos desempenhos e esforço mental percebido na realização das tarefas (Camp, Paas, Rikers & van Merriënboer, 2001; Kalyuga & Sweller, 2005). O princípio da individualização tem em consideração as diferenças dos alunos, seleccionando as tarefas de aprendizagem de acordo com a dificuldade da tarefa e/ou com o nível de apoio disponível. Para cada tarefa de aprendizagem o desempenho dos alunos é avaliado e é dado *feedback* cognitivo ao aluno. Desta forma, se o desempenho do aluno for mais baixo é dada uma tarefa equivalente com maior informação de apoio, pelo contrário se o desempenho for mais alto pode ser variado o tipo de tarefa e o nível de apoio;

(21) *Second-order scaffolding principle*. Este princípio refere-se à mudança gradual e crescente no controlo do sistema adaptativo pelo aluno, permitindo que este tenha uma responsabilidade crescente na avaliação da aprendizagem e na seleção de novas tarefas de aprendizagem. Esta transferência do controlo instrutivo tem efeito significativamente positivo no desenvolvimento de competências relacionadas com a autorregulação da aprendizagem

(van Merriënboer & Kirschner, 2013). Este procedimento é implementado alterando o nível de apoio e de orientação dado aos alunos para que a gestão da carga cognitiva estranha seja mais eficiente (Taminiau, 2013).

(22) *Princípio do desenvolvimento de portfólios*. O desenvolvimento de portfólios eletrônicos ajuda os alunos e os professores na avaliação do percurso de aprendizagem, fornecendo pistas para a seleção mais eficiente das tarefas de aprendizagem. Segundo vários autores (Kichen, Brand, Gruwel, van Merriënboer & Slot, 2009a, 2009b; van Merriënboer & van der Vleuten, 2012) esta estratégia permite o treino de competências relacionadas com a autorregulação da aprendizagem. Estes portfólios podem ser constituídos por relatórios de pontuação que permitem ao aluno e ao professor fazerem uma avaliação de desempenho em algumas tarefas. Os relatórios podem conter informação quantitativa e/ou qualitativa sobre aspetos específicos das tarefas, através de mensagens de texto ou de informação multimédia (mensagens faladas, fotografias, pequenos textos, etc.) que são carregadas no portfólio. Os portfólios devem ser discutidos em reuniões regulares com o professor, cujo intuito é refletir sobre o trabalho realizado, dando oportunidade aos alunos para identificarem oportunidades futuras para melhorarem os seus desempenhos.

Abordagens à Aprendizagem

O constructo multidimensional “abordagens à aprendizagem” (*Students approaches to Learning*, SAL) concetualiza o processo de aprendizagem dos alunos como uma conjugação entre fatores motivacionais e o tipo de estratégia de aprendizagem que estes adotam (Entwistle & Ramsden, 1983). No contexto das abordagens à aprendizagem são distinguidos três tipos: uma abordagem superficial, uma abordagem profunda e uma abordagem de alto-rendimento (Biggs, Kember, & Leung, 2001; Entwistle & McCune, 2004).

A abordagem superficial está associada a situações de aprendizagem que implicam um esforço reduzido, é mais baseada na memorização rotineira de detalhes (Biggs & Tang, 2007) e envolve uma retenção mais transitória da informação utilizável sobretudo em situações de avaliação (Duarte, 2008). Pelo contrário, a abordagem profunda é pautada por situações em que os alunos se focam no significado dos conteúdos das tarefas, permitindo estabelecer relações entre os novos conhecimentos e os previamente adquiridos. Este tipo de abordagem envolve um conhecimento das matérias mais compreensivo, personalizado, duradouro e transferível a novas situações (Biggs & Tang, 2007). Importa salientar que o uso de uma abordagem profunda não implica evitar a memorização, pois segundo Entwistle e Peterson (2004), quando os alunos adotam uma abordagem profunda percebem que a compreensão pode exigir em determinados momentos a memorização. Por fim, temos a abordagem de alto-rendimento que se refere à busca de resultados elevados através da organização do trabalho (Biggs & Tang, 2007).

A investigação sobre as abordagens à aprendizagem tem-se focado nas relações entre as variáveis relacionadas com as características pessoais dos alunos e o contexto de aprendizagem (cf. subcapítulo III.3). Existem ainda linhas de investigação que se interessam pelo estudo da relação entre as abordagens à aprendizagem e aprendizagem autorregulada (cf. Heikkillä & Lonka, 2006).

Outra vertente da investigação neste contexto refere-se à relação entre as abordagens à aprendizagem e os diferentes contextos disciplinares (cf. Case & Marshall, 2004). Vários estudos têm mostrado que o tipo de abordagem à aprendizagem pode depender de diferentes situações de aprendizagem: contexto de sala de aula (Gibbs, 1992), na leitura (Marton, 1988), na escrita (Biggs, 1988), na resolução de problemas (Laurillard, 1997), aprendizagem com recurso às TIC (van den Brink, Alemany, Plat, Duarte, Ericsson & Slack, 2000) e na preparação de exames (Entwistle & Entwistle, 2003).

O espectro das investigações realizadas no contexto das abordagens à aprendizagem identifica ainda a necessidade de incorporar fatores relacionados com este constructo como os aspetos emocionais da aprendizagem, a orientação vocacional dos alunos (Entwistle & McCune, 2004), e o trabalho colaborativo (Lonka, Olkinuora & Mäkinen, 2004).

Duarte (2008) salienta algumas características que as TIC, consideradas como ferramentas de aprendizagem, têm e que podem potenciar uma abordagem profunda: 1) a entusiástica adesão dos alunos às TIC (Laurillard, 1993) que se pode traduzir numa elevada motivação intrínseca para as tarefas de aprendizagem, 2) a interatividade dos ambientes digitais de aprendizagem que são um estímulo para uma atitude ativa face à aprendizagem, 3) o facto de ser o meio ideal para a construção de uma base de conhecimentos organizados e estruturados, e 4) o facto de estimular a aprendizagem colaborativa através dos sistemas de comunicação.

Sobre os efeitos positivos da utilização de ambientes de aprendizagem digitais como meio de promoção de uma abordagem profunda, os resultados de investigação mostram que não há uma relação direta entre estas duas variáveis, havendo situações em que o recurso às TIC revela efeitos benéficos sobre a abordagem profunda e outras situações em que há estímulo a uma abordagem superficial (cf. Davies, Sivan & Kember, 1994; DeJong, 1994; Hambleton, Foster & Richardson, 1998; Laman, Chan, Scardamalia, Burtis & Brett, 1993; Laurillard, 1994; Newman, Johnson, Webb, Cochrane, 1998; Ramsden, 1992, citados em Duarte, 2008).

Em suma, a investigação mostra que a utilização de ambientes digitais de aprendizagem não conduz de forma automática a uma abordagem profunda. No entanto, essa relação é diretamente influenciada por duas variáveis: o desenho específico do ambiente e o contexto de aprendizagem em que o ambiente é utilizado (DeJong, 1994; Laurillard, 2002). É aqui que as teorias e os modelos de ID têm um papel fundamental, no sentido em que

permitem conceber recursos educativos que estimulem uma abordagem mais profunda, como é o caso do modelo 4C/ID usado neste trabalho, cujos resultados de investigação se encontram apresentados e discutidos no subcapítulo III.3.

Metodologia de Investigação

Objetivos, Questões de Investigação e Definição das Variáveis

A finalidade deste trabalho é conceber um recurso educativo digital para o ensino do tema “circuitos elétricos” do programa de Físico-Química do 9º ano e investigar o seu impacto sobre os desempenhos dos alunos e sobre o tipo de abordagem à aprendizagem que estes adotam.

Esta formulação genérica do problema permite definir dois objetivos gerais de investigação:

- 1) Conceber, desenvolver, testar e implementar um ambiente de aprendizagem digital com base no modelo instrutivo 4C/ID para a componente de Física da disciplina de Físico-Química do 9ºano;
- 2) Avaliar o impacto da utilização do ambiente de aprendizagem sobre os desempenhos dos alunos (ao nível da reprodução e transferência de aprendizagem) e sobre o tipo de abordagem à aprendizagem adotada pelos alunos.

Foram formuladas as seguintes questões de investigação, nas quais passamos a denominar por “abordagem 4C/ID” à utilização do RED construído com o modelo 4C/ID e por “abordagem convencional” à outra estratégia usada no ensino do tema “circuitos elétricos”. Qual é o efeito da utilização da abordagem 4C/ID face à abordagem convencional sobre:

1. os desempenhos relativos à reprodução de conhecimentos adquiridos?
2. os desempenhos relativos à transferência de aprendizagem?

3. a carga cognitiva percebida pelos alunos?
4. a eficiência instrutiva?
5. o tipo de abordagem à aprendizagem adotada pelos alunos?

Estas cinco questões de investigação permitem definir as variáveis que foram estudadas neste trabalho. A variável independente que corresponde ao tipo de ‘abordagem instrutiva’ (‘abordagem 4C/ID’ versus ‘abordagem convencional’) usada no ensino do tema “circuitos elétricos”. Portanto, pretendeu-se analisar o efeito desta variável sobre as variáveis dependentes: ‘desempenhos’ referentes à reprodução dos conhecimentos adquiridos e à transferência⁴ de aprendizagem dos conhecimentos adquiridos; ‘carga cognitiva’ percebida pelos alunos durante a realização dos testes de desempenhos; ‘eficiência instrutiva’ que corresponde uma medida combinada dos dados da variável ‘desempenhos’ com os dados da variável ‘carga cognitiva’, cuja descrição pormenorizada se encontra no capítulo III (subcapítulos III.1 e III.2) e o tipo de ‘abordagem à aprendizagem’ adotada pelos alunos (subcapítulo III.3).

Opções Metodológicas

O facto de pretendermos estabelecer relações entre variáveis e de pretendermos quantificar essas relações, justifica a opção por uma metodologia de investigação de natureza quantitativa, em particular usámos uma metodologia experimental com um *design* quase-experimental. Cohen, Manion e Morrison (2011) definem a investigação verdadeiramente experimental como aquela em que os grupos experimental e de controlo são seleccionados de forma aleatória. Neste trabalho usaram-se grupos naturais (sem seleção aleatória), logo classificamos a metodologia usada como experimental com *design* quase-experimental, que

⁴ Capacidade de aplicar uma competência complexa numa situação nova e por vezes não familiar (van Merriënboer & Kirschner, 2009).

dentro do paradigma quantitativo corresponde à metodologia mais utilizada em investigação educacional.

Nesta investigação trabalhámos com cinco turmas do 9º ano, com cerca de 30 alunos por turma, de uma escola do ensino particular da região de Lisboa, na qual o autor é professor de Física e Química. Estes grupos naturais constituíram o grupo experimental (três turmas) e o grupo de controlo (duas turmas). Nas turmas do grupo experimental o tema “circuitos elétricos” foi ensinado com o RED “Circuitos elétricos” concebido com base no modelo 4C/ID e nas turmas do grupo de controlo o mesmo tema foi ensinado com um método convencional baseado na exposição por parte do professor, no manual do aluno, em exercícios de aplicação e treino de resolução de problemas recorrendo ao papel, lápis e calculadora científica simples.

No Quadro 1 apresenta-se a distribuição das turmas pelos grupos e pelos professores.

Quadro 1

Distribuição da amostra pelos grupos (experimental e de controlo) e pelos professores.

Turma	Dimensão	Grupo		Professor
		Experimental	Controlo	
A	29	X		Investigador
B	27		X	Professora A
C	25	X		Professora A
D	24		X	Professora B
E	28	X		Professora B

Com o intuito de conferir validade interna à investigação foram controlados os efeitos possíveis de algumas variáveis parasitas ou estranhas que pudessem estar associadas à variável independente, comprometendo a consistência dos resultados: 1) seleção aleatória das turmas: apesar de cada turma constituir um grupo natural (sem seleção aleatória), o processo de seleção das turmas para os dois grupos foi aleatório; 2) a distribuição das turmas pelos

professores: cada professor ficou com uma turma do grupo experimental e uma turma do grupo de controlo; 3) intervalo de tempo da intervenção nos dois grupos foi curto para controlar o efeito de maturação e de mortalidade da amostra; 4) efeito de teste (*testing effect*): nas variáveis relacionadas com os desempenhos (reprodução e transferência) dos alunos e com a carga cognitiva percebida optámos pela realização apenas do pós-teste para evitar que os sujeitos dos dois grupos fossem influenciados pela aplicação do pré-teste, alterando a sua atitude face à aprendizagem do tema ensinado; e 5) efeito de *Hawthorne*: as professoras que colaboraram na investigação foram apenas informadas de que iriam participar num estudo no qual se pretendia avaliar a forma como os alunos aprendem com diferentes recursos.

Foi também nosso objetivo recolher dados sobre o processo de aplicação do RED e sobre a abordagem usada no grupo de controlo. Para a observação das aulas foi selecionado um conjunto de aulas às quais o investigador assistiu para observar as dificuldades manifestadas pelos alunos na resolução das tarefas de aprendizagem nos dois grupos. Estas notas de campo foram sujeitas a uma análise de conteúdo. Ainda no domínio da descrição do processo entrevistaram-se as professoras para se obter a opinião destas sobre o RED e para se obter a perceção destas sobre as dificuldades manifestadas pelos alunos na realização das tarefas de aprendizagem nos dois grupos. Estes dados de natureza qualitativa permitiram interpretar de forma mais abrangente os dados de natureza quantitativa (cf. subcapítulos III.2 e III.3).

Desenho da Investigação

A investigação empírica decorreu em quatro fases:

1ª Fase – Conceção e validação do RED, que coincidiu com o momento em que as professoras foram informadas de que iriam participar na investigação;

2ª Fase – Coincidiu com a realização do pré-teste para a caracterização dos grupos em termos das variáveis ‘abordagens à aprendizagem’ a 3 de maio de 2013, ‘idade’, ‘sexo’, ‘rendimento académico anterior’ e ‘estatuto socioeconómico’, junto da direção da escola na semana de 22 a 26 de abril de 2013. Com este procedimento pretendemos garantir equivalência entre os grupos no pré-teste garantindo maior robustez na validade interna da investigação;

3ª Fase – Coincidiu com a intervenção no grupo experimental e com a observação de aulas dos dois grupos que decorreu entre os dias 6 e 17 de maio de 2013; seguindo as recomendações de Paas (1992) e Paas & van Merriënboer (1994) a avaliação dos desempenhos foi realizada imediatamente após a intervenção, assim como a medição do esforço mental percebido pelos alunos durante a realização dos testes de avaliação de desempenhos, que decorreu no dia 17 de maio de 2013;

4ª Fase – Foi destinada ao pós-teste nos grupos experimental e de controlo para a variável ‘abordagens à aprendizagem’ (20 de maio de 2013); em paralelo, nesta fase da investigação, foram entrevistadas as professoras que colaboraram na investigação (23 de maio de 2013).

Instrumentos de Recolha de Dados

Para alcançar os objetivos de investigação inicialmente traçados foram usados os seguintes instrumentos de recolha de dados:

- Um teste para avaliar a capacidade de os alunos reproduzirem os conhecimentos adquiridos; o teste foi construído com itens semelhantes aos usados nas tarefas realizadas por ambos grupos (cf. subcapítulo III.2 e anexo II);
- Um teste para avaliar a capacidade de os alunos transferirem os conhecimentos adquiridos a situações diferentes das usadas nas tarefas de aprendizagem; o teste foi construído com itens que apelam à transferência de conhecimentos adquiridos durante a realização das tarefas de aprendizagem a situações diferentes (cf. subcapítulo III.3 e anexo III);

- Escala de índice (*rating scale*) para a avaliação do esforço mental percebido pelos alunos (Paas, 1992) (cf. anexo IV);
- Inventário de Processo de Estudo (IPE) que é um questionário concebido para “avaliar as formas mais comuns de os alunos abordarem as suas tarefas de aprendizagem tendo em conta as suas características pessoais e os contextos de aprendizagem em que estão inseridos” (Rosário, Ferreira & Cunha, 2003, p. 147) (cf. anexo V);
- Ficha de observação das aulas das turmas dos dois grupos (cf. anexo VI);
- Guião de entrevista semiestruturada para as professoras das turmas dois grupos (cf. anexo VII).

A construção das tarefas de aprendizagem usadas nos dois grupos e os itens usados nos testes de avaliação de desempenhos (reprodução e transferência) teve a colaboração de um painel de dois professores de física e química do ensino básico e secundário.

Pertinência do Estudo

A grande maioria das investigações realizadas no âmbito do modelo 4C/ID de van Merriënboer (1997) centram-se em aspetos específicos do modelo, tais como questões relacionadas com a sequência mais eficiente das atividades de aprendizagem (cf. Paas & van Merriënboer, 1994), como e quando devem ser apresentadas os diferentes tipos de informações (cf. Kester, Kirschner, van Merriënboer & Baumer, 2001) e com o número adequado de passos que devem ser tidos em consideração na realização das tarefas (cf. Nadolski, Kirschner & van Merriënboer, 2005 e 2006).

Na realidade, a revisão sistemática da literatura com meta-análise que efetuámos (capítulo I) indica que há um défice de trabalhos de investigação experimental que comparem a eficiência do modelo 4C/ID face a outras abordagens instrutivas. Assim, perante este

problema consideramos que o trabalho que aqui apresentamos pretende dar um contributo à investigação sobre a eficiência do modelo 4C/ID no contexto da aprendizagem de competências complexas, na medida em que visa fornecer uma explicação fundamentada pela teoria sobre as diferenças encontradas entre duas abordagens instrutivas. De acordo com Mayer (1998), a resolução bem-sucedida de problemas depende de três fatores: competências (*skills*), *meta-skills*⁵ e motivação. A avaliação dos desempenhos, da carga cognitiva e das abordagens à aprendizagem contribui para revelar a natureza das relações recíprocas entre estes fatores.

Para além da construção de um RED baseado nas mais modernas teorias da aprendizagem feito pela instrução e validado por dados de investigação, a outra finalidade deste trabalho é contribuir para melhorar o ensino do tema “circuitos elétricos” incentivando os professores a utilizarem este recurso como meio facilitador do ensino e da aprendizagem deste assunto.

Estrutura da Tese

Esta tese foi organizada por um conjunto de artigos científicos que se encontram enquadrados em três dos quatro capítulos. Os capítulos I, II e III correspondem artigos de investigação aceites e publicados em revistas científicas nacionais e internacionais. O capítulo II e dois subcapítulos do capítulo III são apresentados em língua inglesa, pelo facto de constituírem artigos publicados em revistas científicas internacionais cuja língua oficial é o inglês. Com o intuito de facilitar a leitura da tese as referências de cada artigo são

⁵ Cognitive strategies that an individual applies to the processing of new information in a novel situation (a scenario not previously experienced). These skills include chunking or organizing new information, recalling relevant schemas, adding the new information to the old schemas, and creating new schemas. (Fonte: <http://www.nwlink.com/~donclark/hrd/glossary/m.html>).

apresentadas no final de cada capítulo ou subcapítulo, podendo assim surgir referência repetidas nas diferentes partes da tese.

No capítulo I -“Efeito do modelo 4C/ID sobre a aquisição e transferência de aprendizagem: revisão de literatura com meta-análise” – artigo publicado na Revista Ibérica de Sistema e Tecnologias de Informação - apresenta-se uma revisão sistemática da literatura sob a forma de meta-análise sobre a eficiência instrutiva do modelo 4C/ID face a outras abordagens.

No capítulo II – “4C/ID-Model in physics education: Design a digital learning environment to teach electric circuits”, publicado no *International Journal of Instruction* - apresenta-se uma descrição da metodologia usada na construção do RED “circuitos elétricos”. A descrição contém os passos seguidos na construção do recurso, assim como a justificação das opções metodológicas tomadas à luz da Teoria da Carga Cognitiva e da Teoria da Aprendizagem Multimédia.

O capítulo III – Resultados – encontra-se dividido em três subcapítulos que correspondem a três artigos. No primeiro - “The effects of 4C-ID model approach on acquisition and transfer of knowledge about electric circuits”, publicado no *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies* - faz-se uma apresentação preliminar dos resultados da estatística descritiva correspondente às variáveis ‘desempenhos’ referentes à reprodução e transferência de aprendizagem e do ‘esforço mental percecionado’ medido após a realização dos testes de desempenhos. No segundo artigo - “Learning electrical circuits: The effects of the 4C-ID instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge” artigo publicado no *Journal of Information Technology Education: Research* - revela os resultados correspondente à comparação dos dois grupos nas diferentes variáveis. No terceiro artigo - “Modelo instrutivo 4C/ID: efeitos sobre as abordagens à

aprendizagem de alunos do 9ºano”, aceite para publicação na *Análise Psicológica* - são apresentados os resultados correspondentes à variável ‘abordagens à aprendizagem’.

Por último, no capítulo IV – Discussão e Considerações Finais – procurámos apresentar, face aos objetivos e questões de investigação inicialmente traçados, os resultados da investigação fazendo uma análise integrada e holística dos principais resultados obtidos. É neste capítulo que procuramos refletir sobre o processo de investigação (metodologia e procedimentos) e sobre as implicações que os resultados têm para futuras investigações.

Referências

- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Baddeley, A.D. (1992). Working memory. *Science*, 244, 556-559. Retirado de <http://www.jstor.org/stable/2876819>.
- Baddeley, A.D. (1997). *Human memory: Theory and practice* (edição revista). Hove, UK: Psychology Press.
- Biggs, J. B. (1988). Approaches to learning and to essay writing. In R. Schmeck (Ed.), *Learning strategies and learning styles* (pp. 185–228). NY: Plenum.
- Biggs, J. B., & Tang, C. (2007). *Teaching for quality learning at university*. London: Open University Press.
- Biggs, J. B., Kember, D., & Leung, D. Y. P. (2001). The revised two factor study process questionnaire: R-SPQ-2F. *British Journal of Educational Psychology*, 1, 133–149. Retirado de http://www.johnbiggs.com.au/pdf/ex_2factor_spq.pdf.
- Camp, G., Paas, F., Rikers, R., & Van Merriënboer, J. J. G. (2001). Dynamic problem selection in air traffic control training: A comparison between performance, mental effort and mental efficiency. *Computers in Human Behavior*, 17, 575-595. doi: 10.1016/S0747-5632(01)00028-0.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1994). Why some material is difficulty to learn. *Cognition and Instruction*, 12, 185-233. Retirado de http://www.learnlab.org/research/wiki/images/5/54/Sweller_Chandler_Why_Some_Material_is_Difficult_to_Learn.pdf.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* – 6th ed. New York: Routledge.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2011). *Research Methods in Education*. New York: Routledge.

- Corbalan, G., Kester, L., & Van Merriënboer, J. J. G. (2008). Selecting learning tasks: Effects of adaptation and shared control on efficiency and task involvement. *Contemporary Educational Psychology, 33*, 733-756. doi:10.1016/j.cedpsych.2008.02.003.
- Cowan, N. (1997). *Attention and memory: an integrated framework*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Duarte, A. M. (2008). ELearning e abordagens à aprendizagem no ensino superior. *Sísifo. Revista de Ciências da Educação, 07*, pp. 39- 50. Retirado de <http://sisifo.fpce.ul.pt>.
- Entwistle, N. J., & Peterson, E.R. (2004). Conceptions of learning and knowledge in higher education: Relationships with study behavior and influences of learning environments. *International Journal of Educational Research, 41*, 407–428. doi:10.1016/j.sbspro.2015.03.119.
- Entwistle, N. J., & Ramsden, N. (1983). *Understanding student learning*. London and Canberra: Croom Helm.
- Entwistle, N., & Entwistle, D. (2003). Preparing for examinations: The interplay of memorizing and understanding, and the development of knowledge objects. *Higher Education Research and Development, 22*(1), 19–41. doi:10.1080/0729436032000056562.
- Entwistle, N., & McCune, V. (2004). The conceptual bases of study strategy inventories. *Educational Psychology Review, 16*(4), 325–345. doi:10.1007/s10648-004-0003-0.
- Gibbs, G. (1992). *Improving the quality of student learning: Theory and practice*. Bristol: TES.
- Heikkillä, A., & Lonka, K. (2006). Studying in higher education: Students' approaches to learning, self-regulation, and cognitive strategies. *Studies in Higher Education, 31*(1), 99–117. doi: 10.1080/03075070500392433.

- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2005). Rapid dynamic assessment of expertise to improve the efficiency of adaptive e-learning. *Educational Technology. Research and Development*, 53, 83-93. Retirado de http://www.ucs.mun.ca/~bmann/0_ARTICLES/CogLoad_Kalyuga05.pdf.
- Khalil, M., K., & Elkhider, I.A. (2016). Applying learning theories and instructional design models for effective instruction. *Advances in Physiology Education*, 40, 147-156. doi:10.1152/advan.00138.2015.
- Kicken, W., Brand-Gruwel, S., Van Merriënboer, J. J. G., & Slot, W. (2009a). Design and evaluation of a development portfolio: How to improve students' self-directed learning skills. *Instructional Science*, 37, 453-473. doi: 10.1007/s11251-008-9058-5.
- Kicken, W., Brand-Gruwel, S., Van Merriënboer, J. J. G., & Slot, W. (2009b). The effects of portfolio-based advice on the development of self-directed learning skills in secondary vocational education. *Educational Technology Research and Development*, 57, 439-460. Retirado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.459.9212&rep=rep1&type=pdf>.
- Laurillard, D. (1994). *How can learning technologies improve learning?* In J. Martin, J. Darby & B. Kjollerstrom (Eds.). *Higher Education 1998 transformed by Learning Technology*. Oxford: CTESS Publications.
- Laurillard, D. (1997). Learning from problem-solving. In F. Marton, D. Hounsell, & N. Entwistle (Eds.), *The experience of learning: Implications to teaching and studying in higher education* (2nd ed.). Edinburgh: The Scottish Academic Press.
- Lonka, K., Olkinuora, E., & Mäkinen, J. (2004). Aspects and prospects of measuring studying and learning in higher education. *Educational Psychology Review*, 16(4), 301–323. DOI:10.1007/s10648-004-0002-1.

- Marton, F. (1988). Describing and improving learning. In R. Schmeck (Ed.), *Learning strategies and learning styles* (pp. 53–82). NY: Plenum.
- Mayer, R. E. (2009). Teoria cognitiva da aprendizagem multimédia. In G.L. Miranda (Org.). *Ensino online e aprendizagem multimédia* (pp. 207-237). Lisboa: Relógio d'Água Editores.
- Mayer, R.E. (1998). Cognitive, metacognitive and motivational aspects of problem solving. *Instructional Science*, 26(1-2), 49-63. doi:10.1023/A:1003088013286.
- Mayer, R.E. (2009). *Multimedia learning* (2nd Ed.). New York: Cambridge University Press, New York.
- Mayer, R.E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Merril, M.D. (2012). *First principles of instruction*. San Francisco, CA: Pfeiffer.
- Miranda, G.L. (2014). *Relatório da Unidade Curricular: Aprendizagens e Tecnologias*. Manuscrito não publicado - Provas de agregação – Instituto de Educação Universidade de Lisboa.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem solving skill in statistics: a cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434.
- Paas, F., & van Merriënboer, J.J.G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem solving skill: a cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133. Retirado de <https://core.ac.uk/download/pdf/11455388.pdf>.
- Paas, F., Tuovinen, J.E., Tabbers, H., & Gerven, P.W.M.V. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71. doi: 10.1207/S15326985EP3801_8.

- Paivio, A. (1986). *Mental representation: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Ramsden, P. (1992). *Learning to teach in higher education*. London: Routledge.
- Reiser, R. (2001a). A history of instructional design and technology. Part 1: A history of instructional media. *Educational Technology Research and Development*, 49(1), 53-64. Retirado de <https://larrycuban.files.wordpress.com/2013/04/30220299.pdf>.
- Reiser, R. (2001b). A history of instructional design and technology. Part II: A history of instructional design. *Educational Technology Research and Development*, 49(2), 57-67. Retirado de http://www.speakeasydesigns.com/SDSU/student/SAGE/compsprep/History_of_Instru_ctional_Design.pdf.
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B. C. Bruce & W. F. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension* (pp. 38-58). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Salden, R. J. C. M., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2006). A comparison of approaches to learning task selection in the training of complex cognitive skills. *Computers in Human Behavior*, 22, 321-333. Retirado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2004.06.003>
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R.E. Mayer (ed.). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction*, 16(2), 165-169. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.02.005.

Sweller, J., & Chandler, P. (1991). Cognitive Load Theory and the format of instruction.

Cognition and Instruction, 8(4), 293-332. Retirado de

http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer, New York.

Taminiau, E. M. C. (2013). *Advisory models for on-demand learning*. Unpublished doctoral dissertation, Open University of the Netherlands, Heerlen, The Netherlands.

Van den Brink, K., Alemany, I., Plat, A., Duarte, A. Ericsson, L., & Slack, R. (2000).

Students' learning with educational multimedia in school - A multinational study.

Apresentado no X Colóquio AFIRSE Portuguesa, Lisbon.

Van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2013). *Ten steps to complex learning* (2nd Rev. Ed.). New York: Routledge.

Van Merriënboer, J. J. G., & Van der Vleuten, C. P. (2012). Technology-based assessment in the integrated curriculum. In M. C. Mayrath, J. Clarke-Midura, D. H. Robinson, & G. Schraw (Eds.), *Technology-based assessments for 21st century skills* (pp. 245-370). Greenwich, CT: Information Age Publishing.

Van Merriënboer, J.J.G., & Kester, L. (2009). Modelo de Design Educacional de Quatro Componentes: princípios Multimédia em Ambientes de Aprendizagem Complexa. In G. Miranda (Eds). *Ensino Online e Aprendizagem Multimédia* (pp. 286-320). Lisboa: Relógio D'Água.

Van Merriënboer, J.J.G., & Kirschener, P.A. (2009). *Ten steps to complex learning*. New Jersey: Routledge.

Van Merriënboer, J.J.G., & Sluijsmans, D.A. (2009). Towards a synthesis of cognitive load theory, four component instructional design and self-directed learning. *Educational Psychology Review*, 21, 55-66. doi:10.1007/s10648-008-9092-5.

Willoughby, T., Wood, E., Desmarais, S., Sims, S., & Kalra, M. (1997). Mechanisms that facilitate the effectiveness of elaboration strategies. *Journal of Educational Psychology, 89*, 682-685. doi: 10.1037//0022-0663.89.4.682.

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

Efeito do modelo 4C/ID sobre a aquisição e transferência de aprendizagem: revisão de literatura com meta-análise*

Resumo

Este artigo tem como principal objetivo apresentar os resultados de uma meta-análise que investigou o efeito da utilização do modelo instrutivo 4C/ID (*four components instructional design model*) na aprendizagem, nomeadamente na capacidade que os sujeitos demonstraram na ‘reprodução de conhecimentos’ e na ‘transferência da aprendizagem’ a novas situações. Este modelo tem sido sobretudo aplicado em ambientes de ensino e aprendizagem *online*. Foram seleccionados oito estudos, a partir dos 61 encontrados na pesquisa em diferentes bases de dados, a que se aplicaram os métodos estatísticos subjacentes a este tipo de revisão sistemática da literatura. Os resultados revelaram que, em média, a utilização do modelo 4C/ID produz efeitos elevados sobre os grupos experimentais ($d = + 0,56$) ao nível dos desempenhos ‘reprodução’ + ‘transferência’. Estas duas variáveis foram também analisadas de forma independente e os resultados revelaram efeitos elevados ($d = + 0,70$, para a “reprodução de conhecimentos” e $d = + 0,65$, para a “transferência da aprendizagem”). Analisou-se o impacto de cada estudo sobre os resultados da meta-análise e discutiram-se algumas das suas características metodológicas. Verificou-se que há um défice de trabalhos de investigação de carácter experimental sobre a eficiência (desempenhos + esforço mental) do modelo 4C/ID em contexto educativo e que os estudos existentes se centram mais na avaliação de desempenhos.

* Melo, M., & Miranda, G.L. (2016). Efeito do Modelo 4C/ID sobre a aquisição e transferência de aprendizagem: Revisão de literatura com meta-análise. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 18(06), 114-130. doi: 10.17013/risti.18.114-130. (SJR-SCImago Q3 Computer Science em 2016)

Palavras-chave: Modelo 4C/ID; Meta-análise; Teoria da Carga Cognitiva; Aprendizagem complexa; Transferência de aprendizagem.

Abstract

This article presents the result of a meta-analysis that investigated the effect of the instructional model 4C/ID (four components instructional design) in learning, particularly on the students' achievement and transfer. This model has been applied mostly in online educational learning environments. We selected eight studies, from the 61 found in different databases, upon which we applied the statistical methods for this kind of systematic literature review. The results showed that, on average, the 4C/ID model produces moderate effects in the experimental groups ($d = + 0,56$) in terms of the achievement ('reproduction' + 'transfer'). These variables were also analyzed in an independent way and the results showed high effects in both variables ($d = + 0,70$ for the achievement and $d = + 0,65$ for the transfer of learning). We also presented an analysis of the impact of each study on the meta-analysis results and some methodological features of this process of literature review. We found a deficit in the number of published studies about the efficiency of 4C/ID model (that combines data from achievement and mental effort) in educational context and we also observed that the existing studies focus more on the achievement and less in measures of the mental effort.

Keywords: 4C/ID model; Meta-analysis; Cognitive Load Theory; Complex learning; Transfer of learning.

Introdução

Neste artigo apresentámos os resultados de uma revisão sistemática da literatura com meta-análise, sobre os efeitos da utilização do modelo instrutivo - Modelo de Desenho Educacional de Quatro Componentes (4C/ID) - no desempenho dos alunos.

O desenho instrutivo (*instructional design*, ID), segundo Merrill, Drake, Lacy e Pratt (1996), corresponde a uma prática que permite criar experiências de ensino com o intuito de promover a aquisição de conhecimentos e de competências de uma forma mais eficiente e apelativa.

O modelo 4C/ID foi desenvolvido por van Merriënboer durante a década de 90 e é considerado, pelos especialistas do ID, como um dos mais influentes neste domínio, a par da teoria de Robert Gagné, desenvolvida durante a década de 60, conhecida como Teoria das Condições de Aprendizagem (Ouimette, Surry, Grubb & Hall, 2009). O enquadramento teórico do modelo 4C/ID pode ser consultado em van Merriënboer e Kester (2014).

A investigação neste domínio tem-se centrado na forma como o modelo 4C/ID tem sido utilizado em ambientes de aprendizagem digitais para a promoção de aprendizagens complexas, que segundo van Merriënboer et al. (2014) envolvem a integração de conhecimentos, de competências, de atitudes e a capacidade de coordenar diferentes competências em termos qualitativos, visando a transferência do que é aprendido para novas situações.

Este modelo assume os pressupostos e integra muitos dos resultados experimentais alcançados pela Teoria da Carga Cognitiva (TCC) (cf. Sweller, Ayres, Kalyuga, 2011). Neste contexto foram desenvolvidos métodos para medir a carga cognitiva associada às tarefas de aprendizagem: as “medidas subjetivas diretas” e em particular a escala de índice desenvolvida por Paas (Paas, 1992), para a medição do esforço mental percebido pelos alunos. Este autor e van Merriënboer desenvolveram uma medida de eficiência da instrução,

que combina o esforço mental com indicadores de desempenho na realização das tarefas de aprendizagem.

O Modelo 4C/ID

As competências trabalhadas no contexto da aprendizagem complexa são classificadas como não-recorrentes ou recorrentes. No primeiro caso o processo de aprendizagem fundamental está associado à construção de esquemas mentais através da apresentação de modelos mentais, estratégias cognitivas e *feedback* cognitivo; no segundo caso a aprendizagem está mais centrada na automação de regras, conseguida através da sua aplicação com sucesso (Anderson, 1983, 1993). A combinação desses dois processos de aprendizagem visa promover a transferência da aprendizagem.

Para implementar essas estratégias de aprendizagem, o modelo 4C/ID preconiza a existência de quatro componentes interrelacionados: (a) as tarefas de aprendizagem, consideradas a espinha dorsal do modelo, sendo preferencialmente baseadas em exemplos da vida real, (b) a informação de suporte que permite que o aluno resolva de forma eficiente problemas, promovendo a ponte entre os seus conhecimentos prévios e os novos conhecimentos, (c) a informação processual, que permite, através de um algoritmo, dar informações de como os aspetos mais rotineiros das tarefas devem ser executados; estando organizada em pequenos segmentos de informação apresentados no momento exato em que são necessários e (d) a prática nas tarefas que permite o treino competências mais rotineiras.

Eficiência do Modelo 4C/ID: Evidências Empíricas

A investigação realizada no âmbito do modelo 4C/ID, com cerca de duas décadas, tem sido desenvolvida em duas grandes vertentes: uma centrada no melhoramento das condições de aplicabilidade do modelo (por exemplo, forma e instantes de apresentação das informações, organização das tarefas de aprendizagem, sequência das classes de tarefas, etc.); e outra relacionada com a eficiência do modelo ao nível da aprendizagem, que combina dados provenientes de avaliação de desempenhos⁶ (reprodução e transferência) com esforço mental percecionado. É na segunda vertente que se encontram os estudos selecionados para a meta-análise.

Sobre as condições de aplicabilidade do modelo 4C/ID destacamos a investigação realizada por Kester, Kirschner e van Merriënboer em 2004 e 2006, acerca das condições (forma e instante) de apresentação dos diferentes tipos de informação, que otimizam a carga cognitiva associada à realização de tarefas no contexto da análise de erros cometidos no desenho de circuitos elétricos.

Em termos de desenvolvimento de competências na formação de professores destacam-se os trabalhos realizados por Hoogveld, Pass e Jochems em 2001 e 2003. No primeiro estudo, foram comparados dois grupos de professores: um grupo que foi treinado para usar o modelo 4C/ID na conceção de materiais instrutivos e o outro grupo foi treinado para conceber materiais instrutivos usando a sua própria abordagem. A qualidade do *design* de seus materiais foi avaliada por especialistas, verificando-se que o primeiro grupo desenvolveu projetos qualitativamente melhores face ao segundo. O segundo estudo visou investigar os benefícios do modelo 4C/ID no trabalho em equipa ou individual. Os resultados

⁶ A avaliação é feita por intermédio de testes de avaliação construídos com itens que apelem à reprodução de conhecimentos adquiridos e à transferência da aprendizagem a novas situações.

revelaram que os sujeitos com menor desempenho beneficiaram mais com o modelo 4C/ID quando desenvolveram trabalho em equipa.

No âmbito dos estudos de carácter descritivo sobre as potencialidades do modelo 4C/ID no ensino da medicina dentária destacamos o trabalho de Postma e White (2015). Ainda na área das ciências da saúde Susilo, van Merriënboer, van Dalen, Claramita e Scherpbier em 2013 realizaram uma investigação de natureza qualitativa sobre a utilização do modelo 4C/ID no desenvolvimento de competências relacionadas com a utilização de linguagem técnica numa comunidade de profissionais de saúde hierarquizada (auxiliares, enfermeiros e médicos).

Janssen-Noordman, van Merriënboer, van der Vleuten e Scherpbier (2006), apresentam o exemplo de um ambiente de aprendizagem na área da formação médica (avaliação clínica de pacientes por médicos em formação) concebido com base no modelo 4C/ID, avaliando qualitativamente as vantagens deste modelo.

Outra vertente metodológica centra-se em trabalhos de carácter experimental que envolvem a avaliação do efeito do modelo 4C/ID ao nível da aprendizagem, ou seja, na medição dos desempenhos dos alunos em termos de reprodução dos conhecimentos adquiridos e na transferência de aprendizagem. Em alguns trabalhos foi também avaliado o esforço mental despendido pelos alunos na realização das tarefas de aprendizagem ou na realização dos testes de avaliação de desempenhos.

Meta-Análise

A meta-análise, introduzida por Gene Glass, é uma metodologia de investigação na qual são analisados um conjunto (≥ 2) de trabalhos de investigação e apresentadas medidas

que combinam os resultados desses estudos, permitindo estimar o efeito médio de intervenções sobre determinadas variáveis nos estudos selecionados.

O principal objetivo desta meta-análise é posicionar os resultados de investigação relacionados com a eficiência do modelo 4C/ID na aprendizagem (em particular na reprodução e transferência de conhecimentos), numa escala contínua e única. A unidade de medida escolhida neste estudo para a magnitude de efeito é o *d*-Cohen (cf. Glass, McGaw e Smith, 1981 e Rosenthal, 1995), que corresponde a uma expressão comum da magnitude dos resultados de um estudo para as diferentes variáveis estudadas, que neste caso são: ‘desempenhos de reprodução’ (referentes à reprodução dos conhecimentos aprendidos) e os ‘desempenhos de transferência’ (referentes à transferência dos conhecimentos aprendidos a novas situações).

Segundo Marôco (2014) as medidas de magnitude de efeito de referência nas ciências sociais e do comportamento podem ser classificadas do seguinte modo: $d > 1.0$ muito elevada, $0.5 < d \leq 1.0$ elevada, $0.2 < d \leq 0.5$ médio e $d \leq 0.2$ pequeno (adaptadas de Cohen, 1988).

Hipóteses

Como o principal objetivo deste estudo meta-analítico é analisar o efeito do modelo 4C/ID sobre os desempenhos, quando comparado com outras abordagens instrutivas, levantámos as seguintes hipóteses:

- *Hipótese 1*: A utilização de um ambiente de aprendizagem concebido com base no modelo 4C/ID implica que os alunos tenham melhores resultados ao nível da reprodução dos conhecimentos adquiridos.

- *Hipótese 2*: A utilização de um ambiente de aprendizagem concebido com base no modelo 4C/ID implica que os alunos tenham melhores resultados ao nível da transferência de aprendizagem.

Metodologia

Usou-se o software *Comprehensive Meta-Analysis* (CMA) – versão 2 para Windows para o cálculo das magnitudes de efeito e para efetuar todos os testes estatísticos (intervalos de confiança, Q de Cochrane e teste z). O procedimento foi efetuado de acordo com os seguintes passos: 1) localização de todos os estudos possíveis; 2) seleção dos estudos de acordo com os critérios de inclusão; 3) codificação dos artigos selecionados de acordo com as suas características metodológicas; 4) cálculo das magnitudes de efeito para todos os estudos selecionados; e 5) realização dos testes estatísticos.

Procedimentos para a Pesquisa de Literatura

A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados PsychINFO, ERIC, ISI Web of Knowledge, Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink e resumos de dissertações ou teses usando como palavras-chave “four components instructional design model”, “4C/ID model and learning transfer”, “4C/ID model and learning”, “Part-task vs. Whole-task instructional design models” e “effectiveness of 4C/ID model” para datas posteriores a 2000. Foram analisadas exaustivamente as citações encontradas nos trabalhos obtidos e foi feito um exame às referências citadas por van Merriënboer e Sweller. Foram ainda contactados por e-mail alguns autores que têm desenvolvido trabalhos de investigação com o modelo 4C/ID (Jeroen van Merriënboer, Paul Kirschner, Astrid Susilo e Jan Elen).

O protocolo da meta-análise encontra-se no Anexo I.

Critérios de Inclusão

Após os resultados de pesquisa dos estudos, foram selecionados os que satisfaziam os seguintes critérios: 1) o estudo tem de envolver a utilização de materiais instrutivos desenvolvidos com base no modelo 4C/ID com ou sem a utilização de computador; 2) o estudo deve abranger uma faixa etária dos 14 aos 23 anos; 3) o estudo pode ter sido efetuado em qualquer país desde que a publicação dos seus resultados tenha sido feita em Inglês; 4) o estudo tem de apresentar resultados empíricos quantitativos; 5) só podem ser incluídos estudos com grupo de controlo (são excluídos todos os trabalhos com comparações pré-pós-teste); 6) o estudo deve poder ser replicável noutra escola e 7) o estudo deve envolver a avaliação dos desempenhos e/ou do esforço mental.

Na pesquisa efetuada foram encontrados 61 trabalhos nas diferentes bases de dados; no entanto, apenas oito trabalhos foram selecionados por se enquadrarem nos critérios de inclusão e nas hipóteses de investigação levantadas.

Codificação dos Estudos e das Variáveis

Para cada trabalho foram codificadas as seguintes variáveis: 1) identificação do estudo; 2) variáveis analisadas (testes de reprodução, testes de transferência e avaliação do esforço mental); 3) área de aplicação (matemática, ciências, engenharia, ciências sociais); 4) nível de ensino do grupo (primeiro ciclo do ensino básico, segundo ciclo do ensino básico, ensino secundário e primeiros anos do ensino universitário); 5) forma de apresentação do material instrutivo (áudio, computador, realidade virtual); 6) número de participantes do grupo experimental e do grupo de controlo; 7) d - Cohen médio determinado com base nos desempenhos de reprodução e de transferência de conhecimentos; 8) d - Cohen para as variáveis desempenhos de reprodução, desempenhos de transferência e esforço mental despendido na realização dos testes de reprodução e transferência.

A codificação dos estudos foi elaborada por dois investigadores que trabalharam de forma independente. A concordância entre os avaliadores foi de 95% e quando houve desacordo, ambos os investigadores reexaminaram os estudos em questão até chegarem a um consenso.

Estudos Seleccionados

Foram seleccionados os seguintes estudos para meta-análise:

- Nadolski, Kirschner e van Merriënboer (2005) focaram o seu trabalho na segmentação das tarefas de aprendizagem complexa na área do ensino do direito com recurso a um ambiente digital. Fizeram variar o número de fases (1, 4 e 9) implicadas na resolução das tarefas de aprendizagem, com o intuito de encontrar um equilíbrio entre a segmentação das tarefas e a sobrecarga cognitiva associada à resolução destas. Os resultados mostraram que a segmentação em 4 fases gerou melhores resultados ao nível da eficiência das condições de instrução no que respeita à reprodução de conhecimentos (melhor desempenho com menor esforço mental percebido). No entanto, em relação à variável transferência de aprendizagem os resultados revelaram não haver diferenças significativas. No estudo meta-analítico usamos a comparação entre o grupo com as 4 fases de segmentação (grupo experimental) e o grupo com as 9 fases de segmentação (grupo de controlo). Em 2006 os autores confirmaram estes resultados com uma replicação do estudo (Nadolski, Kirschner e van Merriënboer, 2006);
- Lim (2006) investigou os efeitos de duas abordagens instrucionais (tarefa segmentada versus tarefa não segmentada) e do nível de especialização dos alunos (novato versus perito) sobre aquisição e transferência de uma competência cognitiva complexa (preparação de uma folha de cálculo). Para além destas variáveis foram avaliadas a carga cognitiva e a eficiência das condições de instrução. A experiência foi realizada com uma amostra de 51 alunos do

ensino superior numa disciplina de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Ao grupo de controlo foram apresentadas as tarefas de aprendizagem sobre a competência complexa a treinar de forma segmentada e no grupo experimental as tarefas foram concebidas com base no modelo 4C/ID. Os resultados mostraram haver diferenças significativas entre os dois grupos, a favor do grupo experimental, ao nível: (a) dos desempenhos relativos à reprodução de conhecimentos, (b) dos desempenhos relativos à transferência de aprendizagem, (c) da eficiência das condições de instrução, na reprodução e na transferência. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas ao nível do esforço mental despendido na resolução dos testes de desempenho. No estudo meta-analítico englobam-se os dados referentes à comparação entre os dois grupos apenas para os sujeitos novatos, uma vez que são os dados que melhor se aproximam dos objetivos desta revisão de literatura;

- Sarfo e Elen (2007) estudaram o efeito da utilização de um ambiente de aprendizagem concebido com os princípios do modelo 4C/ID ao nível da reprodução e transferência de conhecimentos técnicos em escolas de ensino profissional no Ghana. Foi ainda avaliado o efeito do uso das TIC sobre eficiência da utilização do modelo 4C/ID. A amostra foi composta por 129 alunos, distribuídos da seguinte forma: um grupo de controlo com um método regular de ensino e dois grupos experimentais com o modelo 4C/ID, um com o recurso às TIC e um outro sem recurso às TIC. Os resultados mostraram que a abordagem 4C/ID foi mais eficiente no treino de competências técnicas no ensino profissional técnico face a uma abordagem concebida de acordo com um método de ensino regular;

- Lim, Reiser e Olin (2009) investigaram os efeitos de duas abordagens instrutivas (apresentação das tarefas de forma segmentada versus apresentação das tarefas concebidas com base no modelo 4C/ID) sobre aquisição e transferência de uma competência cognitiva complexa no contexto aprendizagem das TIC. Os resultados indicaram que os sujeitos do grupo com a abordagem 4C/ID obtiveram um desempenho significativamente melhor do que

o grupo com a abordagem de segmentação, ao nível dos testes de aquisição de competências e no teste de transferência;

- Flores (2011) estudou o impacto da utilização de um ambiente de aprendizagem de matemática para o ensino secundário concebido com base no modelo 4C/ID, ao nível dos desempenhos (reprodução e transferência) e do esforço mental percecionado pelos alunos. A investigação foi desenvolvida num meio rural no sudoeste dos EUA. Foram constituídos dois grupos: o experimental no qual se implementou o ambiente de aprendizagem com a abordagem 4C/ID e o de controlo no qual se usou uma abordagem tradicional. Os resultados mostraram não haver diferenças significativas entre os grupos ao nível dos desempenhos e do esforço mental. Todavia, essas diferenças foram maiores ao nível da reprodução e praticamente nulas ao nível da transferência de aprendizagem. O autor apontou como principais causas para estes resultados o contexto socioeconómico da amostra e o baixo nível de conhecimentos prévios;

- Rosenberg-Kima (2012) comparou as diferenças entre duas abordagens instrutivas (centrada nas tarefas de aprendizagem versus centrada nos objetivos), no âmbito do ensino da programação em Flash®, ao nível dos desempenhos (reprodução e transferência) e esforço mental despendido. O grupo experimental foi sujeito à abordagem centrada nas tarefas (modelo 4C/ID) e grupo de controlo foi sujeito a uma abordagem centrada nos objetivos de aprendizagem. Os resultados experimentais revelaram haver diferenças significativas ao nível dos desempenhos de reprodução e de transferência de aprendizagem e que os sujeitos do grupo experimental percecionaram menor esforço mental na realização das tarefas de aprendizagem;

- Lim e Park (2012) investigaram os efeitos das abordagens instrutivas 4C/ID e segmentação de informação em termos dos desempenhos (de reprodução e transferência), em alunos do segundo ano do ensino superior numa disciplina de TIC na Educação, para o treino de

competências complexas no contexto da programação em MSExcel®. Foi ainda avaliado o esforço mental despendido pelos alunos e conseqüentemente a eficiência instrutiva. Nas duas abordagens usou-se o *e-learning*. Os resultados revelaram que o grupo experimental obteve melhores resultados ao nível dos desempenhos, com menor esforço mental, apontando desta forma para uma melhor eficiência instrutiva. Desta forma, os autores sugerem que uma abordagem instrutiva concebida com o modelo 4C/ID parece ser mais eficiente na aquisição de aprendizagens complexas.

Cálculo das Medidas de Magnitude de Efeito e Análise Estatística

O cálculo das medidas de magnitude de efeito foi feito com a diferença padronizada entre os dois valores médios observados na variável dependente no pós-teste para os grupos experimental e de controlo, dividida pela estimativa não enviesada do desvio-padrão da população (*pooled within groups*). Este cálculo e o estudo estatístico foram realizados com o software CMA.

Resultados

Os resultados devem ser interpretados com algum cuidado devido ao número reduzido de estudos que foi possível incluir no estudo meta-analítico.

O Quadro 2 representa a caracterização dos estudos seleccionados para a meta-análise.

Quadro 2

Caracterização dos estudos selecionados.

Nº	ID do estudo	<i>d</i> -Cohen ^a	n _{GE}	n _{GC}	Idade ^b	Tipo de publicação	Área de estudo
1	Nadolski et al., 2005	0.2870	12	11	22.8	artigo	Direito
2	Nadolski et al., 2006	0.2895	22	21	23.5	artigo	Direito
3	Lim, 2006	0.4083	26	25	20.6	PhD Tese	Informática
4	Sarfo et al., 2007	1.1500	41	41	18.1	artigo	Artes
5	Lim et al., 2009	0.6775	26	25	20.1	artigo	Informática
6	Flores, 2011	0.3638	19	16	15.9	PhD tese	Matemática
7	Rosenberg-Kima, 2012	0.3212	31	33	21.5	PhD tese	Informática
8	Lim et al., 2012	0.7154	12	10	30.0	Proceeding	Informática

^a valor médio para as variáveis 'desempenhos de reprodução' e 'desempenhos de transferência'.

^b em anos.

Magnitude de Efeito Global

Seguindo as recomendações de Rosenthal (1995), um estudo meta-analítico deve sempre apresentar de uma forma gráfica a distribuição dos valores médios de *d*-Cohen para os trabalhos selecionados. O gráfico da Figura 5 mostra o diagrama de floresta (*forest graph*) que ilustra os resultados da meta-análise em função do rácio de chances (*odds ratio*, OR, na terminologia anglo-saxónica). As linhas horizontais representam os intervalos de confiança (IC a 95%), que se interceptarem a linha vertical central indica que não há diferenças significativas entre os grupos experimental e de controlo em relação ao benefício da intervenção sobre o grupo experimental e se estas se posicionarem do lado direito as diferenças a favor do grupo experimental são significativas. O ponto central de cada linha horizontal representa a magnitude de efeito de cada estudo e o seu tamanho indica o peso relativo de cada estudo no resultado final. A mesma interpretação é feita em relação ao losango da parte inferior do gráfico, que diz respeito à combinação dos dados de todos os estudos.

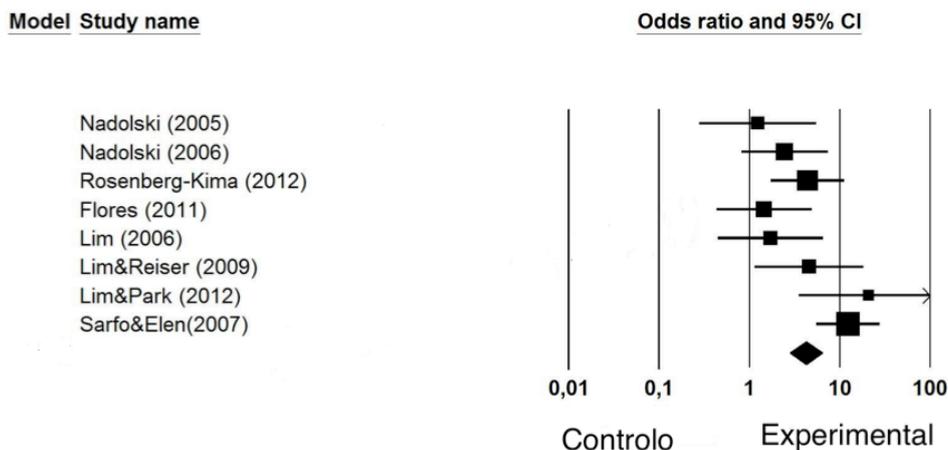


Figura 5. Gráfico de floresta dos estudos selecionados para a meta-análise com a indicação do OR (IC95%).

Podemos concluir que as medidas de magnitude efeito para os oito estudos se encontram do lado direito da linha central (intervencções a favor do grupo experimental), 50% dos estudos não revelam diferenças significativas a favor do grupo experimental e que 50% revelam diferenças significativas. Verifica-se que há uma distribuição homogénea dos pesos relativos de cada estudo, apresentado apenas o último um peso maior. Quanto à magnitude de efeito global, podemos concluir que, como a marca está do lado direito, as diferenças ao nível dos desempenhos de reprodução e transferência são significativas a favor do grupo experimental. Observando os OR dos vários estudos verifica-se que a chance de ocorrência de efeito positivo (em termos dos desempenhos de reprodução e transferência) da utilização do modelo 4C/ID nos grupos experimentais é sempre maior do que a de ocorrer esse efeito nos grupos de controlo.

A decisão de se incorporar um grupo de estudos numa meta-análise está relacionada com o número de elementos comuns entre estes. Contudo, esta assunção não significa que se considere que os estudos sejam idênticos em todas as variáveis. As diferenças encontradas entre estudos são designadas por heterogeneidade. A heterogeneidade pode ser identificada

através da análise gráfica ou por testes de heterogeneidade, tais como, medidas Q de Cochran e de I^2 de Higgins.

O Q de Cochran permite testar a existência de heterogeneidade entre estudos, sendo sensível à dimensão da amostra. Logo, para um número reduzido de estudos com alguma variabilidade (entre estudos) pode ainda originar a um p -value não significativo ($p > 0.05$), tal como se pode observar nos dados da Quadro 3. O parâmetro I^2 de Higgins representa a percentagem de variância atribuída à heterogeneidade. Atendendo aos valores da Quadro 3, o valor de I^2 de Higgins para o método de efeito fixo é igual a 23%, o que corresponde a uma heterogeneidade baixa (Higgins & Thompson, 2002), o que é corroborado pelo teste de heterogeneidade, Q , ($p > 0.05$).

Apesar de todas as considerações sobre a heterogeneidade a escolha do modelo estatístico deve depender da estrutura da amostragem que foi usada para seleccionar os estudos. Se estamos a trabalhar com uma única população, então devemos usar o modelo de efeito fixo. Se estamos a trabalhar com um universo de populações devemos optar pelo modelo de efeitos aleatórios. Apesar do número reduzido de estudos e da baixa heterogeneidade das medidas de magnitude de efeito, escolheu-se o modelo de efeitos aleatórios devido à estrutura de amostragem da meta-análise.

No Quadro 3 encontram-se os resultados da análise estatística aplicada ao valor de magnitude de efeito (apenas relativos à média dos desempenhos nos testes de reprodução e de transferência), usando os métodos de efeito fixo e de efeitos aleatórios.

Quadro 3

Magnitude de efeito global.

	k	d	SE	Intervalo de confiança 95%		Teste z		Teste de heterogeneidade		
				Min	Máx	z	p	Q	df(Q)	p
				Efeito fixo	8	0.57	0.11	0.36	0.78	5.36
Efeitos aleatórios	8	0.56	0.12	0.32	0.80	4.55	0.00	6.40	7	0.49

Observando o Quadro 3 verificamos que o valor médio global da magnitude de efeito para os oito estudos selecionados é 0.56 (95% CI [0.32; 0.80]), o que corresponde a uma magnitude de efeito elevada. No que respeita ao teste z ($z = 4.55$, $p = 0.00$), podemos afirmar que o valor médio dos verdadeiros valores de magnitude de efeito é não nulo, pelo que de uma forma geral podemos concluir que ao nível dos desempenhos médios nos testes de reprodução e de transferência a utilização de ambientes de aprendizagem concebidos com base no modelo instrutivo 4C/ID gera medidas de magnitude de efeito que correspondem a efeitos moderados a fortes. O teste de Cochran não foi significativo ($p > 0.05$) revelando homogeneidade nos estudos. A observação da variância estimada entre estudos ($\tau^2 = 0.0282$) foi baixa.

Estimativa do Viés de Publicação (Publication Bias)

O viés de publicação é, possivelmente, uma das maiores ameaças metodológicas à validade dos resultados de uma meta-análise. Neste sentido, têm sido desenvolvidos vários métodos para estimar este efeito: 1) O método de Rosenthal (*Rosenthal fail-safe N*), que foi considerado o mais fácil de estimar, tendo como referência o número de estudos não publicados necessários para anular o valor médio da magnitude de efeito. Neste estudo

obtivemos um *fail-safe* N de 72, que corresponde ao número de estudos não publicados que tornam o valor médio da magnitude de efeito não significativa; 2) o método do gráfico de funil (*funnel plot*) é outra forma de avaliar o viés de publicação. Neste diagrama (Figura 6) os estudos são representados por pontos, cuja distribuição deve ser simétrica em torno do valor médio de *d*-Cohen, quando não há viés de publicação. Neste caso, verifica-se que há uma distribuição assimétrica para o lado esquerdo do valor médio de *d*-Cohen, dando informação de que existe viés da publicação. Contudo, de acordo com o teste de Begg ($p = 0.805$) o viés encontrado não é considerado estatisticamente significativo.

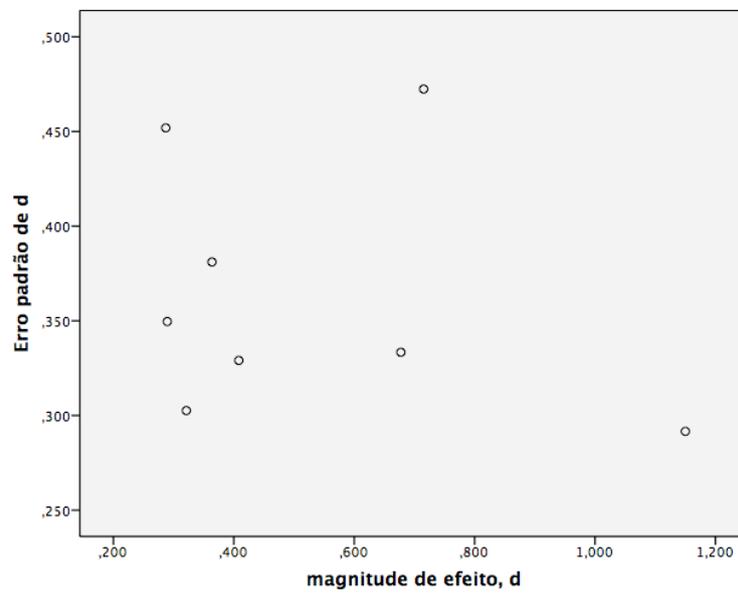


Figura 6. Gráfico de funil para a meta-análise para magnitude de efeito vs erro padrão de magnitude de efeito (modelo de efeito aleatórios).

Análise da Magnitude de Efeito por Variável

Fez-se uma meta-análise para as seguintes variáveis: desempenhos relativos à ‘reprodução’ de conhecimento (R) e desempenhos relativos à ‘transferência’ de aprendizagem (T).

Os gráficos das Figuras 7 e 8 representam os diagramas de floresta para as variáveis ‘desempenhos de reprodução’ (R) e ‘desempenhos de transferência’ (T) por estudo selecionado.

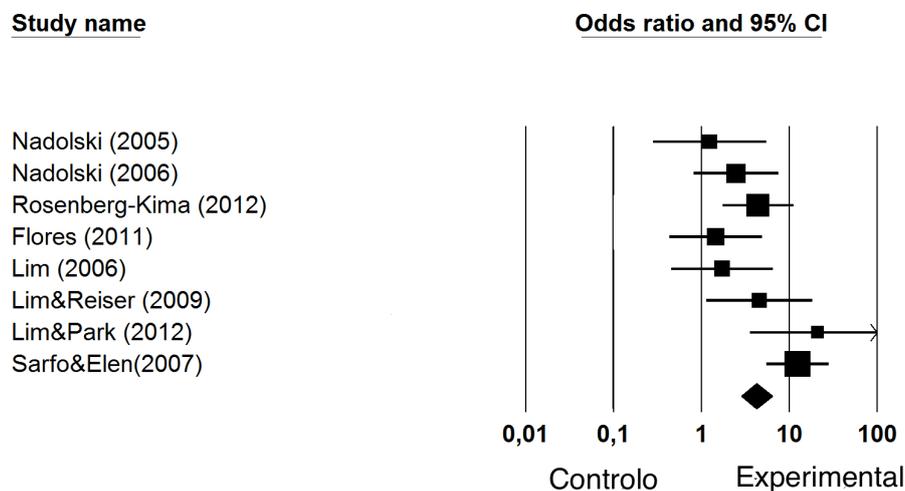


Figura 7. Diagrama de floresta para os desempenhos de reprodução (R) com a indicação do OR (IC95%).

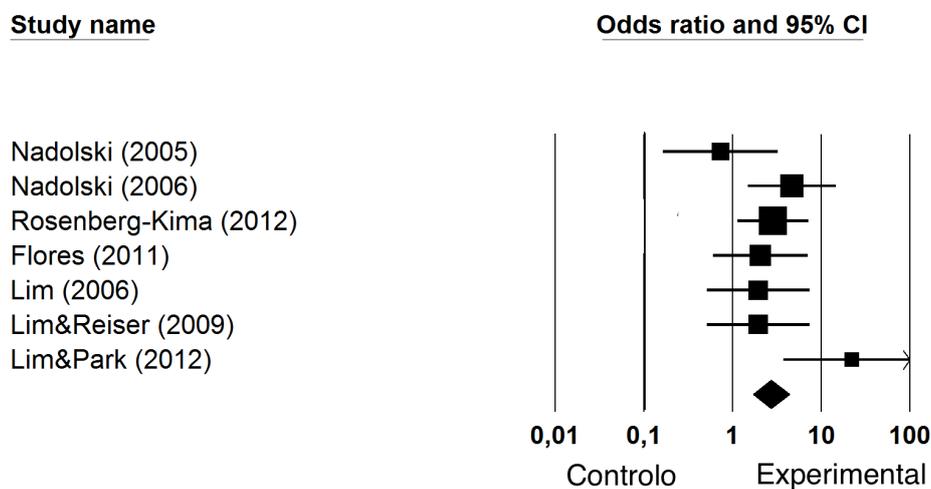


Figura 8. Diagrama de floresta para os desempenhos transferência (T) com a indicação do OR (IC95%).

Verifica-se que para as duas variáveis 50% dos estudos não revelam diferenças significativas e favor do grupo experimental e que 50% revelam diferenças significativas. Relativamente à variável reprodução verifica-se que o OR é sempre maior do que 1, logo

podemos afirmar que o efeito da utilização do modelo 4C/ID sobre essa variável é maior para os sujeitos grupos experimentais. Contudo, para a variável transferência verifica-se que os OR estão mais próximos da unidade, pelo que podemos concluir que o efeito da utilização do modelo 4C/ID sobre esta variável é menos forte (quando comparado com a reprodução). Podemos ainda visualizar que para o estudo de Nadolski (2005) o efeito foi quase nulo, favorecendo os sujeitos do grupo de controlo.

No Quadro 4 encontram-se os resultados da análise estatística para as variáveis ‘desempenhos de reprodução’ e ‘desempenhos transferência’.

Quadro 4

Magnitude de efeito para as variáveis ‘reprodução’ (R) e ‘transferência’ (T).

Variável	k	d	SE	Intervalo de confiança 95%		Teste z		Teste de heterogeneidade			I^2 de Higgins
				Min	Máx	z	p	Q	df(Q)	p	
R	8	0.70	0.20	0.30	1.09	3.47	0.00	7.203	7	0.408	64%
T	7	0.65	0.23	0.20	1.10	2.84	0.00	6.318	6	0.389	64%

Mais uma vez, tendo em consideração a natureza da amostragem deste estudo, usamos o modelo de efeitos aleatórios. Portanto, no que diz respeito à variável ‘desempenhos de reprodução’, verificamos que o valor médio da magnitude de efeito é 0.70 (95% IC [0,30; 1,09]), o que corresponde a uma magnitude de efeito elevada. No que respeita ao teste z, podemos afirmar que, de acordo com os resultados deste teste ($z = 3.47$, $p = 0.00$), o valor médio dos verdadeiros valores de magnitude de efeito é não nulo, pelo que de uma forma geral podemos concluir que ao nível dos desempenhos de reprodução a utilização de ambientes de aprendizagem concebidos com base no modelo instrutivo 4C/ID gera medidas de magnitude de efeito que correspondem a efeitos moderados a fortes, em termos de reprodução da aprendizagem.

Relativamente à variável ‘desempenhos de transferência’, verificamos que o valor médio da magnitude de efeito é 0.65 (95% IC [0.20; 1.10]), o que corresponde a uma magnitude de efeito elevada. Quanto ao teste z , podemos afirmar que ($z = 2.84$, $p = 0.00$) o valor médio dos verdadeiros valores de magnitude de efeito é não nulo, pelo que de uma forma geral podemos concluir que ao nível dos desempenhos de transferência a utilização de ambientes de aprendizagem concebidos com base no modelo instrutivo 4C/ID gera medidas de magnitude de efeito que correspondem a efeitos elevados ao nível da transferência da aprendizagem. O teste Q de Cochran não foi significativo ($p > 0.05$) revelando heterogeneidade entre os estudos não significativa. A variância estimada entre estudos (0.200 e 0.232 para as variáveis R e T respetivamente) foi elevada.

Discussão

Os resultados da meta-análise permitem suportar as hipóteses relacionadas com os desempenhos referentes à reprodução e transferência de conhecimentos. Assim, o efeito combinado destas duas variáveis produz, em média, um $d = + 0.56$ com IC95% [0.32-0.80] denotando alguma variabilidade nas medidas de magnitude de efeito e um efeito positivo da utilização do modelo 4C/ID sobre os desempenhos dos sujeitos dos grupos experimentais. Neste sentido, surgiu a necessidade de discriminar a magnitude de efeito para as duas variáveis relacionadas com os desempenhos (‘reprodução’ e ‘transferência’). Relativamente ao efeito da utilização do modelo 4C/ID sobre as variáveis ‘reprodução de conhecimentos’ (hipótese 1) e ‘transferência de conhecimentos’ (hipótese 2) os valores de d foram + 0.70 (IC95% 0.30-1.09) e + 0.65 (IC95% 0.20-1.10), respetivamente. Os resultados mostram que para ambas as variáveis a utilização do modelo 4C/ID produziu efeitos elevados, sendo este resultado mais acentuado para a variável ‘reprodução de conhecimento’. Os sujeitos dos grupos experimentais tiveram mais facilidade em reproduzir os conhecimentos adquiridos do

que em transferir estes conhecimentos para novos problemas e situações. De facto, a transferência de conhecimentos não é um fenómeno que se produza de modo espontâneo e é difícil de por em evidência em termos experimentais, sobretudo quando se tratam de aprendizagens complexas (Melo & Miranda, 2015).

No que concerne à própria metodologia da meta-análise tivemos o cuidado de controlar algumas variáveis como: a) ‘tipo de publicação’, considerando apenas trabalhos publicados em locais sujeitos a avaliação por peritos, b) a variabilidade das ‘dimensões dos grupos de controlo e experimental’, dado que grupos de maiores dimensões podem ter um peso maior sobre a população de estudos seleccionados, e c) a variabilidade na ‘idade dos participantes’.

Em termos globais, para os oito estudos seleccionados os resultados sugerem que a variável “área de estudo” não afeta a distribuição das medidas de magnitude de efeito, pelo que se pode concluir que a eficiência do modelo é independente do contexto de aplicação, dado que são treinadas competências que estimulam tanto a aquisição de conhecimentos como a transferência da aprendizagem a novas situações transversais às diferentes áreas de estudo.

Do espectro dos estudos seleccionados destaca-se o trabalho de Sarfo e Elen (2007) com $d = + 1.15$, claramente superior aos restantes estudos (ver Figura 5 e Quadro 2). Esta discrepância pode ser explicada pelo fato dos autores terem usado um único instrumento de avaliação dos desempenhos, constituído por alguns itens que apelavam à aplicação de conhecimentos a novas situações. No artigo apenas foi feita referência aos resultados dos desempenhos relativos à reprodução de conhecimentos, daí que não existam dados para a variável transferência referentes a este estudo. Os resultados da meta-análise sem este estudo revelam uma magnitude de efeito menor $d = + 0.42$ IC95% [0.19-0.66], face ao inicial (+ 0.57 IC95% [0.36-0.78]) com seria de esperar. Relativamente ao teste z ($z = 3.56$, $p = 0.00$)

verifica-se que o valor médio dos verdadeiros valores de efeito continua a ser não nulo e a favor dos sujeitos do grupo experimental. O teste Q de Cochran não foi significativo ($Q(6) = 1.71, p = 0.94$) revelando heterogeneidade não significativa entre os estudos. O viés de publicação continua a não ser significativo (teste de Begg $p = 0.65$). A principal diferença encontra-se na variância estimada entre estudos ($\tau^2 = 0.00$) que se aproximou do zero, demonstrando o peso excessivo do estudo de Sarfo e Elen na meta-análise. Assim, podemos inferir que neste estudo foi usada uma metodologia experimental diferente dos restantes estudos contaminando os resultados globais da meta-análise.

Observando os resultados da meta-análise podemos concluir que: 1) para os estudos selecionados a utilização do modelo 4C/ID produz magnitudes de efeito moderadas a elevadas sobre as variáveis ‘reprodução de conhecimentos’ e ‘transferência de aprendizagem’; 2) a variável ‘esforço mental’ percebido foi avaliada apenas em três dos oito estudos selecionados; 3) há um notório déficit de trabalhos de investigação sobre a eficiência instrutiva do modelo 4C/ID (combinação de dados de desempenhos com a avaliação dos esforço mental percebido) em contexto educativo.

Considerações Finais

Este estudo teve como objetivo sintetizar os resultados da investigação existentes sobre os efeitos da utilização do modelo 4C/ID nos desempenhos dos alunos (na reprodução e transferência da aprendizagem). No entanto, é importante salientar que esta meta-análise, pelo número reduzido de estudos empíricos sobre o tema, deve ser considerada como um complemento da revisão de literatura efetuada sobre a eficiência do modelo 4C/ID. Desta forma, este estudo pode ser considerado exploratório, tendo com principal objetivo realçar os benefícios da utilização do modelo 4C/ID como uma abordagem eficiente para promover aprendizagens complexas em diferentes áreas.

O objetivo principal de uma meta-análise é sintetizar dados de muitos estudos diferentes para descrever algum fenómeno com maior precisão, conferindo em relevância ao tema. O lado menos apreciado desta metodologia de investigação é a identificação dos pontos fracos na literatura, realçando áreas que necessitem de mais investigação. Neste sentido, este artigo dá um contributo especial à investigação realizada no campo da eficiência da utilização do modelo 4C/ID em contexto educativo, diagnosticando a necessidade de desenvolver um maior volume de trabalhos de investigação nesta área.

Referências

- Anderson, J. (1983). *The Architecture of Cognition*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Anderson, J. (1993). *Rules of the Mind*. NJ: Erlbaum.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). NJ: Hillsdale.
- Flores, R. (2011). *Examining the Design and Impact of Adaptively Faded Worked Examples on High School Students' Mathematics Problem Solving Skills*. Tese de doutoramento. Texas: Graduate Faculty, Texas Tech University.
- Glass, G., McGaw, B. & Smith, M. (1981). *Meta-analysis in social research*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Higgins, J. & Thompson, S. (2002). Quantifying heterogeneity in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 21, 1539-1558. doi: 10.1002/sim.1186.
- Hoogveld, B., Pass, F. & Jochems, W. (2001). The effect of web-based training in an instructional system design approach on teachers' instructional design behavior. *Computer and Human Behavior*, 17, 363-371. doi: 10.1016/S0747-5632(01)00013-9.
- Hoogveld, B. Pass, F. & Jochems, W. (2003). Application of an instructional system design approach by teachers in higher education: individual versus team design. *Teaching Teacher Education*, 19, 581-590. doi: 10.1016/S0742-051X(03)00055-6.
- Janssen-Noordman, A., van Merriënboer, J., van der Vleuten, C. & Scherpiër, A. (2006). Design of integrated practice for learning professional competences. *Medical Teacher*, 28(5), 447-452. doi: 10.1080/01421590600825276.
- Kester, L., Kirchner, P. & van Merriënboer, J. (2004). Information presentation and troubleshooting in electrical circuits. *International Journal of Science Education*, 26(6), 239-256. doi: 10.1080/69032000072809.

- Kester, L., Kirschner, P. & van Merriënboer, J. (2006). Just-in-time information presentation: improving learning a troubleshooting skills. *Contemporary Educational Psychology*, *31*, 167-185. doi: 10.1080/69032000072809.
- Lim, J. (2006). *Effects of Part-Task and Whole-Task Instructional Approaches and Learner Levels of Expertise on Learner Performance of a Complex Cognitive Task*. Tese de doutoramento. Florida: College of Education, Florida State University.
- Lim, J., Reiser, R. & Olin, Z. (2009). The effects of part-task and whole-task instructional approaches on acquisition and transfer of a complex cognitive skill. *Learning Environment Research*, *57*, 61-77. doi: 10.1007/s11423-007-9085-y.
- Lim, J. & Park, S. (2012). An Instructional Method for Competency-based e-Learning: A Whole-task Approach. In P. Resta (Ed.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2012* (pp. 580-585). Chesapeake, VA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Marôco, J. (2014). *Análise estatística com o SPSS Statistics*. Pêro Pinheiro: Report Number.
- Melo, M. & Miranda, G. L. (2015). Learning electrical circuits: The effects of the 4C-ID instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge. *Journal of Information Technology Education: Research*, *14*, 313-337.
- Merril, M. D; Drake, L., Lacy, M. & Pratt, J. (1996). Reclaiming instructional design. *Educational Technology*, *36*(5), 5-7.
- Nadolsky, R., Kirchner, P. & van Merriënboer, J. (2005). Optimizing the number of steps in learning tasks for complex skills. *British Journal of Educational Psychology*, *75*, 223-237. doi:10.1348/000709904X22403.

- Nadolsky, R., Kirchner, P. & van Merriënboer, J. (2006). Process support in learning tasks for acquiring complex skills in the domain of law. *Learning and Instruction, 16*, 266-278. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.03.004
- Ouinett, J., Surry, D., Grubb, A. & Hall, D. (2009). Essential Books in the Field of Instructional Design and Technology. *Australasian Journal of Educational Technology, 25*(5), 731-747. doi: 10.14742/ajet.1118.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem solving skill in statistic: a cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology, 84*(4), 429-434. doi: 10.1037/0022-0663.84.4.429.
- Postma, T. & White, J. (2015). Developing clinical reasoning in the classroom – analysis of the 4C/ID-model. *European Journal of Dental Education, 19*, 74-80. doi: 10.1111/eje.12105.
- Rosenberg-Kima, R. (2012). *Effects of Task-Centered vs. Topic-Centered Instructional Strategy Approaches on Problem Solving – Learning to program in Flash*. Tese de doutoramento. Florida: College of Education, Florida State University.
- Rosenthal, R. (1995). Writing meta-analytic reviews. *Psychology Bulletin, 118*(2), 183-192.
- Sarfo, F. & Elen, J. (2007). Developing technical expertise in secondary technical schools: The effect of 4C/ID learning environments. *Learning Environment Research, 10*, 207-221. doi: 10.1007/s10984-007-9031-2.
- Susilo, A., van Merriënboer, J., van Dalen, J., Claramita, M. & Scherpnier, A. (2013). From Lecture to Learning Tasks: Use of the 4C/ID Model in a Communication Skills Course in a Continuing Professional Education Context. *Journal Continuing Education in Nursing, 44*(6), 278-284. doi: 10.3928/00220124-20130501-78.
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.

van Merriënboer, J. & Kester, L. (2014). The four-components instructional design model: multimedia principles in environments for complex learning. In R. Mayer (Org.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd Ed.) (pp. 104-149). New York: Cambridge University Press.

CAPÍTULO II – CONSTRUÇÃO DO RECURSO EDUCATIVO DIGITAL (RED)

The 4C/ID-Model in Physics Education: Instructional Design of a Digital Learning Environment to Teach Electrical Circuits*

Abstract

The basic physics syllabus in Portugal has been applied for training complex skills. This requires the integrated acquisition of multiple competences such as physical reasoning, problem solving and management skills. To promote such complex learning, instructional design has focused on the use of authentic learning tasks that students perform in a real or simulated task environment. The four-component instructional design (4C/ID) is a model that starts from the use of such tasks and provides students with a variety of learning tools, which facilitate the integrated acquisition of knowledge, skills and attitudes. In this paper, readers are guided through the design and development of educational programs based on the 4C/ID model. This was illustrated via a practical example in Physics education, to teach the theme “Electrical circuits” to students of the 9th grade of compulsory education. In the article, the followed steps are described, from prototyping to development and implementation, to building two learning modules: electrical circuits’ representations and characteristics of series and parallel circuits. Furthermore, the study was to present an educational innovation, that represents the transition from traditional, fragmented and classroom-based learning to an integrated digital learning environment based on experimental tested instructional design

* Melo, M. (2018). 4C/ID-Model in physics education: Instructional Design of a digital learning environment to teach electric circuits. *International Journal of Instruction*, 11(1), 103-122.
<https://doi.org/10.12973/iji.2018.1118a>. (SJR-SCImago Q3 Education, em 2016)

principles to instructional designers and teachers. To test the effect of the learning environment on the students' learning, an experimental group ($n_E = 76$) was established on which the learning environment was used and a control group ($n_C = 49$) on which the theme electrical circuits was taught by resorting to the teacher's exposition and performing exercises in the student's book. Two tests were designed to evaluate students' learning: a test to verify if the students were able to reproduce the knowledge taught (reproduction test) and a test that used situations in which the students had to apply the acquired knowledge to new situations (transfer test). The subject was taught during two 90-minute sessions and at the end of the second session, the two tests were applied to both groups. Percentage differences with respect to the experimental group were obtained from both groups. The sessions of both groups were observed and at the end, the teachers were interviewed.

Keywords: Instructional design, the 4C/ID-model, Physics education, electrical circuits, Digital learning environment.

Introduction

This paper describes the development of a digital learning environment to teach complex skills, in this case, the study of electrical circuits to 9th grade Physics' students. The focus of this paper is on instructional design. It was also the objective of this study to investigate the effects of the instructional approach (4C/ID versus conventional) on the students' learning, in particular on the students' knowledge reproduction and learning transfer.

Theoretical Background

Instructional Design

Instructional design (ID) is defined as a systematic process that is employed to develop education and training programs in a consistent and reliable fashion (Reiser & Dempsey, 2007). So, ID principles may provide a framework for developing more efficient educational training programs (Merrill et al., 1996). ID models typically specify a method that is followed to facilitate the knowledge transfer, skills and attitudes in new situations. The aim of ID is to facilitate the acquisition of knowledge in long-term memory via working memory that is limited in capacity and duration until it is transformed by knowledge held on long-term memory. Most of the current instructional models use multimedia features. Therefore, it is necessary to know how people process this kind of information.

The learning theories on which the 4C/ID-model is based are Sweller's Cognitive Load Theory and Mayer's Theory of Multimedia Learning. According to van Merriënboer and Kester (2014), the general (multimedia) cognitive learning theories can be categorized in three levels: (a) the first level corresponds to the psychological theories that describe the memory systems and the cognitive processes involved in learning (information processing

theory). This theory is based on the human cognitive architecture, which comprises a working memory that interacts with a long-term memory. In this interaction the working memory queries the information retained in the long-term memory and if learning occurred the new information is recorded in mental schemas in the long-term memory, this process is called by Mayer as active processing (Paas, et al., 2003); (b) in the second level the theories for the design of educational messages that identify the multimedia principles and establish directions to create multimedia messages, in which the Sweller Cognitive Load Theory (Sweller et al., 2011) and the Mayer Multimedia Learning Theory (Mayer, 2014) are included; (c) in the third level, the theories and models that prescribe ways to develop educational programs with the 4C/ID-model are included.

The specific contribution of the Cognitive Load Theory was to establish a set of procedures, experimentally tested, to which instruction must obey in order to make learning more efficient. These procedures reduce the cognitive load from the working memory in order to facilitate the construction and/or improvement of mental schemas stored in long-term memory (Kirschner, 2002). Thus, according to this view, learning process corresponds to the construction of increasingly complex mental schemas that allows the release of the working memory during the learning process. Some examples of these principles that allow the reduction of the cognitive load imposed by the instructive material are: (i) 'The Goal-Free Effect'; (ii) 'The Worked Examples and Problem Completion Effect'; (iii) 'The Split-Attention Effect'; (iv) 'The Modality Effect' (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011).

The Multimedia Learning Theory has become very useful for those who intend to design digital educational resources. This theory assumes that people learn better when they associate words and images than when they use only words. This association must be made taking into account the human cognitive system. According to Mayer (2014), the memory is a cognitive system that allows the learning, i.e., the learned information is recorded in long-

term memory serving as a support to new learning and/or to restructuring knowledge previously learned. Apart from the working memory and long-term memory, Mayer's theory predicts the existence of a sensory memory. Thus, Mayer's theory takes into account three assumptions: 1) the limited capacity of the working memory; 2) the fact that the human system of information processing has different channels to process visual and auditory information called the "dual channel" (cf. Paivio, 1986); and 3) the fact that learning is an active process that involves a set of cognitive processes that occur during learning. A set of principles, derive from this theory, helping us to design more efficient digital educational resources. Among them: the coherence principle, which implies that in a multimedia message the words, the images and the sounds that are irrelevant for learning should be eliminated, the temporal and space contiguity principles, which state that it is preferable to present text and images simultaneously; and the modality principle, which states that in a multimedia presentation the words should be narrated rather than written to avoid overloading the visual and spatial channels.

Overview of the 4C/ID-Model

The central message of the 4C-ID-model and also of this paper is that settings for complex learning⁷ can always be described by four interrelated blueprint components: 1) *learning tasks*: authentic whole-tasks that aim towards the integration of skills, knowledge and attitudes. The set of learning tasks exhibits high variability and is organized into easy-to-difficult tasks and diminishing the support given to learners throughout each task class; 2) *supportive information* (the theory): information helpful for learning and performing the problem-solving and reasoning aspects of the learning tasks. This information provides a

⁷ Complex learning involves the integration of knowledge, skills and attitudes.

bridge between what the learners already know and what they need to know to fruitfully work on the learning tasks; 3) *procedural information* (the how to's): information that is a prerequisite for learning and performing routine aspects of learning tasks. This information is displayed only at the moment it is needed, and for this reason it is also referred to as 'just-in-time' information (JIT); and 4) *part-task practice*: practice items provided to learners to help them reach a very high level of automaticity for selected routine aspects of a task.

Complex learning is always involved when a learner wants to acquire integrated sets of learning goals. Complex learning's aim is the integration of knowledge, skills and attitudes in one rich, interconnected knowledge base. So, the learning task should confront the learner with all or almost all of the constituent skills that are relevant to performing the learning tasks and at the same time with the associated knowledge and attitudes. Constituent skills often need to be controlled by higher-level strategies because they make little sense without taking their related constituent skills and associated knowledge and attitudes into account. For this reason, constituent skills are seen as aspects rather than parts of a complex skill. In a whole-task approach, learners are directly confronted with many different constituent skills from the start of training, although they cannot be expected to independently coordinate all those aspects at that moment. Thus, it is necessary to simplify the tasks and to give learners support and guidance, which are the supportive and procedure information function. A well-designed training blueprint ensures that learners are not overwhelmed with the complexity of a task, because tasks are ordered from easy-to-difficult, support and guidance are given when needed, and different types of information are presented precisely at the right time. Learners should not invest all their cognitive resources into performing the task, but should invest sufficient mental effort into genuine learning, that is, schema construction. This category of learning is responsible for the (i) construction of cognitive schemas, which might be interpreted by a controlled process to generate behaviour in new, unfamiliar situations, and

(ii) rule automation, corresponding to the learning process responsible for the automation of cognitive schemas, which contain cognitive rules that directly guide behaviour without the need for conscious control.

Multimedia Learning and the 4C/ID-Model

As discussed in the previous section, the aim of the four components is to facilitate the learning process, with clear implications for the selection of suitable educational media and relevant multimedia principles. So, linked to the four components there are 22 multimedia principles (Mayer, 2014): (i) six associated with the learning tasks in computer-simulated environments, virtual reality systems, serious games and high-fidelity simulators (sequencing principle, physical-fidelity principle, training-wheels principle, variability principle, collaboration principle and completion-strategy principle); (ii) seven associated with the supportive information in hypermedia systems, micro worlds and social media (prior knowledge principle, multimedia principle, dynamic visualization principle, redundancy principle, coherence principle, self-explanation principle, self-pacing principle); (iii) five associated with procedural information with mobile apps, augmented reality, on-line help systems and pedagogical agents (modality principle, temporal split-attention principle, spatial split-attention principle, signalling principle and segmentation principle); (iv) one associated with part-task practice in drill and practice computed-based training systems (component-fluency principle); and (v) three related to the instructional control with adaptive systems and electronic development portfolios (individualization principle, second-order scaffolding principle and development portfolio principle).

Designing, developing, implementing and evaluating a learning environment according to this model is not an easy task and it requires various types of conceptual and technical knowledge. However, there is some empirical evidence on the effectiveness of the

4C/ID-model on complex learning training programs such as medicine and dental medicine (Postma & White, 2015, 2016; Vandewaetere, et al., 2015; Maggio, et al., 2015), and science and informatics (Lim, et al., 2009; van Rosmalen, et al., 2014; Melo & Miranda, 2015; Halil & Elkhider, 2016).

Recent instructional models, such as the 4C/ID-model, stress the use of whole-tasks as a starting point to the learning process. But, there is a severe risk on the use of this kind of strategy because of the implicit task complexity. Cognitive load theory offers guidelines to deal with the very limited processing capacity of the human working memory.

Due to the task complexity of the whole-task practices, students may have difficulties with learning. In the 4C/ID approach, it is important to be careful with cognitive load management. According to Sweller (1988) there are three different types of cognitive load that need to be considered by instructional designers:

- *Intrinsic cognitive load* that is a direct function of performing the task, in particular, the number of elements that must be simultaneously processed in the working memory;
- *Extraneous cognitive load* results from the ineffective instructional design and needs to be prevented;
- *Germane cognitive load* imposed by processes directly relevant for learning (schema construction and automation). A well-designed instruction should optimize germane cognitive load within the limits of the total available working-memory capacity.

A basic assumption of the cognitive load theory is that an instructional design that results in a good use of the working memory capacity, due to low extraneous cognitive load induced by appropriate instructional procedures, may be further improved by encouraging learners to engage in conscious cognitive processing directly relevant to learning. Intrinsic, extraneous and germane cognitive load are additive so the total of the three types of cognitive load cannot exceed the working memory capacity. Consequently, the greater amount of

germane cognitive load created by the instructional design, will increase the learning potential.

How you can manage these three types of cognitive load? The 4C/ID-model suggests the following strategies, in terms of task sequencing and information presentation, to manage these types of cognitive load: (i) sequence learning task classes from simple-to-complex. In order to decrease the cognitive load induced by complex tasks, the first task class should be the simplest version of the whole-task that learners encounter in the real world. For learning tasks within an easier task class, fewer elements and interactions between elements need to be processed simultaneously in working memory, so as the task class becomes more complex, the number of elements and interactions between the elements increases, for example, in the analysis of an electrical circuit it is relevant to present to the students the circuit diagram, so an increase in complexity corresponds to the introduction of more elements in the circuit connected in different forms, which leads the students to train the competence "analysis of a circuit"; (ii) sequence learning tasks with decreasing learner support (fading from high-to-no support) is another way of managing learners' cognitive overload imposed by complex whole tasks. Cognitive load theorists have developed alternative formats for learning tasks to adjust learner activities in a way that reduces the extraneous cognitive load caused by conventional tasks. Van Gerven et al., (2002) verified that worked examples facilitate schema construction and transfer performance more than actually solving the equivalent problems do. Other researchers suggest the use of completion tasks, with an intermediated level of support, combining the advantage of worked examples and conventional learning tasks (cf. Paas, 1992; van Merriënboer & de Crook, 1992); (iii) sequence learning tasks in a variable order (high contextual interference). In order to increase germane cognitive load and thus facilitating learning, each learning task should be sequenced in a highly variable order, that is, each subsequent learning task is different from the previous ones in terms of dimensions;

the reason for sequencing learning tasks in a variable order is because this increases the chances that similar features can be identified and that relevant features can be distinguished from irrelevant ones. Variability of practice almost affects the development of schemata and promotes subsequent learning transfer by an inductive process; (iv) present supportive information before learners start working on the learning tasks and make it accessible to learners during the whole-task practices, because supportive information involves mental models (e.g. “What is this?”; “How is this organized?”; “How does this work?”) and cognitive strategies (e.g. heuristics to solve problems) with high inherent complexity; (v) present just-in-time information when learners need it to prevent temporal and spatial split-attention effects; and finally (vi) part-task practice automates particular recurrent aspects of the complex skill, because automated recurrent skills may decrease the cognitive load associated with performing the whole-task, making performance of the whole skill more fluid, decreasing the chance of making errors due to cognitive overload.

The 4C/ID model suggests 10 steps for a detailed training blue print: 1) decompose the complex skill; 2) sequence task classes; 3) design learning tasks; 4) analyse mental models; 5) analyse cognitive strategies; 6) design supportive information; 7) analyse rules and procedures; 8) analyse prerequisite knowledge; 9) design just-in-time information; 10) design part-task practice. Four of those steps (3, 6, 9 and 10) pertain, in order, to the four components of the 4C/ID-model. The remaining six steps have an analytical nature and allow for the effective design of learning activities. For example, step 1 (decompose the complex skill), first the whole complex skill is deconstructed into its constituent skills and the appropriate performance objectives are formulated for each constituent skill; according to the characteristics of the desired final performance objectives the constituent skills are classified as either recurrent (routine) or non-recurrent skills (varies from problem to problem). Step 2 (sequence task classes), yields the first outline of the training program, steps 4 (analyse

mental models) and 5 (analyse cognitive strategies) are focused on the analysis and identification of general knowledge required for students to perform non-recurring aspects of the skill.

Learning Environment Design

This section describes the methodology used to design a digital learning environment to teach 9th grade students to analyse a simple electrical circuit (called “Circuitos Eléctricos”). All the steps followed to produce the final version of the prototype are described. The digital educational resource was built with Adobe Flash® CS3 Professional and it works both in MacOS and Windows environments.

Set performance objectives

The instructions for the digital learning resource design follow the principles of the 4C/ID-model (van Merriënboer, 1997). The design started by skill analysis and decomposition. Skill decomposition, splitting a skill into all of its components or basic elements, aims at the description of all constituent skills and interrelationships between them, which together make up the complex cognitive skill. The result of this skill decomposition process is a skill hierarchy that is represented in the design blueprint shown in Figure 9.

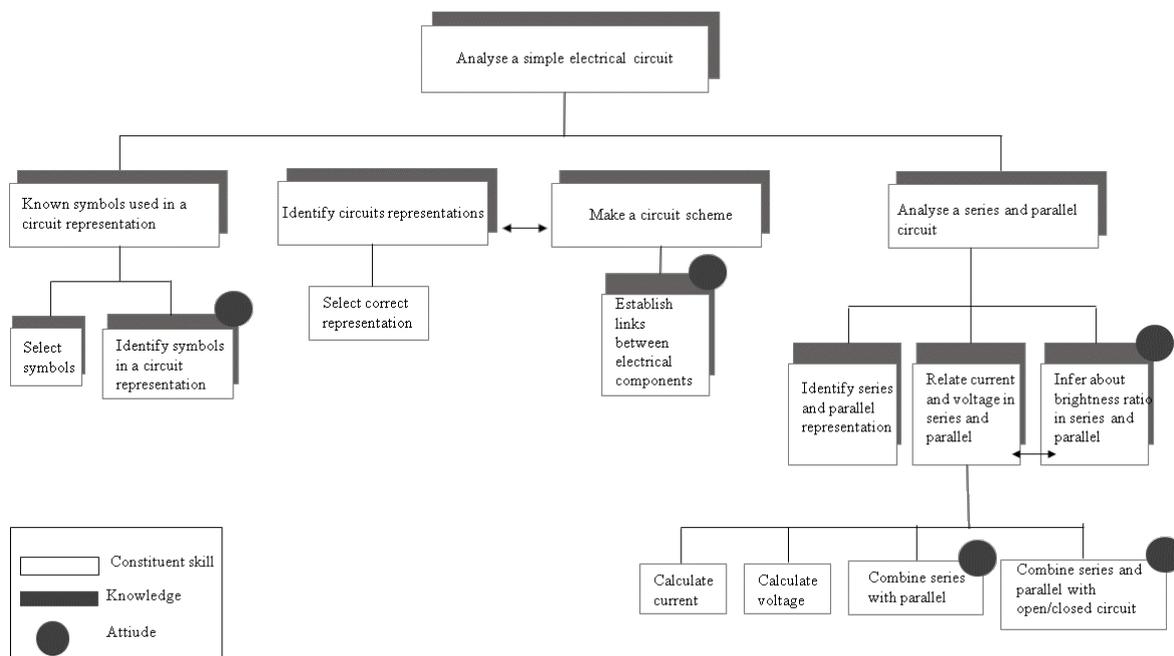


Figure 9. A hierarchy of constituent skills with an indication of associated knowledge and attitudes for the complex skill “Analyse a simple electrical circuit”.

A well-designed training program for 9th grade physics students will not teach each of these constituent skills separately, but will teach them in an integrated fashion. As can be seen from Figure 9, a hierarchy of constituent skills is used as an organizing framework for the whole knowledge base. Knowledge and attitudes are fully integrated in this framework, subordinate to the constituent skills. Constituent skills adjacent to each other horizontally can be performed sequentially (e.g., you first have to “Know symbols used in a circuit representation”, then “Identify circuit representation”, then “Make a circuit diagram” and then “Analyse a series and parallel circuit”) or simultaneously (e.g., you first have to “Know symbols used in a circuit representation”, then “Identify a circuit representation” and simultaneously “Make circuit diagram” and then “Analyse a series and parallel circuit”). Constituent skills at a lower level, on the vertical dimension, enable the learning and performance of skills higher in the hierarchy (e.g., you must be able to “Select symbols” to “Identify symbols in a circuit representation”; you must be able to “Establish links between electrical components” to “Make a circuit diagram”; you must be able to “Identify series and

parallel representation”, to “Relate current and voltage in series and parallel” and to “Infer about brightness ratio in series and parallel” in order to be able to “Analyse a series and parallel circuit”).

Design Learning Tasks

The application “Circuitos eléctricos” is structured in three lessons: lesson 1, lesson 2, and lesson 3. Lesson 1 is made up of three learning tasks and has two main objectives: 1) to introduce the concept of electric current and electrical conductivity and 2) to allow students to have a first contact with the learning environment, thus helping them to reduce the cognitive load associated with routine skills, like knowing how to access supportive information and the sequence of the learning tasks. All learning tasks were organized according to the sequencing principle, i.e., from simple-to-complex.

In lesson 2 the symbols of the devices used in the representation of an electrical circuit are introduced. In this lesson students have to associate the device name with its symbol. The devices are always presented in a circuit diagram, because the competence to be worked on is the analysis of a simple electrical circuit. Figure 10 (a) shows a circuit used in this lesson for students to name the devices shown.

In lesson 3 the main objective is to introduce the concepts of series and parallel circuits. In this lesson students are able to relate to a series and parallel circuit: bulb brightness, voltage and current. All learning tasks are presented via a simple electrical circuit analysis approach. Figure 10 (b) represents a series circuit in which students are expected to draw connections between voltage and current.

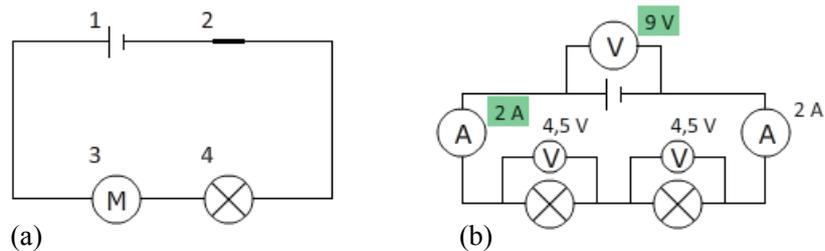


Figure 10. (a) Example of a circuit for lesson 2 and (b) example of a circuit for lesson 3.

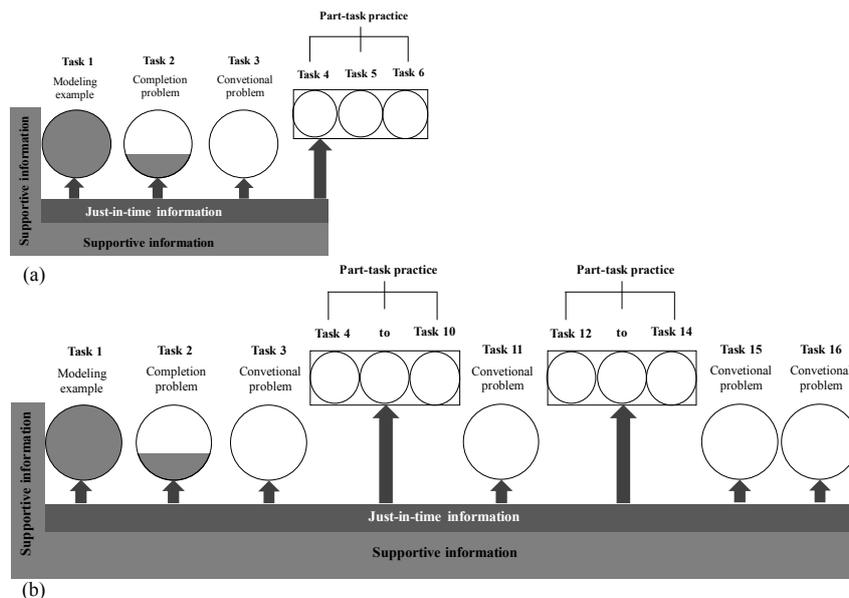


Figure 11. Sequence of learning tasks in lessons 2 (a) and 3 (b).

Figures 11 (a) and (b) show the sequences of the learning tasks for lessons 2 and 3. The circles represent the learning tasks and the gray fill represents the level of support and guidance. Students were presented with a modeling example⁸ with two parts: first students watched a video with an explanation of the theoretical concepts and then they were required to follow all the steps of a worked problem, always receiving messages that explained the decision making process at each step. In this case constituent skills are taught in the context of the whole-task and not as isolated procedures as in a part-task approach. According to the

⁸ Modeling examples are problems in which an expert demonstrates why he or she is doing what he or she is doing in order to reach a solution (van Merriënboer, 1997).

4C/ID-model principles, this modeling example was the first whole learning task that learners encountered (training-wheels principle).

After completing the first learning task, the students received a second whole learning task – a completion problem, as a practice activity (completion-strategy principle). And then students are confronted with a conventional problem⁹ without support and guidance.

In lesson 2 the students are put in contact with the symbology used in a circuit schema as well as with simple circuit diagrams with multiple components. Task 1 corresponds to a worked example (modelling example) in which students had to click on the icon on which the name of the electronic device is inscribed so that the appropriate symbol representation emerges. Modelling examples provide maximum guidance, because learners are confronted with a task similar to the whole-tasks that need to be studied and evaluated by the learner, in which the learner pays explicit attention to the solving process. Task 2 corresponds to a completion problem in which students had to choose the option that matches the names of the three devices that do not have the name inscribed. Finally, in task 3, learners are confronted with a conventional problem in which they had to select the option that matches the names of the five devices shown in each white square. Tasks 4, 5 and 6 correspond to practical exercises in which students had to identify the symbols of electric devices in simple electrical circuit representation.

In lesson 3 learners are exposed to series and parallel circuits. Task 1 corresponds to a worked example (modelling example). This is a whole-problem in which all features that aim to teach about series and parallel circuits are shown. In this example the students are required to analyse a circuit diagram and to read all the questions and their answers in order to

⁹ Conventional problems are problems for which some given state and a specific goal state are provided and the task is to find a solution to reach the goal (van Merriënboer, 1997).

advance to the next item. Therefore, the task shows the general model used in the analysis of this kind of circuit.

Completion tasks provide learners with a given state, criteria for an acceptable goal state and a partial solution. The learners must complete the partial solution by determining and adding the missing steps, either at the end of the solution or in one or more places in the middle of the solution. A particularly strong point of completion tasks is that the learners must carefully study the partial solution provided to them, because otherwise they will not be able to come up with the complete solution. Van Merriënboer and de Crook (1992) suggest that completion tasks are especially useful in design-oriented task domains and were originally developed in the domain of science and software development, where learners had to fill in missing command-lines in partial computer programs. A well-designed completion task ensures that learners can understand the partial solution and still have to perform a non-trivial completion.

The conventional tasks used in this learning environment are, according to van Merriënboer and Kirschner (2009), called imitation tasks in which learners are confronted with a conventional task in combination with a case study of an analogous task. So, the solution presented in the case study provides a blueprint for approaching the new task, focusing attention on possibly useful solution steps. The required imitation is a sophisticated cognitive process where learners must identify the analogy between the case study and the given task and use the case study to plan a new solution (Vosniadou & Ortony, 1989).

Imitation tasks are quite authentic, because experts often rely on their knowledge of specific cases to guide their problem solving behaviour on new problems (case-based reasoning).

The common element of all of these types of learning tasks is that they direct the learners' attention to problem states, acceptable solutions and useful solution steps. This helps them mindfully abstract information from good solutions or use inductive processes to

construct cognitive schemas that reflect generalized solutions for particular types of tasks. This design was chosen because for novice learners, studying useful solutions together with the relationships between the characteristics of a given situation and the solution steps applied, it is much more important for developing problem solving and reasoning skills than solving equivalent problems (van Merriënboer & Sweller, 2005). Only more experienced learners, who have already developed most of the cognitive schemas necessary to guide their problem solving, should use conventional tasks without support and guidance. This is why it was decided to introduce a series of learning tasks in lessons 2 and 3 to train and stimulate the development of cognitive schemes for the resolution of conventional tasks that are closer to real-world tasks.

All learning tasks were designed with care to eliminate irrelevant aspects for the training program, as required by the physical-fidelity principle. In each learning class it was decided to diversify the types of items, such as true and false items, multiple choice items, completion items and drag-and-drop items (variability principle).

Design Supportive Information

Having designed the learning tasks, the next step is to design supportive information to carry out the learning tasks. It is this information that bridges the gap between the knowledge of the students and what they need to know to develop the complex skills they are learning. Supportive information helps learners to establish meaningful relationships between newly presented elements and their prior knowledge. This process yields rich cognitive schemas that relate many elements to many other elements. Such schemas allow for deep understanding and increase the availability and accessibility of task related knowledge in long-term memory.

Supportive information is the information that teachers typically called “the theory” and it is divided into three parts: 1) description of the domain models¹⁰; 2) description of the systematic approaches to problem solving – SAPs¹¹; and 3) the cognitive feedback¹² linked to the performance quality. In this project the domain models were presented in the form of videos (called “Informação de suporte”/”supportive information”), the cognitive strategies through a worked-example and the cognitive feedback with multimedia messages that arise when the students select their response. The design of supportive information videos followed the principles of the Multimedia Learning Theory referred to in Multimedia Learning and the 4C/ID-Model section, mainly, the absence of sounds, words and images that are not relevant for learning, the simultaneous presentation of text and images, and the presentation of images (statics and moving) with narrated words.

Supportive information reflects the mental models (domain models) that allow us to reason within the task domain. There are four types of models: (i) conceptual models, which correspond to the concepts and their elements allowing the description and classification of objects or tasks (helping the learner to answer to the question “What is this?”); (ii) structural models, which describe how objects or tasks are related to each other in time and space (it’s related to organization); (iii) casual models that focus on how objects or tasks affect each other and help the learner to interpret processes, give explanations and make predictions (such models help the learners to answer the question “How does this work?”); and (iv) causal models that relates an action to an effect, called principles; so causal models deal with principles or theories. In this case it was presented the domain model as a conceptual model

¹⁰ A description of learning in terms of applicable facts, concepts, principles and plans. It is the result of the analysis of mental models. Examples of domain models are conceptual models, causal models and structural models (van Merriënboer & Kirschner, 2009).

¹¹ A description of a systematic approach to problem solving in terms of subsequent problem-solving phases and rules-of-thumbs that may help to successfully complete each phase. It is the result of an analysis of cognitive strategies (van Merriënboer & Kirschner, 2009).

¹² The type of feedback that allows the learner to reflect on the quality of found solutions or the quality of the problem solving process (van Merriënboer & Kirschner, 2009).

in lesson 2, because typical kinds of electrical circuits were discussed, as well as the state of typical components such as switches, resistors and batteries. On the other hand, the domain model presented in lesson 3 was a causal model, because it was presented principles of series and parallel circuits that allow the learners to draw implications by predicting a certain phenomenon such as the current and voltage in circuit branches.

Supportive information also reflects knowledge with respect to cognitive strategies that allow us to perform tasks and to solve problems (SAPs); it specifies the phases that an expert typically goes through while carrying out the task as well as the rules-of-thumb that may be helpful to successfully complete each phase. In this case this kind of knowledge is presented to the students in the worked example that appears at the beginning of each lesson.

What is the best strategy to present the supportive information? There are three strategies: 1) deductive strategy; 2) inductive strategy; and 3) guided discovery. In this case it was decided for the deductive strategy because it is the most common strategy that allows us to manage time in a more effective way, and it is more suitable for the participants age. Deductive presentation strategy works from general and abstract information presented in SAPs and domain models toward concrete illustrations of this information. In this case, the first learning tasks of each lesson took the form of a modeling example that was used to illustrate the presented SAPs and domain model. For instance, in lesson 3 students had to recognize series and parallel circuit representation so, general information included the differences between the two types of circuits and the first learning task was a worked-example that explained the problem-solving phases and rules-of-thumb that may help learners to successfully complete the task. In our project the “theory” is first presented, and after students should “apply” this theory to the first learning task that is a worked-example.

Cognitive feedback consists of information (including prompts, cues and questions) that helps learners to construct or reconstruct their cognitive schemas in such a way that

future performance is improved. Cognitive feedback stimulates learners to reflect on the quality of both their personal problem-solving processes and the solutions that they have found, thus more effective cognitive strategies and mental models can be developed. This kind of feedback is provided after learners have completed a learning task. For example, in this learning environment students should select the correct values marked by ammeters X and Y and if they clicked the wrong alternative, an error message appeared (in the blue box) with the following information "Wrong answer! See how the lamps are associated." So, the main idea of this learning task is to determine the current flowing through each lamp, but first the students should recognize how the lamps are connected.

Design Procedural Information

Procedural information refers to: 1) just-in-time (JIT) information displays, providing learners with the rules or procedures that describe the performance if recurrent aspects of a complex skill are used and if knowledge prerequisite is required for correctly carrying out those rules or procedures; 2) demonstrations of the application of those rules and procedures as well as instances of the prerequisite knowledge; and 3) JIT of corrective feedback errors. Considering the participants age and the kind of content taught, procedural information is focused only on corrective feedback.

In contrast to cognitive feedback, the main function of corrective feedback is not to foster reflection, but rather to detect and correct errors that involve a direct modification of the learner's actions (Argyris & Schön, 1978), for example, in a learning task in which students have to select the correct option, if they select the incorrect option a corrective feedback message appears with the following information "Wrong answer! Look carefully at the switches' positions", for students to re-analyze the circuit. This kind of feedback message is presented not only to help learners to recognize that an error has been made, but also to

explain why there is an error, giving them a hint as to how to reach the desired goal. This feedback should promote the compilation of newly acquired knowledge into cognitive rules. After the knowledge is compiled, the solution is generated by these new rules. In this case, students were expected to identify, from a description of the diagram of an electrical circuit, that the complex learning is related to the generation of the circuit image, combining the features of each component on the circuit. Therefore, it is necessary that the students compile the rules inherent to such representation, in a similar way to what a computer does when compiling a program.

Design Part-Task Practice

Part-task practice should always be provided in the context that learners must already be able to relate and integrate them into required whole-task performance. This could be reached by first presenting modelling examples or other learning tasks (completion examples) that allow learners to understand how the part-task fits into the whole-task. Were proposed two sets of practical problem after learners have analysed a modelling example: a completion problem and solving a conventional problem. So these sets of part-task problems are inserted into a fruitful cognitive context, because learners are able to relate and integrate knowledge, attitudes and skills that are necessary to analyse a simple electrical circuit. The second important aspect is the distribution of the part-task training over time. Van Merriënboer and Kirschner (2009) recommend that it is best to distribute sessions over time, alternating with learners working on learning tasks, and Schneider (1985) mentions that this intermixing procedure promotes integration of knowledge, attitudes and skills.

Method

Participants

The research was carried out in a private school in Lisbon, using a sample of 129 students from the 9th grade (age: $M = 14.3$ years; $SD = 0.54$), distributed throughout five classes. Although each class was a natural group (without random selection), the selection process of the groups for the experimental ($n_E = 78$) and control ($n_C = 51$) groups was random.

Instruments

To study the effect of the 4C/ID approach, two achievement tests were used: (1) The reproduction test that consists of 14 multiple-choice items (each correct answer is 1 point and each wrong answer is 0 points) that were similar to the learning tasks carried out by students in both groups, (2) a multiple-choice learning transfer test, applied to both groups, consisting of 14 items (each correct answer is 1 point and each wrong answer is 0 points), which appealed to the application of acquired knowledge to different situations. The reproduction test used the same circuit diagrams that were worked out in the classes and the transfer test, the circuit diagrams were used in the different contexts, such as the presentation of the devices in different positions in the circuit, more elements in series and parallel and the use of lamps with different resistances.

The reactions and behaviours of both groups of students were also observed at the beginning and during the sessions in which the experiment took place and at the end of the training programme, the teachers who were involved in this project were interviewed. Thus, an observation sheet and an interview guide were created to collect the qualitative data.

Procedure

In the experimental group the theme "Electrical Circuits" was taught through a digital learning environment based on the 4C/ID-model. This environment was composed of three sessions (learning classes) with distinct objectives: Class 1 - exploration of the concepts of electric current and voltage with the intention of promoting the first contact with the features learning environment; Class 2 - learn how to create a simple electrical circuit; and Class 3 - learn the characteristics of a series and parallel association. In the control group the same subject was taught based on a conventional method (teacher-centred with a daily notebook, a student manual and a simple calculator). Three teachers were involved in this research: one teacher (the researcher) with one class from the experimental group and two more teachers, each one with one class from the experimental group and another class from the control group. The two groups performed similar learning activities.

The achievement tests were applied to both groups in two moments: in the last class of the training programme (1st application) and one week after the training programme (follow-up).

The experiment was conducted as follows: the classes of the two groups started the study of electrical circuits on the same day using different instructional methods. The experimental groups used a computer room with one computer per student and with an individual audio system to carry out the learning tasks proposed in the digital educational resource. The control group had classes in their classroom and used the resources provided by the teachers (PowerPoint presentations, simulations explored by the teachers, a manual, a notebook, a pencil and a calculator). The experiment was conducted in two 90-minute sessions over two weeks.

Three teachers were involved. One of the teachers who was the researcher stayed with an experimental group class and the other teachers had an experimental class and a control class each.

Results

Before presenting the results, it is important to highlight that the main objective of this study is to describe how the digital resource was thought up and constructed. This justifies the option to present the results referring to student performance on the topic of a simple electrical circuit analysis with a brief description of the students' reactions and behaviour and teacher perception about the experience. Other studies have covered different variables such as the perceived mental effort of students in achievement tests, the instructional efficiency (Melo & Miranda, 2015) and students approaches to learning (Melo & Miranda, in press).

The mean value of the scores obtained in each of the tests for the 1st application and for the follow-up of both groups were presented. The graphical representation of each group's performance in both tests was shown in Figure 12.

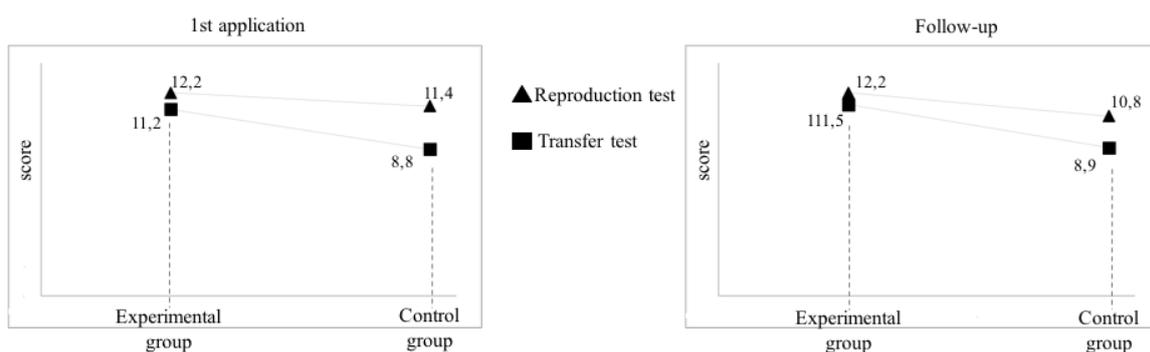


Figura 12. Performance of both groups on the reproduction and transfer test for the 1st application and for the follow-up application.

As shown in Figure 12, students from the experimental group obtained similar scores on both reproduction and transfer tests and students from the control group obtained lower results in both achievement tests. Observing the performance of the two groups in both tests, it is found that the students in the control group tended to score slightly lower than those of the students in the experimental group in the reproduction test. However, with respect to the transfer test scores, the results show that the students in the control group have much lower scores when compared with those in the experimental group.

In order to quantify these differences, was calculated the percentage difference from the experimental group using the formula:

$$\% \text{ difference} = \frac{M_{EG} - M_{CG}}{M_{EG}} \times 100$$

M_{EG} and M_{CG} are the mean scores of the achievement tests for the experimental group and the control group respectively. The following values were collected: for the 1st application 6.6% for the reproduction test and 21.4% for the transfer test; for the follow-up application 11.4% for the reproduction test and 22.6% for the transfer test. Then, it turns out that students from the experimental group performed better in the application of knowledge about electrical circuits in new problem situations.

In order to interpret the differences found on achievement tests scores it was also relevant characterize the reactions and behaviours of the students of the two groups during the training sessions. Thus, the two sessions of the two groups were observed and the reactions and behaviours of the students recorded at the beginning and during each session. It was conducted interviews to teachers to get their perceptions about students' reactions and behaviours.

Table 5 presents the results of observation of the reactions and behaviours of the students of the two groups throughout the two training sessions.

Table 5

Summary of reactions and behaviours of students in both groups.

	Experimental group	Control group
At the beginning ...	The students were very curious and agitated about being in a different class (1st session).	Students entered the classroom normally (1st and 2nd sessions).
During the class ...	<ul style="list-style-type: none"> - The students were very involved and focused on the tasks (1st and 2nd sessions); - The students took notes autonomously (1st and 2nd sessions); - Students completed all tasks (1st and 2nd sessions). 	<ul style="list-style-type: none"> - The students were attentive to the teacher's exposition (1st and 2nd sessions); - The students showed little involvement and focus on the tasks (1st and 2nd sessions); - Some students did not complete all tasks (1st and 2nd sessions).

The interviewed teachers reported that during the completion of the learning tasks the students of the experimental group were very focused and committed, always showing great care when reading the messages of the corrective and cognitive feedback system. The fact that the students could manage their learning rhythm was mentioned as very positive.

Regarding the control group students, the teachers reported that during the writing tasks the students were more dispersed and more distracted. It was also mentioned that some students in this group could not finish their learning tasks autonomously because the learning rhythm was totally teacher-centered.

The students in the control group completed all almost of the short answer tasks that involved the knowledge reproduction, however the tasks that involves the learning transfer were incomplete or not performed. It was also found that the students in the control group had greater difficulty in performing the tasks that involves the analysis of series and parallel circuits, because they imply the establishment of more relationship between physical variables (e.g. electric voltage, electric current and electric resistance) which implies a must more focussed attitude.

Discussion and Conclusion

The main purpose of this study was to introduce a framework to design a digital learning environment with the 4C/ID-model and to analyse a learning example to teach electrical circuits to students of the 9th grade of compulsory education. It was also our objective to study the effects of the instructional approach (4C/ID versus conventional) on the students' learning, in particular on students' knowledge reproduction and learning transfer.

The main compelling reason for using the approach of complex learning in physics education, is that the whole-task models (like the 4C/ID-model) provide a solid framework for the development of learning activities that foster students' functioning in a varied set of complex learning situations. As a result of using this kind of approach, the development of a rich set of mental models and cognitive strategies is facilitated, allowing students to use efficient problem-solving strategies in electrical circuits. By using authentic tasks, complex learning is supported and hence the transfer from the digital environment to another situation becomes more feasible. That's why the control group students had the lower scores in the transfer test.

Through quantitative data on students' performance and qualitative data, it is relevant to highlight the positive findings of this experiment: 1) the fact that the learning tasks were in a computerized environment, in which students worked individually, which made the learning process totally centred on students, leading them to an autonomous and efficient management of learning rhythm; 2) corrective and cognitive feedback systems stimulated the transfer of learning and allowed the establishment of relationship between students' prior knowledge and new knowledge, promoting the construction and the improvement of mental frameworks; the efficient management of working memory resources making them more available for analysis and reflection on the contents of instructional materials; 3) the use of

new cognitive learning theories made the design of learning resources more attractive and efficient for students and gave them a more active role in the learning process.

Differences found on scores obtained by the two groups in the learning transfer test can be interpreted based on the theoretical framework and from the qualitative data. These differences can be explained by a combination of two factors: 1) the 4C/ID-model is based on the principles of cognitive load theory, so the interaction between the four components allows the minimization of the cognitive load imposed by the instruction, which probably implies that the students of the experimental group perceived less cognitive load in the application of learned knowledge to new situations and (2) qualitative data shows that students in the experimental group solved learning tasks on electrical circuits with greater concentration and commitment when compared to the control group, which may also have occurred in the performance of the learning transfer test.

In conclusion, there are 10 steps to follow for the development of whole-tasks based on the 4C/ID-model. These steps offer science teachers and instructional designers a way to introduce further the whole-task approach in physics education and to deal with practical, theoretical and technical issues. In addition, new research paths can be developed using the whole-task approach, i.e., this digital learning environment could be tested on other secondary schools and other physics themes can be learned using this kind of instructional approach.

It is important to point out that the results presented in this article are part of other studies and they were already mentioned, the main purpose of this paper is to describe the method used in the design and construction of an educational resource based on the 4C/ID-model. It should also be noted that the results presented here are only valid for this population, which suggests that the use of the 4C/ID-model in the classroom context seemed to be more efficient than a conventional teaching method. Thus, this study intends to provide

a contribution to the validation of the use of the 4C/ID-model in the classroom for this age range.

As already mentioned, Melo and Miranda (2015) studied the instructional efficiency of this learning environment. The main objective of the study was to investigate the effect of the "circuitos elétricos" digital environment on the students' performance variables (reproduction and learning transfer) and on the perceived mental effort (cognitive load measurement) by the students, to study the effect of the instructional approach on the instructional efficiency. The authors perform a quasi-experimental study comparing two different instructional approaches: the 4C/ID-model (experimental group, $n = 78$) versus a more traditional approach (control group, $n = 51$) based on a teacher-centred strategy. The results revealed: 1) significant differences in the level of performance (reproduction and learning transfer) of the students, and these differences were greater in the learning transfer; 2) a more marked decrease in the perceived mental effort by the students in the learning transfer tests. In general, the results showed that the use of the digital learning environment led students to solve learning tasks more efficiently. Therefore, students who used the digital learning environment developed mental schemes that allowed them to apply the acquired knowledge to new situations with a lesser perceived mental effort.

In another study (Melo & Miranda, in press), the same authors found that the use of the 4C/ID approach modified the type of students learning approach, verifying that students who use this type of instructional approach tended to adopt a deeper learning approach.

Suggestions for Further Research

The main limitation of this study was the deficit of variables studied that allowed for the characterizing of the learning process in both groups. Thus, the study of the variables self-autonomy, motivation for learning and learning ability is recommended. So, it would be very important to combine quantitative data with qualitative data, namely through the use of research interviews and observation of how students solve problems. The use of a mixed-method research allows a deeper interpretation of qualitative data along with the frequency of quantitative results, in particular to better understand how students do learning transfer.

It would also be important to replicate this study more times over time to confirm the results of the 4C/ID-model's learning advantages.

The replication of this study with different samples of the same level of education is also important, because it is possible to understand the effect of the scholar population type, e.g., the socioeconomic level on learning process, which may affect the efficiency of the instructional model. It will also be interesting to see if the efficiency of the 4C/ID-model is affected by the subject/discipline in which it is applied at the same level of education.

References

- Argyris, C., & Schon, D. (1978). *Organizational learning: A theory of action perspective*. Reading. Addison Wesley, MA.
- Halil, M. K., & Elkhider, I. A. (2016). Applying learning theories and instructional design models for effective instruction. *Advances in Physiology Education*, 40(2), 147. doi:10.1152/advan.00138.2015.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 1-10.
- Lim, J., Reiser, R., & Olina, Z. (2009). The effects of part-task and whole-task instructional approaches on acquisition and transfer of a complex cognitive skill. *Educational Technology Research & Development*, 57(1), 61-77. doi:10.1007/s11423-007-9085-y.
- Maggio, L. A., Cate, O., Irby, D. M., & O'Brien, B. C. (2015). Designing evidence-based medicine training to optimize the transfer of skills from the classroom to clinical practice: Applying the four Component Instructional Design model. *Academic Medicine*, 90(11), 1457-1461. doi: 10.1097/ACM.0000000000000769.
- Mayer, R.E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd Ed.). New York: Cambridge University Press.
- Melo, M., & Miranda, G. L. (2015). Learning electrical circuits: The effects of the 4C-ID instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge. *Journal of Information Technology Education: Research*, 14, 313-337. <http://www.jite.org/documents/Vol14/JITEv14ResearchP313-337Melo1752.pdf>. Accessed 14 January 2017.
- Melo, M. & Miranda, G.L. (in press). Modelo 4C/ID: efeito sobre as abordagens à aprendizagem dos alunos do 9ºano. *Análise Psicológica*.

- Merrill, M. D., Drake, L., Lacy, M. J., & Pratt, J. (1996). Reclaiming instructional design. *Educational Technology, 36*(5), 5-7.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skills in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology, 84*, 429-434.
- Paas, F. G., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Gerven, P. W. (2003). Cognitive load measurement as a mean to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist, 38*(1), 63-71.
- Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Postma, T. C., & White, J. G. (2016). Developing integrated clinical reasoning competencies in dental students using scaffolded case-based learning - empirical evidence. *European Journal of Dental Education, 20*(3), 180-188.
doi:10.1111/eje.12159.
- Postma, T. C., & White, J. G. (2015). Developing clinical reasoning in the classroom - analysis of the 4 C/ ID-model. *European Journal of Dental Education, 19*(2), 74-80.
doi:10.1111/eje.12105.
- Reiser, R. A., & Dempsey, J. V. (2007). *Trends and issues in instructional design and technology* (2nd ed). Merrill Prentice Hall, NJ.
- Schneider, W. (1985). Training high-performance skills: Fallacies and guidelines. *Human Factors, 27*, 285-300.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science, 12*, 257-285.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.

- Van Gerven, P. W. M., Paas, F. G. W. C., van Merriënboer, J. J. G., & Schmidt, H. G. (2002). Cognitive load theory and aging: Effects of worked examples on training efficiency. *Learning and Instruction, 12*, 87-105.
- Van Merriënboer, J. J. G. (1997). *Training complex cognitive skills: A four-component instructional design model for technical training*. NJ Englewood Cliffs: Educational Technology Publications.
- Van Merriënboer, J. J. G., & de Crook, M. B. M. (1992). Strategies for computer-based programing instruction: Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research, 8*, 365-394.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future directions. *Educational Psychology Review, 17*, 147-177. doi: 10.1007/s10648-005-3951-0.
- Van Merriënboer, J.J.G., & Kirschner, P.A. (2009). *Ten Steps to Complex Learning*. Routledge, New York.
- Van Merrienböer, J.J.G., & Kester, L. (2014). The Four-Component Instructional Design Model: Multimedia Principles in Environments for Complex Learning. In R. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 104-149). New York: Cambridge University Press.
- Van Rosmalen, P., Boyle, E. A., Nadolski, R., van der Baaren, J., Fernández-Manjón, B., MacArthur, E., & Star, K. (2014). Acquiring 21st Century Skills: Gaining Insight into the Design and Applicability of a Serious Game with 4C-ID. *Games & Learning Alliance, 327*. doi:10.1007/978-3-319-12157-4_26.
- Vandewaetere, M., Manhaeve, D., Aertgeerts, B., Clarebout, G., Van Merriënboer, J. G., & Roex, A. (2015). 4C/ID in medical education: How to design an educational program

based on whole-task learning: AMEE Guide No. 93. *Medical Teacher*, 37(1), 4-20.

doi:10.3109/0142159X.2014.928407.

Vosniadou, S., & Ortony, A. (1989). *Similarity and analogical reasoning*. New York, Cambridge University Press.

CAPÍTULO III – RESULTADOS DE INVESTIGAÇÃO

O Capítulo III é dedicado à apresentação dos resultados de investigação e encontra-se dividido em três subcapítulos que correspondem a três artigos publicados ou fase de publicação:

- III.1 – o primeiro artigo, “The effects of the 4C-ID model approach on acquisition and transfer of knowledge about electric circuits”, engloba uma breve descrição da experiência e a comparação da eficiência instrutiva nos dois grupos;
- III. 2 – no segundo artigo, “Learning electrical circuits: the effects of the 4C-ID Instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge”, fazemos uma comparação entre dois grupos em termos das variáveis ‘desempenhos de reprodução’, ‘desempenhos de transferência’, ‘carga cognitiva percebida’ e ‘eficiência instrutiva’, usando uma análise de estatísticas inferencial adequada às características de cada uma das variáveis estudadas. Neste subcapítulo são também discutidos os resultados de investigação à luz do referencial teórico e dos princípios que suportam o modelo instrutivo 4C/ID.
- III.3 – o terceiro artigo, “Modelo instrutivo 4C/ID: efeitos sobre as abordagens à aprendizagem de alunos do 9ºano”, centra-se no efeito da abordagem instrutiva 4C/ID sobre o tipo de abordagem à aprendizagem que os alunos tendem a adotar. Neste estudo analisamos o efeito do tipo de abordagem instrutiva sobre as variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’, bem como a interação da variável ‘desempenhos na disciplina de Físico-Química dos anos anteriores’ com o modelo instrutivo usado e com o tipo de abordagem à aprendizagem que os alunos tendem a adotar.

III.1 - The effects of 4C-ID model approach on acquisition and transfer of knowledge about electric circuits*

Abstract

This paper reports the first results of an experimental research, carried out in a private school with 9th grade students, where the 4C/ID-model was used for teaching and learning electrical circuits. We describe the principles and features of the instructional model, that is suitability for the teaching and learning of complex knowledge and skills and yet their permeability to develop digital educational resources and learning environments. We analyse the preliminary experimental results in terms of students' performance (both reproduction and learning transfer), mental effort and instructional efficiency. We also suggest clues to future research.

Keywords: digital educational resources, electrical circuits, instructional design, 4C/ID-model, learning environments, multimedia educational messages.

* Melo, M., & Miranda, G.L. (2018). The effects of 4C-ID model approach on acquisition and transfer of knowledges about electric circuits. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, 13(1), 94-110. DOI: 10.4018/IJWLTT.2018010107 (SJR-SCImago Q4 Computer Science and Education em 2016).

Introduction

In this paper we present the first results of a research based on the 4C/ID-model (Four Components – Instructional Design Model), suitable for complex learning, developed by van Merriënboer and colleagues in the 90s (van Merriënboer, 1997), that corresponds to an extended version of the article "Applying the 4C-ID Model to the Design of a Digital Educational Resource for Teaching Electric Circuits: Effects on Student Achievement" presented at the IDEE 2014 workshop (Melo & Miranda, 2014). Despite of the existence of other instructional design models, the 4C/ID-model acquire a high formulism level evidencing as a suitable model to teach complex skills, as it is most of the learning that takes place at school and professional training. Moreover, this model is very susceptible to the development of digital educational resources and multimedia learning environments that are increasingly used in education and vocational training.

We will consider the design of a digital resource for teaching and learning electric circuits based on this model and the main results achieved with its application to students in the 9th year of schooling, following an experimental research design.

The main objective of this study is to compare the effects of two instruction approaches in reproduction and transfer tasks, perceived cognitive load and instructional efficiency.

Science aims to achieve several goals, including replicating results and innovating. The innovative dimension of this article is the application of the 4C-ID model to the basic levels of education, since until now it has been used in university and professional training.

The 4C/ID-Model Background

As refers Anderson (1983), a model is an application of a theory to a particular phenomenon. A theory is a precise deductive system, more general than a model. Often theories are grouped into frameworks and a framework is a general set of concepts for understanding a domain, but is not sufficiently organized to constitute a theory; from the same framework we can deduct various predictive theories.

The 4C/ID-model was developed based on some general principles of Instructional Design & Technology (ID&T or ID) (Reiser, 2001), where we emphasize the influence of the ADDIE model and the work of Robert Gagné (Gagné, 1975, 1984, 1985) and more recent theories, as the cognitive theory of multimedia learning, developed by Richard Mayer and collaborators (Mayer, Heiser & Lonn, 2001; Mayer & Moreno, 2003; Mayer, 2005) and the cognitive load theory, established by John Sweller and colleagues (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1988; Sweller, Ayres & Kayuga, 2011). All these theories can be integrated into the information processing framework, where memory (associated to other cognitive processes) is the basis and the result of the cognitive activity that occurs during learning. All these theories and models can be included in the cognitive framework. There are other two frameworks: the behaviourist and the constructivist frameworks, each of which has given rise to theories and instructional models (Reiser, 2001; Wilson & Cole, 2001).

As emphasize Wilson, Jonassen and Cole (1993), ID as a discipline rests on the twin foundations of (i) a systems design model for managing the instructional development process (like de ADDIE model) and (ii) theories that specify what high-quality instruction should look like (Reigeluth, 1983, 1987).

Like others ID models, the 4C/ID-model gives a great importance to the learning tasks (Child, 2004). They are the core of the instructional process, which consists of five steps:

Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation – ADDIE (Branson, Rayner, Cox, Furman, King & Hannum, 1975). However, learning tasks in 4C/ID-model are integral and real tasks that the learners or professionals must perform. This is a major difference of this model when compared to other models that, in most cases, divide the overall learning tasks into subtasks of easier achievement. Most of the ID' models use a bottom-up strategy, considering that much of the knowledge and skills are better learned by means of associative processes. It is the case of Programmed Learning by Skinner (Skinner, 1954, 1968).

But we know that it is not always so (Sweller et al., 2011; van Merriënboer, 1997; Wertheimer, 1945). The basic skills training and the development of automatisms are essential to the performance of many activities but these should be part of the task as a whole. We think that some of the transfer problems expressed by students come from the way they were taught (Miranda, 2005) and one of these problems lies on the lack of prescription, training and practice (which is often one of the problems of the constructivist models) or the segmentation of tasks proposed by behavioural models (Skinner, 1968). We think that the cognitive approach or framework and its theories and models, mainly the 4C/ID-model, combined the best of both worlds.

The Multimedia Learning Theory

The use of the 4C/ID-model in the design of digital learning environments follows the assumptions of the multimedia learning theory developed by Richard Mayer, which posits that humans learn better from words and images than just words – the multimedia principle (Mayer, 2005; Paivio, 2006a, 2006b). However, in order to promote a meaningful learning, it is necessary that multimedia messages are designed from the way the human mind works, i.e. how it handles this type of information. The theory is based on three assumptions and five cognitive processes, derived from the results of experimental research done in the field of

cognitive psychology. The three assumptions are: (1) the human system information processing included double channels for the processing of visual/pictorial and auditory/verbal (the assumption of dual channels) (Baddeley, 1997); (2) each one of the channels has a limited processing capacity (i.e., the assumption of limited capacity of our working memory) (Baddeley, 1997; Miller, 1956); and (3) the active learning, which involves performing a coordinated set of cognitive processes during that learning (i.e., the assumption of the active processing). The five processes are: (i) the choice of relevant words in the text or narrative presented, (ii) the selection of the relevant images from the showed illustration, (iii) the organization of the selected words into a coherent verbal representation, (iv) the organization of the selected images into a coherent pictorial representation, (v) and the integration of the verbal and pictorial representations with the previous knowledge.

This theory also assumes that all human knowledge is stored in cognitive schemata, in long-term memory, which is thought to have unlimited capacity. Learning consists of the construction of schemata, “including the formation of new schemata and the embellishment of existing schemata or to the automation of schemata” (van Merriënboer, 2005, p. 75). For the development of learning tasks, the 4C/ID-model proposes that multimedia educational messages have to follow these assumptions and processes.

Another theory that influenced the 4C/ID-model is the Sweller Cognitive Load Theory (Sweller et al., 2011).

The Cognitive Load Theory

This theory suggests a set of principles that should guide the development of educational multimedia messages. These principles have been tested empirically, following an experimental design, with experimental and control groups, where one factor at a time were tested, i.e., the principle under research (Sweller et al., 2011). There are, until now,

fourteen multimedia principles tested that way. For example: ‘The goal-free effect’, ‘The split-attention effect’, ‘The worked example and problem completion effects’, ‘The self-explanation effect’, ‘The modality effect’, ‘The element interactivity effect’, and so one (cf. Sweller et al., 2011).

Like multimedia learning theory, the cognitive load theory shares the same assumptions about the cognitive human functioning (Chandler et al., 1991; van Merriënboer & Kester, 2005), i.e., the ‘assumption of dual channels’ and ‘the assumption of limited capacity of the working memory’. Cognitive load theory posits two main types of cognitive load that can be experienced by the cognitive human system during learning: intrinsic and extraneous cognitive load and ways to reduce these two categories of cognitive load in the instructional materials and processes (Sweller et al., 2011). The intrinsic cognitive load is imposed by the basic structure of the information that the learner needs to acquire for achieving learning goals irrespective of the instructional procedures used. The extraneous cognitive load is imposed by the manner in which the material is presented. Intrinsic and extraneous cognitive load are additive, together they determine the total cognitive load imposed by the material that needs to be learned. So, the total cognitive load determines the required working memory resources needed to process the information with some resources dealing with intrinsic cognitive load (called germane resources) and other resources dealing with extraneous cognitive load (called extraneous resources).

According to cognitive load theory, the aim of ID is to reduce extraneous cognitive load so that a greater percentage of the pool of working memory resources can be devoted to issues germane to learning rather than to issues extraneous to learning. Extraneous cognitive load should be reduced as far as possible, thus reducing working memory resources devoted to extraneous issues and increasing the availability of germane resources devoted to intrinsic cognitive load.

The 4C/ID-Model

As mentioned by van Merriënboer & Kester (2005) “Well-designed educational programs take both human cognitive architecture and multimedia principles into account to ensure that learners will work in an environment that is goal-effective, efficient, and appealing” (p. 72). The 4C/ID-model was conceived to answer to this kind of prescriptions. The 4C/ID-model also stresses authentic whole learning tasks practices for complex learning and transfer. Merrill (2002) characterize the 4C/ID-model as the most comprehensive instructional design methodology for complex skill learning that is yet available.

There are several reasons why the 4C/ID approach leads to better transfer performance. First, the model, by suggesting whole-task practice, focuses on the integration and coordination of all skills that constitute a complex ability/competence and concurrently promotes understanding (schema construction) of the ability/competence. Another reason that justifies the use of the 4C/ID approach is the way learning tasks are sequenced in the instructional design phase. The model suggests that the learning tasks presented to learners should be highly different from each other and be randomly ordered considering all the possible real world contexts that may be encountered by experts in the subject matter domain.

As indicated in its name, the 4C/ID-model comprises four major components, all interrelated and each component uniquely contributing to the development of complex skills (see Figure 13). The four components are identified as follows: 1) learning tasks; 2) supportive information; 3) procedural information and 4) part-task practice.

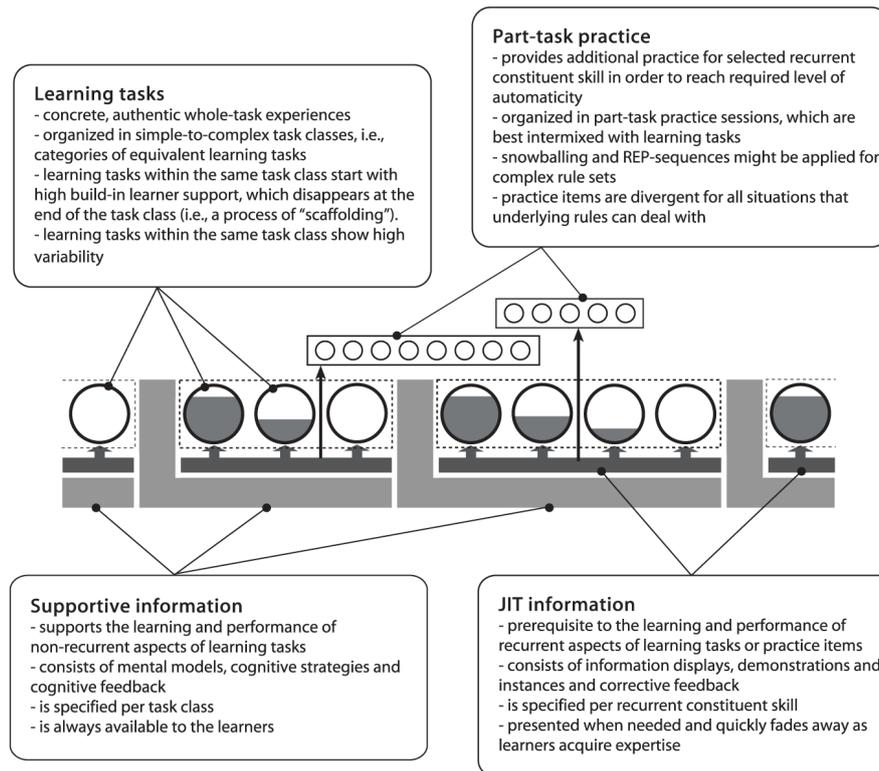


Figure 13. A schematic overview of the 4C/ID-model and its main elements (van Merriënboer, Clark & de Crook, 2002).

In Figure 13, the learning tasks are indicated by circles. They provide the backbone of the educational program. Often, learners will receive support and guidance when they are working on the learning tasks (filling of the circles). Support and guidance will typically decrease as learners acquire more expertise. The supportive information (L-shaped figure) helps learners to perform non-routine aspects of learning tasks, i.e., aspects that requires problem solving, reasoning and decision making. The procedural information (just-in-time information, JIT) is indicated by the rectangle with upward pointing arrows. This information is presented at the task-level and informs learners on how to perform “recurrent” aspects of learning tasks, that is, aspects to be performed as routines after the educational program has been completed. The last component is the part-task practice involves a lot of repetitive practice and is provided when a very high level of automaticity is required for a particular recurrent aspect of a task.

There are several unique features of the 4C/ID-model: 1) the model focuses on the integration of constituent skills, knowledge and attitudes. In order to facilitate integration, learners work on a series of whole learning tasks from the beginning of instruction. With this whole-task approach, learners quickly develop a holistic vision of the learning task that is a sequencing technique in which learners are introduced to a large task before beginning to work on smaller-scale issues. It is also suggested that these learning tasks are different from each other in terms of their dimensions, so that learners will build a rich, integrated knowledge base by experiencing a number of different problem situations that may occur in different contexts; 2) the 4C/ID-model emphasizes the coordination of constituent skills that are, at least, considered as equally important at performing on each constituent skill separately. To enhance coordination, the 4C/ID-model suggests specific strategies for sequencing learning tasks: from simple to complex tasks and from high to very low support, or even no support given to learner and 3) the 4C/ID-model focuses on differentiation of two fundamental learning processes involved in complex learning: the construction of cognitive schemata that requires deep understanding of learners (problem solving skills) and the automation of cognitive schemata that requires repeated practice (part-task practice) of rules and procedures by learners. In the 4C/ID-model context, the constituent skills involving schema construction are called non-recurrent (effortful) skills, which are performed differently from problem situation to problem situation (generalized knowledge). In order to develop these skills, the 4C/ID-model suggests a provision of information that allows reasoning and problem solving. This information is called supportive information, the second 4C/ID-model component.

On the other hand, the constituent skills requiring schema automation are called recurrent skills which are performed identically from problem situation to problem situation (specific knowledge). To develop recurrent skills, the 4C/ID-model suggests an availability

of information that primarily involves how-to or step-by-step instruction on the skills being taught. This information is called just-in-time information (JIT), another component of the 4C/ID-model.

The others components of the 4C/ID-model are the learning tasks and the part-task practice. Learning tasks are the key component of the model, as we mentioned previously. Concrete, authentic and meaningful whole-task experiences are provided to learners to promote the construction of cognitive schemata and to promote the automation of schemata. These tasks may take many different forms, such as case studies, problem-based learning, project-based learning, competency-based learning and so forth. As shows in Figure 13, learning tasks are organized from simple-to-complex task classes, that is, categories of learning tasks that are equivalent to each other in the sense that they can be performed on the basis of the same body of knowledge. Furthermore, learning tasks within the same task class start with a high level of built-in learner support, which slowly decreases and totally disappears at the end of the task class.

Part-task practice may be necessary for selected recurrent constituent skills for which automaticity is desired. Part-task practice starts after the recurrent aspect has been introduced in the learning tasks, so the learners already have an appropriate cognitive context.

Empirical Evidences of the Effectiveness of the 4C-ID-Model

Although there are few studies that compare the relative effects of 4C/ID-model (whole-task) versus other approaches, there are some empirical evidences on the efficiency of the 4C/ID approach. In this section we will present some research results about efficiency of the 4C/ID-model.

In two studies, Hoogveld, Paas and Jochems (2001, 2003) research the effectiveness of the 4C/ID-model as an instructional system design approach to designing competence-

based education. In the first study, two groups of teachers were compared: one group was trained to use the 4C/ID-model to design instruction and the other was trained to optimize it owns design approach. After the training phase, the design quality of their educational products was measured by experts, and it was found that teachers trained to use 4C/ID-model developed qualitatively better designs than the other teachers. The second study researched whether teams or individuals benefited more from a 4C/ID-approach to designing competence-based education. It was found that low achievers benefits more from the 4C/ID-model when they were working in teams, but high achievers worked as well in teams as individually.

Nadolski, Kirschner and van Merriënboer (2005) focused on segmenting complex whole learning tasks in the law domain into phases. They varied the number of phases (one, four and nine) of the whole task to determine the optimal balance between the advantages of the whole-task practice and disadvantages of cognitive overload caused by whole tasks that are too complex for learners. They found that learners who carried out the learning tasks in the four phases were most effective during practice as measured by the coherence and content of their learning products. Learners who carried out the learning tasks in one or four phases were most efficient during practice as measured by combination of learning products quality and invested mental effort. No effects were found on the transfer test performance. These authors confirm these results in a follow-up study in 2006 (Nadolski et al., 2006), in which learners who received learning tasks that consisted of four phases outperformed learners who received tasks consisting of eight phases. These results indicate that the whole learning tasks should only be segmented if this is the only possible way to diminish their complexity.

Lim and Reiser (2006) compared the effects of the 4C/ID whole-task training and part-task training on the acquisition and transfer of a complex cognitive skill for novices and advanced learners. They found that both novices and advanced learners achieved better

whole-task performance and better transfer performance if they received the 4C/ID whole-task training.

In others studies Sarfo and Elen (2005) compared three groups who had to learn how to design a single building plan based on local conditions. The control group was taught according to an approach that was applied in technical schools in Ghana; the experimental groups were taught according to the 4C/ID approach, either with and without technology-enhanced learning. The groups performed equally well on a pre-test and both groups showed learning gains on the post-test.

The following studies exemplify the most recent research lines that focus on using the 4C/ID-model in medical training/education.

Susilo, van Merriënboer, van Dalen, Clarimita and Scherpbier (2013) describe the use of 4C/ID-model to plan educational interventions for complex learning in medical educations. In particular they describe the use of 4C/ID-model on the development of communications skills for health professionals (doctors and nurses).

Maggio, Cate, Irby and O'Biren (2015) found that evidence-based medicine (EBM) skills, although taught in medical schools around the world, are not optimally practiced in clinical environments because of multiple barriers, including learners' difficulty to transfer EBM skills learned in the classroom to clinical practice. This lack of skill transfer may be partially due to the design of EBM training. To facilitate the transfer of EBM skills from the classroom to clinical practice, the authors explore the 4C/ID instructional approach, to guide the design of EBM training. The authors begin by introducing the 4C/ID-model and describing the benefits of its four components to guide the design of EBM training. They include illustrative examples of educational practices that are consistent with each component and that can be applied to teaching EBM. They conclude by suggesting that medical

educators consider adopting the 4C/ID-model to design, modify, and/or implement EBM training in classroom and clinical settings.

In the electrical circuits teaching with the 4C/ID-model, there are some research works that study particular aspects of the model, like how and when to present supportive and procedural information. The main objective of these works is not the learning efficiency of 4C/ID-model, but they have an essential contribute to the practical model implementation. (cf. Kester, Kester, Kirschner & van Merriënboer, 2004, 2005; van Merrienboer & Baumer, 2001).

Salden, Paas, van der Pal and van Merriënboer (2006) use the 4C/ID-model plan a computer-based flight management system training environment to compare the effect of learner control on task selection (fixed condition versus dynamic selection condition) on their performance and perceived mental effort. They found that dynamic selection condition is more effective.

As we can see from this brief literature review, 4C/ID-model efficiency (both performance and mental effort) has not been the target of research, in particular in educational context for lower teaching levels. So for this reason Melo and Miranda (2016) perform a meta-analytical research to investigate the effect of the 4C/ID-model in learning (learners' achievement and transfer). The results showed that the 4C/ID-model produces high effect size on the learners' performance (both reproduction and learning transfer). The authors also found that there is a deficit of published studies about the efficiency of 4C/ID-model in educational context.

The Empirical Study

In this section we will describe the structure of the learning environment used in the context of teaching some concepts of electrical circuits with 14 years old students (mean = 14,31, SD = 0,54), of the 9th grade, from a private school in Lisbon. This training system was implemented in two lessons of 90 minutes each, with one student per computer.

The learning environment was developed with the Adobe Flash CS3 Professional and is divided into three learning classes, each one consisting of a set of learning tasks (task classes) (Figure 14): 1) learning class 1 is focused on the concepts of electrical current and potential difference. Before start the learning tasks students should observe a video (supportive information – description of the domain model) with an explanation of the concepts of electrical current direction and potential difference. After, students must follow a set of three learning tasks (T1, T2 and T3) corresponding to a modelling example (worked-out example) (T1), a completion exercise (T2) and a whole task (conventional problem) to solve without help (T3); 2) learning class 2 is centred in the ability to design an electrical circuit diagram. In this learning class the supportive information focuses on symbology used for the construction of electrical circuit diagrams. Then the students have to perform a sequence of six learning tasks (T1 ... T6) in which they must identify symbols of electronic devices. The first three tasks correspond to worked and partially worked-out examples and exercises; the last three tasks must be solved without help (part-task practice); 3) learning class 3 is related to the concepts of serial and parallel association of lamps. In this learning class the supportive information focuses on the main features of an association in series and in parallel. Learning tasks are organized in worked examples (T1 - T3), partially solved examples (T4 - T6) and practical exercises (T7 - T16).

Performance tasks consist of items of completion and multiple choices. For each performance task there is a system of feedback (corrective and cognitive) requiring students

to read the conceptual justifications for all options. The structure of the learning environment is presented in the Figure 14.

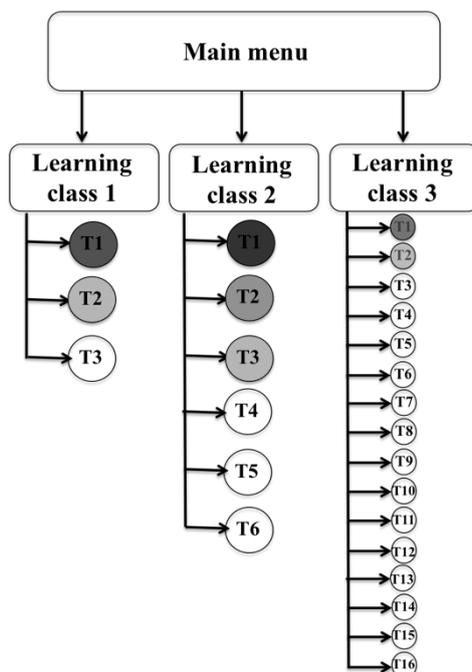


Figura 14. The structure of the learning environment (Melo & Miranda, 2014).

In all learning classes the students must follow the sequence of tasks proposed and they only can advance to the next if they complete with success the current task. In all tasks supportive information and feedback are available. In each set of the proposed learning classes the tasks are organized from simple-to-complex; in each class the learning process started with a worked-out task (darker circles), followed by some partially solved ones (less dark circles) and finally the problem situation examples are presented as a conventional problem without guidance and support (unfilled circles). The items types that make up the various tasks are: completion, multiple choice and drag and drop.

Table 6 presents the training blueprint for the complex skill “make a simple circuit representation” (task class 2).

Table 6

Example of the 4C/ID-model blueprint for task class 2.

Task class 2 Students have to learn the symbology used in a simple electric circuit (power supply, lamp, open/close switch, electric motor, voltmeter and ammeter) and they have to identify these symbols in a circuit representation.	
Supportive information (description of the domain model) Students visualize a multimedia presentation about the symbology used in the representation of a simple electric circuit.	
Supportive information (modelling example) Corresponds to a worked-out example that is the first learning task T1.	
Learning task T2 Students have to perform a completion problem.	Procedural information (JIT) Procedures for using the instructional material.
Learning task T3 Students have to perform a completion problem.	
Learning task T4 Students have to perform a conventional problem (i.e. without guidance and support).	
Learning tasks T5 and T6 These set of learning tasks corresponds to the part-task practice (T5 and T6 are conventional problems).	
Supportive information (cognitive feedback) Students receive cognitive feedback from learning tasks T2 and T3, which they will use on learning tasks T4 to T6.	

Figure 15 shows the sequence of learning tasks for lesson 3 (task class 3).

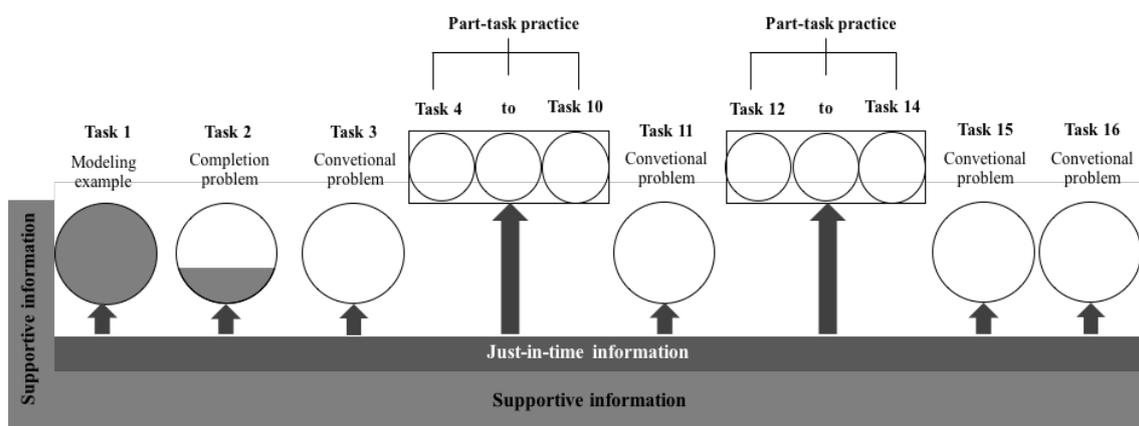


Figure 15. An overview of the lesson 3 (task class 2).

As can be seen in Figure 15 the lesson 3 is more complex than lessons 1 and 2, following the simple-to-complex sequence for task classes. Thus the main difference between this lesson and the previous ones is the two groups of part-task practice that must be carried out giving an opportunity to students to automate the mental schemes acquired in the previous tasks. In this scheme is also evidenced the decrease of guidance given to the accomplishment of the learning tasks.

Propose of the Study

The basic aim of this study was to research if the learning environment designed with the 4C/ID-model could be effective for promoting the development of technical expertise in true and vivid contexts of regular classrooms of a secondary school and if it produced better results than conventional methods of teaching. In our case we want to compare two instructional approaches in terms of students' achievement (both reproduction and learning transfer), perceived cognitive load (mental effort) and instructional efficiency. To achieve this last goal, we used the efficiency measure developed by Paas and van Merriënboer (1993).

Methodology

Experimental design

Considering the purpose and the context of the study the experiment had a quasi-experimental design. Five classes of students from the school were randomly exposed to two different treatments. The treatments were (1) the 4C/ID-model approach for the experimental

group and (2) the traditional approach for the control group. We compare the two groups only in the post-test to avoid the testing effect.

Participants

The study of the efficiency of the learning environment design with the 4C/ID-model principles was done through the ability of the students to reproduce the knowledge acquired during the learning tasks about electrical circuits and the ability to transfer this knowledge to new tasks. The distribution of classes by teachers was taken as follows: teacher A teaches one class in the experimental group and the teachers B and C teach one class in the experimental group and one class in the control group each.

Two groups were constituted:

- An *experimental group* (EG), with three intact classes (n = 78), in which the contents were taught solely based on the digital learning environment in which students performed learning tasks, under the supervision of three teachers;
- A *control group* (CG), composed by two intact classes (n = 51) were recorded, in which the contents were taught with a conventional expository strategy centred on the teacher, performing learning tasks previously selected from the handbook adopted in the school, under the supervision of two teachers.

Each class was randomly assigned.

Independent variable

For both groups, learners received an overview of the lessons from their teachers, which includes 1) purpose of the lessons, 2) conceptual overview of concepts related to the

theme. Learners in each group, however, received two different instructional approaches to the theme “Electrical Circuits”:

- In the experimental group the theme "electrical circuits" was approached with the sole source application designed on the 4C/ID model;
- In the control group, the same topic was addressed using a conventional teaching methodology.

Dependent variables

Data was collected from the following sources:

- Student scores on the two achievement tests;
- Student ratings of perceived cognitive load on the two achievement tests;
- Student instructional efficiency on the two achievement tests.

The tests were applied to both groups at the end of the last lesson on electrical circuits (1st application) and a week later (follow-up) to assess the effects of the dependent variable on the acquisition of mental schemes related to problem solving on electrical circuits.

Performance

Two tests for assessing the efficiency of the learning environment were designed:

- A knowledge multiple-choice test that consists of 14 items that resembles the work done on the different learning class tasks (each correct answer is 1 point and each wrong answer is 0 points), which was applied to the two groups (experimental and control);
- A transfer multiple-choice test, consisting of 14 items, which appealed to the application of acquired knowledge to new tasks (each correct answer is 1 point and each wrong answer is 0 points), which was applied to the two groups (experimental and control).

Cognitive Load

Perceived cognitive load was measured using a single self-rating scale developed by Paas and van Merriënboer (1993). Studies have shown that this scale is sensitive to relatively small differences in cognitive load and that it is valid, reliable, and unobtrusive. The participants (both experimental and control groups) were asked to use a nine-point Likert scale to identify the amount of mental effort they invested to perform the assigned tasks. The cognitive load measures ranged from 1 (very low mental effort) to 9 (very high mental effort). The rating-scale was administered after the learner completed each of the two achievement tests.

Instructional efficiency

Building on the Paas (1992) self-rating scale, Paas and van Merriënboer (1993) developed an efficiency measure, with combined mental effort with task performance indicators. They reasoned that it was important to consider the cognitive costs of learning. Even though two different instructional methods might produce the same learning outcomes, the effort that is put into achieving these levels of performance was an important variable. If an instructional strategy produces the same performance as another strategy but with fewer cognitive resources expended, then the first strategy is more efficient. Efficiency (E) was calculated using the following formula:

$$E = \frac{Z_{\text{performance}} - Z_{\text{mental effort}}}{\sqrt{2}}$$

where $Z_{\text{performance}}$ represents the standardized achievement tests score and $Z_{\text{mental effort}}$ represents the standardized mental effort scores collected after the testing period. The formula is based on the mathematical calculation of the perpendicular distance from the point to a line $y = x$ and we can have three distinct situations: 1) if performance and mental effort z

scores are equal, the efficiency is 0 ($E = 0$); 2) if the performance z score is higher than the mental effort z score, the instructional efficiency is positive ($E > 0$) and 3) if the performance z score is lower than the mental effort z score, the instructional efficiency is negative ($E < 0$).

These z scores can be displayed and represented in a graph where z performance as the ordinate and z mental effort is the abscissa (see Figure 16 a) and b)). Shifts to the upper left of the co-ordinate system indicate an increase in efficiency (higher performance in relation to less invested mental effort) and shifts to the lower right indicate a decrease in efficiency (lower performance in relation to more invested mental effort). This approach to measure instructional efficiency was adopted in our research.

Results

Performance

The average values of the results obtained in reproduction and transfer tests for the first application and the follow-up are presented in the table 7.

Table 7

Performance mean scores and standard deviations.

	Reproduction test				Transfer test			
	1st application		Follow-up		1st application		Follow-up	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
EG (n=78)	12,19	1,58	12,23	1,41	11,18	1,88	11,50	1,57
CG (n=51)	11,41	2,14	10,82	2,09	8,76	2,64	8,92	2,17

Cognitive Load

The measures of mental effort were made during the reproduction and transfer tests. The average values obtained for these measurements in the 1st application and in the follow-up are presented in table 8.

Table 8

Mental effort mean scores and standard deviations.

	Reproduction test				Transfer test			
	1st application		Follow-up		1st application		Follow-up	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
EG (n=78)	2,77	0,73	2,54	0,90	2,63	1,15	2,74	1,11
CG (n=51)	2,91	1,21	2,38	1,00	4,21	1,52	3,50	1,32

Instructional efficiency

Table 9 represents the results obtained for the instructional efficiency for the experimental group and the control group, on the reproduction and transfer tests, respectively. See also Figure 16.

Table 9

Instructional efficiency mean scores and standard deviations.

	Reproduction test				Transfer test			
	1st application		Follow-up		1st application		Follow-up	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
EG (n=78)	+0,48	0,95	+0,48	0,82	+0,55	0,87	+0,42	0,80
CG (n=51)	+0,03	1,09	-0,57	0,99	-0,41	1,01	-0,25	0,76

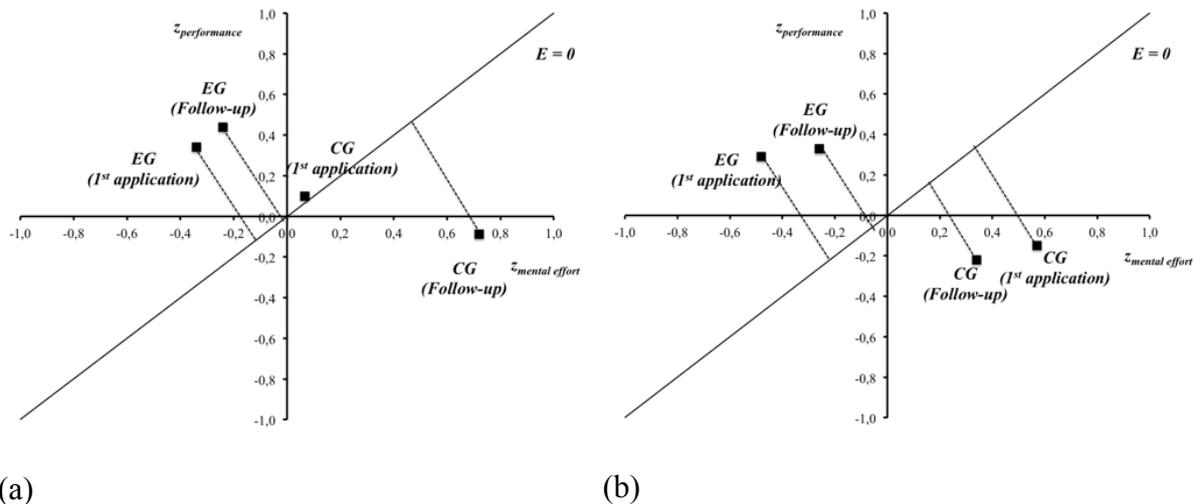


Figure 16. (a) Instructional efficiency for the experimental group (EG) and control group (CG) on the reproduction test. (b) Instructional efficiency for the experimental group (EG) and control group (CG) on the transfer test.

General Discussion and Conclusion

In this section we analyse the effect of using the 4C/ID approach on the following variables: students' performance (both knowledge reproduction and learning transfer), perceived mental effort and instructional efficiency.

As we can see from data in Table 8 students of the experimental group performed better results on knowledge acquiring (reproduction) and learning transfer. We believe that this differences are due to the fact that the students of the experimental group had more opportunities to engage in learning process, that are presented as a whole-task and thus they had more opportunities to integrate and coordinate the constituent skills throughout the instruction than the students of the control group.

Comparing transfer test scores (Table 8) of both groups, the results show that are a larger difference between the groups on both tests application. According to 4C/ID-model framework, we think that these differences are due to the fact that the 4C/ID approach

stimulates the mental schema construction for non-recurrent aspects of the complex skill that is differently performed from one situation to another.

Table 9 presents the results for perceived mental effort measured for both experimental and control groups. The results for this variable show that for acquired knowledge (reproduction) the experimental group had low scores, but not very different from the control group. However, the differences are more pronounced in the variable learning transfer. We can see two interesting aspects: the experimental group revealed low variability from first application to the follow-up and control group revealed more mental effort on the transfer problems. These results can be explained by the relationship that we can establish between cognitive load and expertise: with the increase of expertise, students acquire, elaborate, and automate task-relevant cognitive schemata, which decreases the intrinsic load imposed by completing such a task. Therefore, learners with more expertise are able to attain equal or higher levels of performance with less perceived mental effort (cf. Yeo & Neal, 2004). This also implies that learners who gain more knowledge during the learning phase, as a result of a more efficient instruction, should experience less cognitive load when completing test tasks than learners who received a less effective instructional strategy (we can say that, as a result, they learned less).

These results illustrate the importance of relying on measures of test performance not only to draw conclusions about the effects of instructional conditions but also to consider mental effort invested in solving the test problems as an important element of the learning outcomes. Mental effort in combination with performance measures will provide us with a better, more subtle indicator of the quality of learning outcomes, that is, in terms of the efficiency of cognitive schemata acquired, elaborated or automated as a result of instruction, and hence with a better indicator of the quality of different instructional conditions.

According to van Gog and Paas (2008), measuring instructional efficiency conditions by combining performance measure after the training programme with mental effort, is an indicative of expertise (the quality of acquired cognitive structures). Let us reflect on the differences found for the two groups in the instructive efficiency variable, which are represented in the Figure 16 diagrams. We can see that for both reproduction and transfer tests the experimental revealed high scores on instructional efficiency, but these differences are more evident in relation to the variable learning to transfer. Students from the experimental group show high performance with less mental effort in both tests. We believe that these results corroborate the thesis that the use of the 4C/ID-model allowed to design a learning environment that made students of the experimental group more knowledgeable in the electrical circuits problem solving, i.e., the use of this instructional approach allow to minimize the level of intrinsic cognitive load imposed to working memory.

According to 4C/ID-model framework, complex cognitive skills consist of a number of sub-skills, which can be either recurrent or non-recurrent (van Merriënboer, 1997). Recurrent skills are rule-based skills that are learned through the process of rule automation, which involves a vast amount of practice on the same task (Anderson, 1987). Non-recurrent skills are knowledge based skills that are learned through the process of schema construction, which is stimulated by receiving a varied sequence of tasks (Singley & Anderson 1989). These two different skills can both improve the transfer of learning. According to some authors (van Merriënboer 1997), transfer can occur because the learning tasks and the transfer tasks share identical elements: familiar aspects of a task are performed as rule-based tasks, because of the availability of domain-specific rules. But, at the same time, unfamiliar aspects of a task are performed with the help of cognitive schemata. The new task is reorganized in such a way that it can be understood in terms of these cognitive schemata.

Camp, Paas, Rikers and van Merriënboer (2001) proposed that the performance condition in their study, which resulted in much practice on tasks with the same complexity, might have fostered rule automation. On the other hand, the mental effort and instructional efficiency conditions, in which practice was more variable regarding complexity, might have fostered the construction of cognitive schemata. In our study, the task selection algorithm of the mental effort condition led to low-variable practice and, probably, stimulated rule automation. In contrast, the performance and mental efficiency conditions resulted in more variable practice and can be expected to have stimulated the process of schema construction.

In recent years, much has been written about the potential value of employing 4C/ID instructional approach, but little research has been conducted in this area. The present study provides support for the notion that this model may facilitate skill acquisition and transfer. However, a great deal of additional research is necessary in order to determine whether these promising findings hold true across a wide range of cognitive skills and learners. We believe that researchers, who build upon the present study, following the suggestions we have offered, will help provide a richer picture of the benefits of the 4C/ID-model.

The research results presented in this article correspond to a preliminary treatment of all data collected and processed. In the next phase we will make a treatment of inferential statistics and estimate the effect size of the results obtained by the subjects of the two groups. Another aspect that we still treat relates to the analysis of qualitative data we collected (interviews with teachers and classroom observations) that will give us information about students' learning process, in particular about the types of mental schemes acquired by the students.

References

- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Baddeley, A. (1997). *Human memory: theory and practice* (Revised ed.). UK: Psychology Press Ltd, Publishers.
- Branson, R.K., Rayner, G.T., Cox, J.L., Furman, J.P., King, F.J., & Hannum, W.H. (1975). *Interservice Procedures for Instructional Systems Development* (5 vols.). U.S: Army Training and Doctrine Command, Ft. Monroe, VA.
- Camp, G., Paas, F., Rikers, R., & Van Merriënboer, J. J. G. (2001). Dynamic problem selection in air traffic control training: A comparison between performance, mental effort and mental efficiency. *Computers in Human Behavior*, 17, 575–595.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Child, D. (2004). *Psychology and the teacher* (7th ed). London: Continuum International Publishing Group.
- Gagné, R. (1975). *Essential of learning for instruction*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Gagné, R. (1984). Learning outcomes and their effects. Useful categories of human performance. *American Psychologist*, 34, 377-385.
- Gagné, R. (1985). *The conditions of learning* (4th ed). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Hoogveld, A. W. M., Paas, F., & Jochems, W. M. G. (2001). The effects of a web-based training in an instructional systems design approach on teachers' instructional design behavior. *Computer in Human Behaviour*, 17, 363–371.

- Hoogveld, A. W. M., Paas, F., & Jochems, W. M. G. (2003). Application of an instructional systems design approach by teachers in higher education: individual versus team design. *Teaching Teacher Education, 19*, 581–590.
- Kester L, Paul A. Kirschner P.A., & van Merriënboer, J.J. (2005). The management of cognitive load during complex cognitive skill acquisition by means of computer-simulated problem solving. *British Journal of Educational Psychology, 75*, 71–85.
- Kester, L., Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2004) Information presentation and troubleshooting in electrical circuits. *International Journal of Science Education, 26*, 239–256.
- Kester, L., Kirschner, P. A., van Merriënboer, J. J. G., & Baumer, A. (2001). Just-in-time information presentation and the acquisition of complex cognitive skills. *Computers in Human Behavior, 17*, 373–391.
- Lim, J. & Reiser, R. (2006, October). The effects of part-task and whole-task approaches on acquisition and transfer of a complex cognitive skill. Paper presented at the *Association for Educational Communications and Technology (AECT) Annual Convention*, Dallas, USA.
- Maggio, L.A., Cate, O., Irby, D., & O'Brien, B. (2015). Design Evidence-Based Medicine Training to optimize the transfer of skills from the classroom to clinical practice: applying the four component instructional design model. *Academic Medicine, 90*, 1457-1461. doi: 10.1097/ACM.0000000000000769.
- Mayer, R.E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 31-48). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R.E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist, 38*, 43-52.

- Mayer, R.E., Heiser, J., & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology, 93*, 187-198.
- Melo, M., & Miranda, G.L. (2014). Applying the 4C-ID model to the design of a digital educational resource for teaching electric circuits: effects on student achievement. In H. M. Fardoun & J. A. Gallud (Eds.), *Proceedings of the 2014 Workshop on Interaction Design in Educational Environments (IDEE '14)* (pp. 12-18). New York: ACM. doi:10.1145/2643604.2643605 <http://doi.acm.org/10.1145/2643604.2643605>
- Melo, M., & Miranda, G.L. (2016). Efeito do modelo 4C/ID sobre a aquisição e transferência de aprendizagem: revisão de literatura com meta-análise. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, 18*(6), 114-130. doi: <http://dx.doi.org/10.17013/risti.18.114-130>.
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development, 50*(3), 43–59.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 86*, 81-97.
- Miranda, G.L. (2005). Aprendizagem e transferência de conhecimentos. In G.L. Miranda & S. Bahia (Eds.). *Psicologia da Educação: Temas de desenvolvimento, aprendizagem e ensino* (pp. 235-262). Lisboa: Relógio d'Água Editores, Lisboa.
- Nadolski, R. J., Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2005). Optimizing the number of steps in learning tasks for complex skills. *British Journal of Educational Psychology, 75*, 223–237.
- Nadolski, R. J., Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2006). Process support in learning tasks for acquiring complex cognitive skills in the domain of law. *Learning and Instruction, 16*, 266–278.

- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology, 84*, 429–434
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors, 35*, 737-743.
- Paivio, A. (2006a, September). *Dual coding theory and education*. Draft Chapter for the Conference on Pathways to Literacy Achievement for High Poverty Children on the The University of Michigan School of Education.
- Paivio, A. (2006b). *Mind and its evolution: a dual coding theoretical interpretation*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Reigeluth, C.M. (Ed.) (1983). *Instructional-design theories and models: an overview of their current status*. NJ: Erlbaum, Hillsdale.
- Reigeluth, C.M. (Ed.) (1987). *Instructional-design theories in action: lessons illustrating selected theories and models*. NJ: Erlbaum, Hillsdale.
- Reiser, R.A. (2001). A history of instructional design and technology: Part II: A history of instructional design. *Educational Technology Research and Development, 49*(2), 57-67.
- Salden, R. J. C. N., Paas, F., van der Pal, J., & van Merriënboer, J. J. (2006). Dynamic task selection in flight management system training. *The International Journal of Aviation Psychology, 16*(2), 157-174.
- Sarfo, F. K. & Elen, J. (2005). Powerful learning environments and the development of technical expertise in Ghana: Investigating the moderating effect of instructional conceptions. In P. Goodyear, D. G. Sampson, D. J.T. Yang Kinshuk, T. Okamoto, R. Hartley, and N.S. Chen (Eds.) *Proceedings of the 5th IEEE International Conference*

- on Advanced Learning Technologies (ICALT'2005)* (pp. 1000-1004), Kaohsiung, Taiwan.
- Singley, M.K. & Anderson, J.R. (Eds). (1989). *The transfer of cognitive skills*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Skinner, B. (1954). The science of learning and the art of teaching. *Harvard Educational Review*, XXIV(1), 86-97.
- Skinner, B. (1968). *The technology of teaching*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Susilo, A.P., van Merriënboer J.J., van Dalen J., Claramita, M., & Scherpbie, A, From Lecture to Learning Tasks: Use of the 4C/ID Model in a Communication Skills Course in a Continuing Professional Education Context. *Journal of Continuing Education Nursing*, 44(6):278-284.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., & Paas, F.G.W.C. (1988). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychological Review*, 10, 251-296.
- Van Gog, T., & Paas, F. (2008) Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26, DOI: 10.1080/00461520701756248.
- Van Merriënboer, J. J. G., Clark, R. E., & de Croock, M. B. M. (2002). Blueprints for complex learning: The 4C/ID-Model. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 39–64.
- Van Merriënboer, J.J.G. (1997). *Training complex cognitive skills: a four-component instructional design model for technical training*. Englewood Cliffs, New Jersey: Educational Technology Publications.
- Van Merriënboer, J.J.G., & Kester, L. (2005). The four-component instructional design model: Multimedia principles in environments for complex learning. In R.E. Mayer

(Ed.) *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 71-93). New York: Cambridge University Press.

Wertheimer, M. (1945). *Productive Thinking*. New York: Harper.

Wilson, B. G., Jonassen, D. H., & Cole, P. (1993). Cognitive approaches to instructional design. In G. M. Piskurich (Ed.). *The ASTD Handbook of Instructional Technology* (pp. 21.1-21.22). New York: McGraw-Hill.

Wilson, B., Cole, P. A. (2001). Review of cognitive teaching models. *Educational Technology Research and Development*, 39(4), 47-64.

Yeo, G. B., & Neal, A. (2004). A multilevel analysis of effort, practice, and performance: Effects of ability, conscientiousness, and goal orientation. *Journal of Applied Psychology*, 89, 231–247.

III.2 - Learning electric circuits: The effects of the 4C-ID instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge*

Abstract

This study was designed to investigate the effects of two instructional approaches (4C-ID versus conventional) on learners' knowledge-acquisition and learning transfer of the electrical circuits content in Physics. Participants were 129 9th graders from a secondary school in Lisbon, $M = 14.3$ years $SD = 0.54$. The participants were divided in two groups: an experimental group constituted by 3 intact classes ($n = 78$) and a control group constituted by 2 intact classes ($n = 51$). The experimental group was taught using a digital learning environment designed with the 4C-ID model principles while the control group learned the same contents through a conventional method. We assessed the students' performance (knowledge-acquisition and transfer), the perceived cognitive load and the instructional efficiency. Results indicated that the experimental group performed significantly better than the control group on a knowledge-acquisition test and in a learning transfer test. They also perceived a less cognitive load in the transfer test and the learning environment developed with the 4C-ID model proved to be more instructional efficient than the conventional method.

Keywords: 4C-ID model, complex learning, electrical circuits, learning tasks, learning transfer.

* Melo, M., & Miranda, G.L. (2015). The Effects of the 4C-ID instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge. *Journal of Information Technology Education: Research*, 14, 313-337. <http://www.jite.org/documents/Vol14/JITEv14ResearchP313-337Melo1752.pdf> (SJR-SCImago Q2 Education and E-learning, Q1 Computer Science, em 2015)

Introduction

A major goal of schooling is to prepare students for flexible adaptation to new problems and settings. The psychologist Robert Gagné (1970) states that the capabilities learned in school must provide students with the background and skills to accomplish things in their personal and professional lives. This would be more easily achieved if educational programs were developed to train the ability to transfer what students learn in one context to other contexts.

However, while transfer is a key component of learning and appears to be a natural process, experimental research has shown that it is not a spontaneous phenomenon and it is difficult to put into evidence (cf. Gick & Holyoak, 1983; Bassok, 1990), especially when the tasks to be learned are complex, as are most of the ones learned in school (Resnick & Collins, 1996; Perkins & Salomon, 1992; Salomon & Perkins, 1989). It is relevant to clarify that a complex task involves a complex learning, which includes the integration of knowledge, skills and attitudes. The term complex should not assign the connotation of complicated or difficult, since these concepts involve performing tasks with difficult resolution, while the concept complex, in the context of learning, refers to the integration of acquired (and new) knowledge, skills and attitudes about a particular area of study (e.g. sciences, information technology, law, etc.) (cf. Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). This does not mean that these complex tasks are difficult to solve. The complexity of a task emerges from the components students must integrate and not from something that is difficult to do, understand, or deal with.

The concept of learning transfer, which emerged in the context of the first experimental studies on animal and basic human learning (cf. Pavlov, 1927, 2003; Skinner, 1953/1965) and also in school learning (cf. Thorndike & Woodworth, 1901), was not consensual (cf. Dewey, 1916) and continues not to be so (cf. Greeno, 1997; Packer, 2001).

In the early twentieth century, Thorndike & Woodworth (1901) developed the ‘theory of identical elements’, which stated that what was transferred were specific facts and skills, not general principles and this only occurs when the situation to which it is applied is similar to the initial learning context. Dewey (1916) states this concept has little or even no utility to school learning, a position that is agreed upon today by the contextual or situated approach to learning and cognition (cf. Greeno, 1997; Greeno, Collins & Resnick, 1996; Lave & Wenger, 1995; Rogoff & Chavajay, 1995).

The concept of similarity also turned up to be more complex than it was supposed to be by the time of Thorndike & Woodworth (cf. Smith, 1993; Vosniadou & Ortony, 1989). When do we say that two tasks or problems are similar? When they have identical surface characteristics or when they have identical solution schemas? Research in cognitive Psychology has shown that the novices in a given knowledge domain (chess, Physics or Mathematics) considered that two problems are identical when they have similar surface characteristics; on the contrary, experts classify them according to the solution schemes (Bransford, Brown & Cocking, 2000; Chi, Glaser, & Rees, 1982; Simon, 1982).

Learning is, to this framework (Anderson, 1983), the acquisition and compilation of mental schemas, some of which have become automatic. It is useful to the human being to acquire automatic processes, but it is also very important to develop a conscious control of mental processes and an analytical knowledge, which are present in complex learning (cf. Salomon & Perkins, 1989) and in the upper unique physiological processes of the human species (cf. Vygostsky 1984).

Salomon and Perkins (1989) refers two kinds of transfer: the low-road transfer and the high road transfer and the mechanisms that promote each one: “The triggering of well-practiced routines by stimulus conditions similar to those in the learning context” (Perkins & Salomon, 1992, ¶. 1) for the first one; and the ‘mindful abstraction’ and the search for

connections for the second. People must use certain types of mental processes to reach this kind of abstraction, including re-presenting the information in a more general sense that includes other cases. The abstraction has the form of a rule, a principle, a schematic pattern, a prototype or a category (Salomon & Perkins, 1989). And these processes must be carried out voluntarily and in a controlled manner, that is, requiring deliberate and conscious effort, typical of metacognition and deep processing (cf. Kintsch, 1977).

These research results are due to experimental studies and some of them were conducted out of natural learning contexts.

During the last decades there has also been a body of research that has shown it is possible to teach students to transfer. This requires the learning environment to be explicitly designed to promote the transfer, considering positively the two groups of variables responsible for it: one associated to the students' characteristics and the other to the learning tasks.

In the first case, it is advised to develop students' skills associated with metacognition (Brown, 1978, 1987; Brown & Campione, 1981, 1986), mainly a 'deliberate effortful abstraction and a search for connections' (Perkins & Salomon, 1992, ¶ 1). In the second case, it is recommended to develop tasks that promote the decontextualization of skills to be acquired.

In a simple but not simplistic way, we can say that the real problem of transfer may be in the way students acquire the skills and knowledge, and in teaching methods. Or, as Mendelsohn argues (1994, p. 9), "the real question of transfer may be, on one hand, the adequacy between the quality and content of the knowledge taught, and on the other, the constraints of the different domains where these skills are likely to be applied". The same author also states that what we call transfer may be a value judgment about the availability, degree of generality, or accessibility of acquired knowledge. These qualities allow us to

control and adapt the acquired knowledge to different contexts and situation in a flexible way.

One way to promote the learning transfer is to use the instructional design (ID), the practice of creating instructional experiences which make the acquisition of knowledge and skill more efficient, effective, and appealing. In fact, the ID is more than just procedures, it involves theory (instructional design theories). An ID theory offers explicit guidance on how to better help people to learn and develop (cf. Bruner, 1960, 1965, 1966; Carey, Barey & Dick, 2005; Dick, Carey & Carey, 2001; Gagné, 1970, 1974, 1985; Mayer, 2005). The major characteristics of an ID theory are: 1) design-oriented (focusing on means to attain given goals for learning or development), rather than description oriented (focusing on the results of given events). Consequently, it is very useful to educators, because it provides direct guidance on how to achieve their goals; 2) identifies methods of instruction (ways to support and facilitate learning), and the situations in which those methods should and should not be used; 3) the methods of instruction can be broken into more detailed component methods, which provide more guidance to educators; 4) the methods are probabilistic rather than deterministic, which means they increase the chances of attaining the goals rather than ensuring attainment of the goals (cf. Reiser, 2001a; Reiser, 2001b; Willis, 2009; Wilson, Joanassen & Cole, 1993).

Therefore, we can say that ID is a creative pattern on rational, logical sequential process intended to solve problems. Another key element of our research is to train students for problem solving ability, using the principles of the Four Components Instructional Design Model (4C-ID), which will be described in more detail in the next section.

We chose the electrical circuit theme because it is part of physics syllabus and its acquisition process involves complex learning, i.e., the integration of knowledge about

contents related to electrical circuits and the development of skills connected to problem solving abilities (on the electrical circuits analysis).

Recent instructional theories tend to focus on authentic and whole learning tasks that require learners to address real-world problems as the driving force for learning transfer (Merrill, 2002, 2007; van Merriënboer & Kirschner, 2001). The main idea is that such tasks help learners to integrate the knowledge, skills, and attitudes necessary for effective task performance; give them the opportunity to learn to coordinate the constituent skills that make up complex task performance; and eventually enable them to transfer what is learned to their daily life or work settings (van Merriënboer & de Croock, 1992).

Even though several instructional approaches and models that focus on whole learning tasks have been proposed, little empirical evidence exists with regard to the effects of the application of these whole-task approaches on the acquisition and transfer of complex cognitive skills.

The primary purpose of this study was to investigate how one particular whole-task approach (developed within the 4C-ID model by van Merriënboer in 1997, as compared to the use of a conventional instructional methodology), would affect learner acquisition and transfer of a complex task: to solve problems of basic electrical circuits.

Theoretical Framework – the 4C/ID-Model

The Model Background

The instructional design model which has major implications for the improvement of problem solving instructional design is the Four Component Instructional Design (4C-ID) theoretical model. This model, developed by van Merriënboer in the late 1990s, has proved to be effective for training and promoting better transfer performance with complex skills (van

Merriënboer, Jelsma & Paas, 1992; van Merriënboer, 1997; van Merriënboer, Clark & de Croock, 2002; van Merriënboer & Kirschner, 2007). The 4C-ID theoretical model takes into account current knowledge of human cognitive architecture, the limitations of Working Memory, and the three types of cognitive load (e.g. intrinsic, germane, and extraneous). According to the 4C-ID model, well designed environments for training complex skills consist of four interrelated components: (1) learning tasks, (2) supportive information, (3) procedural information, and (4) part-task practice. Each of these components is described below.

(1) *Learning tasks*. Are the key component of the 4C-ID model. According to this model, in order to promote the construction of cognitive schemata and enable learners to achieve a desired learning goal, they should be provided with tasks that are concrete, authentic and meaningful whole-task experiences. Ideally, these learning tasks should require learners to integrate and coordinate many constituent skills of a complex cognitive skill. By doing so, the model states that this will promote better understanding (i.e., schema construction) of the desired goal. The 4C-ID model recommends the learning tasks to be sequenced from the simplest to the most complex, and that learners receive more support on initial tasks.

Commonly recommended types of support include worked examples, completion tasks where learners are presented with a problem and partial solutions to complete, and faded guidance, where learners are initially provided with support (that is gradually faded out as learner expertise increases) (van Merriënboer & Kester, 2005).

(2) *Supportive information*. This component provides information that describes how tasks should be organized and how problems should be approached. In other words, the purpose of supportive information is to help learners build connections between what they already know and information that would be helpful to successfully accomplish learning tasks. According to van Merriënboer (1997), supportive information consists of three parts: Domain models

(i.e. conceptual, structural, and causal models), which answer questions such as — “what is this?”, - “how is this organized?”, and — “how does it work?”; Systematic Approaches to Problem solving (SAPs), such as examples that show how an expert would perform and explain the processes of completing a task; and cognitive feedback, in which learners are asked to compare their solutions with those of experts. It has been found that in a first stage, supportive information is crucial because it enables learners to reach a goal or action not achievable without that support. However, as the learner achieves higher levels of competency, it is suggested that the support is gradually diminished until it is no longer needed. Research shows that it is critical to determine the right type and amount of support, and for it to fade at the appropriate time, because too much or too little support can hamper the learning process (van Merriënboer, Kirschner & Kester, 2003).

(3) The third component of the 4C-ID model consists of the *procedural information*. This component provides information for recurrent constituent skills of learning tasks which are routine, usually presented in the form of step-by-step. According to this model, it is preferable that procedural information on domain-specific rules is presented in a just in time manner. That is, procedural information should be presented to learners precisely at the time when it is needed, and only presented again if learners cannot recall it (van Merriënboer, 1997; van Merriënboer & Kirschner, 2007). The 4C-ID model argues that, by presenting procedural information only when it is needed, temporal split attention effects can be prevented.

(4) The fourth component of the 4C-ID model is the *part-task practice*. This model recommends that part-task practice is provided for recurrent constituent skills for which automaticity is desired. This model states that part-task practice should begin only after the learner has practiced performing the whole task in order to ensure that the learner performs practice activities within a context that is meaningful to the learner (van Merriënboer, 1997;

van Merriënboer & Kirschner, 2007). Optimally, it is recommended that part-task practice is intermixed with learning tasks, instead of being presented in isolation. Previous research has indicated that the part-task strategy is effective in lowering the cognitive load of students, specifically for those with low prior knowledge. By contrast, students with higher prior knowledge learned significantly more by studying whole tasks than part-tasks (Ayres, 2006).

In summary, there are many reasons why the 4C-ID approach has been hypothesized and shown to promote better transfer performance on complex skills. By emphasizing whole-task practice, this model focuses on the integration and coordination of all constituent skills of a complex cognitive skill, while simultaneously promoting understanding (i.e., schema construction) of the complex skill. By doing so, this model emphasizes the ability to apply the complex cognitive skill in a wide variety of new real-life situations (van Merriënboer, 1997; van Merriënboer & Kirschner, 2007). In addition, the 4C-ID approach has been shown to better promote learning transfer due to task variability. High variability of whole-task practice enables learners to develop rich cognitive schemata, which allows for schema-based learning transfer (cf. Paas & van Merriënboer, 1994; Quilici & Mayer 1996; Schilling, Vidal, Ployhart & Marangoni, 2003; van Merriënboer, Kester & Paas, 2006).

Literature Review

There are few research studies whose main goal has been to test the effectiveness of the 4C-ID model, particularly in domains taught in schools, because this model was first tested in certain domains of professional training.

In the early years of our century, there were some studies designed to test the effectiveness of the 4C-ID model in the professional training area. For example, Hoogved, Paas and Jochems (2001, 2003) studied the effectiveness of the 4C-ID model as an

instructional system design approach to designing a teacher training program in the medical domain. In the first research, they compared two groups of teachers: one was trained to use the 4C-ID model to design instruction, and the other was trained to optimize its own design approach. After the training phase, the design quality of their educational products was measured by experts. It was found that teachers trained to use the 4C-ID model developed qualitatively better designs than the other teachers. The second study investigated whether teams or individuals benefited more from a 4C-ID approach to designing competence-based education. It was found that low achievers benefited more from the 4C-ID model when they were working in teams, but high achievers worked as well in teams as individually.

In the law area, Nadolski, Kirschner and van Merriënboer (2005) investigated the relation between the number of steps provided to learners and the quality of their learning of complex skills. It is hypothesized that students receiving an optimized number of steps will learn better than those receiving either the whole task in only one step, or those receiving it on a large number of steps. They varied the number of phases (one, four and nine) of the whole task to determine the optimal balance between the advantages of whole-task practice and the disadvantages of cognitive overload caused by whole tasks that are too complex for learners. The results of this study showed that the participants exposed to an intermediate (i.e. four phases) number of steps outperformed (measured by the combination of practice-product quality and invested mental effort) all others on the compulsory learning task. No differences in performance of learning transfer task were found. A high number of steps proved to be less efficient for carrying out the learning task. The authors confirmed this conclusion with the results obtained in a follow-up study conducted in 2006.

In the technical school domains, Sarfo and Elen (2005, 2006) developed a study whose main goal was to investigate the effectiveness (measured by the learning gain) of learning environments, developed with the specifications of the 4C-ID model (with and

without ICT use) for the development of technical expertise in traditional Ghanaian classrooms. Three functionally equivalent classes of students from three similar technical secondary schools were randomly exposed to three different treatments. The sample consisted of 129 students. The experimental groups consisted of one control group with a regular method of teaching, and two experimental groups: a 4C-ID learning environment with ICT; and a 4C-ID learning environment without ICT. The content for the treatments was selected from the secondary technical education syllabus. Teachers were trained to implement the interventions. Results indicated that a 4C-ID learning environment promotes the development of technical expertise in secondary technical education better than with a conventional method. Moreover, results revealed no significant difference in learning gains for the 4C-ID, between the groups with and without ICT.

Kester, Kirschner and van Merriënboer, (2005) compared the effects of two information presentation formats on learning to solve problems in electrical circuits with software Crocodile Physics®. In one condition (the split-source format), information relating to procedural aspects of the functioning of an electrical circuit was not integrated in a circuit diagram, in the other information in the integrated format condition was integrated in the circuit diagram. It was hypothesized that learners in the integrated format would achieve better test results than the learners in the split-source format. Equivalent-test problem and transfer-test problem performance were studied. Transfer test scores confirmed the hypothesis.

Lim and Reiser (2009) compared the effects of the 4C/ID whole-task training and part-task training on the acquisition and transfer of a complex cognitive skill for novices and advanced learners. They found that both novices and advanced learners achieved better whole-task performance and better transfer performance if they received the 4C-ID whole-task training.

These results show that the 4C-ID model has potential to promote the acquisition and transfer of knowledge, especially in the areas of vocational education and technical fields. It needs now to prove its effectiveness in teaching and learning in school subject matters in compulsory education. Our study was designed with this purpose.

Research Questions and Hypothesis

The primary purpose of our study was to investigate the effects of two instructional approaches, 4C-ID versus conventional, on acquisition and transfer of complex skills used to solve electrical circuits problems. This subject is part of the Physics syllabus for the 9th grade compulsory education. In addition, we also researched the effects of these variables on learners' cognitive load and the instructional efficiency of this model. The specific research questions and the corresponding hypotheses are described below.

What are the comparative effects of the two approaches (4C-ID versus conventional) on: a) knowledge acquisition in an electrical circuits context (learning reproduction); b) learning transfer; c) perceived cognitive load during the knowledge acquisition (reproduction) and transfer tests; and d) instructional efficiency (both reproduction and transfer). The following hypotheses were formulated:

Hypothesis 1: Learners in the 4C-ID approach will perform better on a knowledge-acquisition test than learners in the conventional approach.

Hypothesis 2: Learners in the 4C-ID approach will perform better on a transfer test than learners in the conventional approach.

Hypothesis 3: Learners in the 4C-ID approach will show a lower perceived cognitive load during the knowledge-acquisition test than learners in the conventional approach.

Hypothesis 4: Learners in the 4C-ID approach will show a lower perceived cognitive load during the transfer test than learners in the conventional approach.

Hypothesis 5: The 4C-ID instructional approach will result in a higher level of instructional efficiency in the knowledge-acquisition test than the conventional approach.

Hypothesis 6: The 4C-ID instructional approach will result in a higher level of instructional efficiency in the transfer test than the conventional approach.

Method

Participants

A total of 129, 9th grade students from a Lisbon private school (average age = 14.3 years, SD = 0.54) participated in the study. The experimental group was constituted by three intact classes (78 students), and the control group was constituted by two intact classes (51 students). In the school, the 9th grade students were distributed in five classes in which Physics was taught by three teachers. To form the experimental and control groups we used the following criteria: Teacher A taught an experimental group, and teachers B and C taught an experimental group and a control group each. The learners participated in the study during their regularly scheduled classes. The three teachers received training about the essential learning objectives regarding the electrical circuits' topic.

Independent variable

For both groups, the teaching of the theme "Electrical circuits" consisted of two 90 minute lessons. The choice of the theme of electrical circuits has two main motivations: first, it is an issue that involves the integration of various skills such as interpreting, analysing and

designing electrical circuits (complex skills); second, it is the first time in this education cycle that the theme is trained in Physics, so it does not require relevant prior knowledge to their learning. For this purpose, we constructed a digital environment developed with Adobe Flash® CS3 Professional.

A set of three class tasks (see Figure 17) was designed for the 4C-ID approach:

- *Learning class 1* focused on the concepts of electrical current and potential difference.

Before starting the learning tasks, students had to observe a video (supportive information) with an explanation of the concepts of electric current direction and potential difference.

After that, students had to follow a set of three learning tasks (T1, T2 and T3) corresponding to a solved example (T1), a partially solved exercise (T2), and a whole task to be solved without help (T3);

- *Learning class 2* centred on the ability to design an electrical circuit diagram. In this learning class, the supportive information focused on symbology used for the construction of electrical circuit diagrams. Then the students had to perform a sequence of six learning tasks (T1 ... T6) in which they had to identify symbols of electronic components. The first three tasks corresponded to solved and partially solved examples and exercises; the last three tasks had to be solved without help;

- *Learning class 3* focused on the concepts of serial and parallel association of lamps. In this learning class, the supportive information focused on the main features of an association in series and in parallel. Learning tasks are organized in worked examples (T1 - T3), partially solved examples (T4 - T6) and practical exercises (T7 - T16).

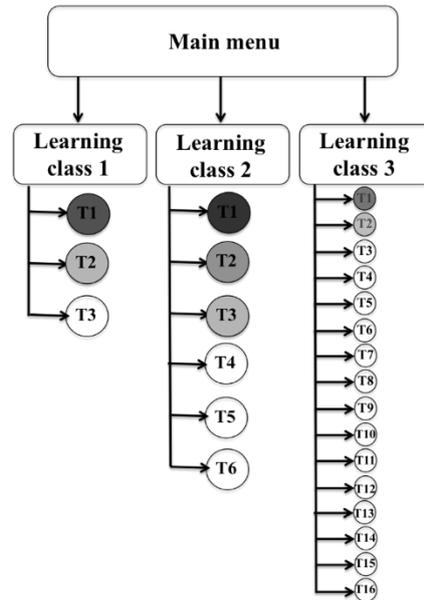


Figure 17. The structure of the learning environment (Melo & Miranda, 2014).

Figures 18 and 19 show a screen shot of two learning tasks of digital learning environment used by the experimental group. All pages have the same structure: supportive information button, a home page access button, and a bar indicating the tasks realized and unrealized. The different learning tasks were presented in the form of completion of items, true and false items (see Figure 18), and drag and drop items (see Figure 19).

Figure 18. Screen shot of a true and false item in a learning task.

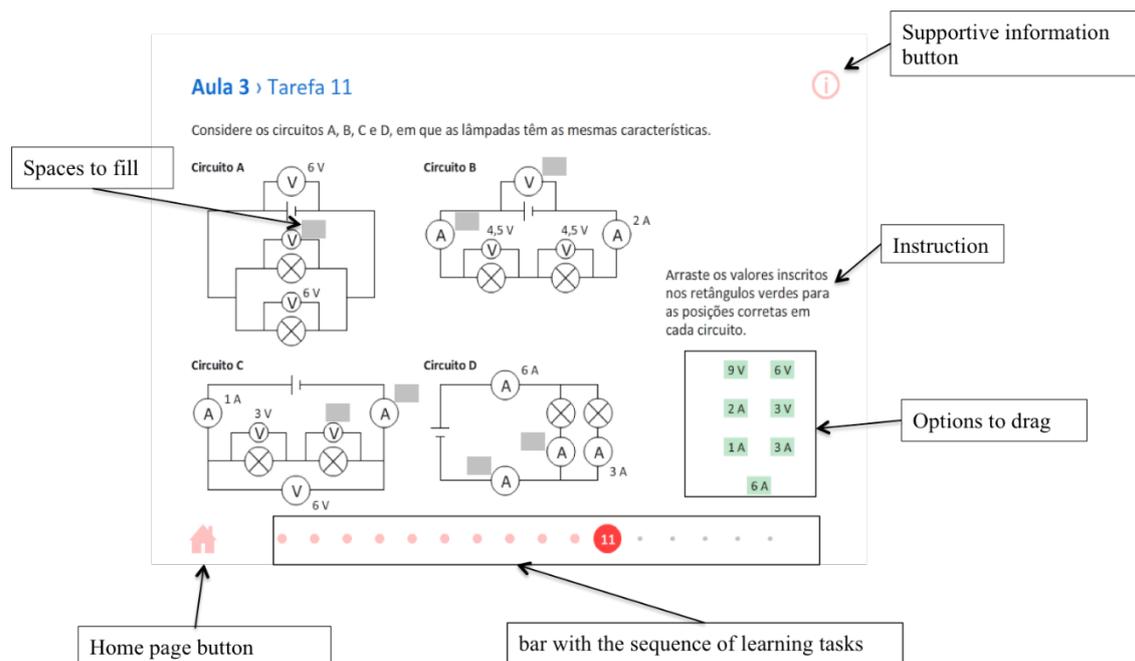


Figure 19. Screen shot of a drag and drop item in a learning task.

The physical content covered in the digital learning environment has been submitted and validated by a panel of experts in the field of Physics teaching. The application part of the related graphic and multimedia design was also subjected and validated by a set of experts in the design and development of instructional materials with multimedia support.

In the conventional approach, the same contents were taught based on the traditional method, that is, teacher lecturing combined with exercises, similar to the 4C-ID application, but using pencils, paper, and calculators. At the beginning of each lesson, the teacher makes a presentation of the subject under study using the blackboard and/or the MS PowerPoint®.

After this, students have to solve a set of manual exercises on the theme of the lesson. During this resolution task, students can ask the teacher for cognitive and corrective feedback.

The differences between the two approaches may be summarized as follows:

1) *The way the instructional material was presented.* In the conventional approach, during both lessons, the teacher demonstrated each of the part-task skills learners were expected to acquire. In contrast, in the 4C-ID approach, instead of demonstrating the part-task skills out

of the context of the learning class, the teacher provided a model on how the students should solve the problem as a whole (to create a simple overview of how to analyse a circuit with multiple components);

2) *Student practice activities*. In the conventional approach, the practical activities required learners to focus on aspects related with part-task skills. As each skill was being demonstrated, students were given practical problems, which required them to evince each skill separately. In contrast, all practical activities in the 4C-ID approach required learners to analyse the principal properties of an electrical circuit with different components. During both lessons, the students had to study circuit diagrams by following the demonstration (supportive information) and to solve a whole completion problem. Throughout these activities, supportive information was provided for the acquisition of non-recurrent skills, and procedural information was provided for the acquisition of recurrent skills.

Dependent Variables

Knowledge acquisition.

The acquisition of knowledge on electrical circuits by the learners, after the instructional unit, was measured by an achievement test. This test required them to perform 14 items. All items responses were classified as right (1 point) or wrong (0 points). The classification obtained by each student could range between 0 and 14 points.

The reliabilities for the knowledge achievement test were calculated using the standardized Cronbach alpha and resulted in reliability indices of 0.96 and 0.97 for the first applications tests and for the follow-up, respectively. According to Peterson (1994), alpha should be 0.70 or higher for a set of items to be considered an adequate measure; so we can consider these instruments to be able to measure the values of learning acquisition.

Learning transfer.

The ability to transfer the acquired knowledge was measured by a transfer test composed of a set of 14 items (with situations where the knowledge acquired about electrical circuits could be applied to new situations). As in the achievement test, items were classified as right (1 point) or wrong (points), so the test results ranged between 0 and 14 points.

In figure 20, we present an item of the transfer test that illustrates how the learning transferability was tested.

In the circuit of figure 3, R is an electric resistance, and L_1 and L_2 are two identical lamps. In this circuit:

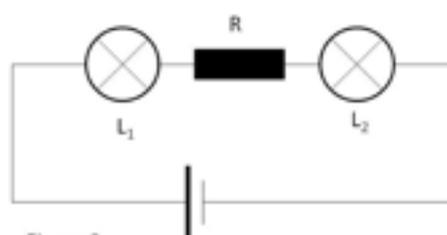


Figure 3

- (A) L_1 and L_2 have the same brightness.
- (B) L_1 is brighter than L_2 .
- (C) L_2 is brighter than L_1 .

Figure 20. Transfer test item.

In this item it is intended that students apply the knowledge-acquired on characteristics of an association in series (electric current is constant at all points of the circuit) applied to a circuit with different receptors: in this case bulb lamps and electric resistance. The student will have to consider that resistance is a receptor similar to the bulb lamp, because they convert electrical into internal energy and not only into light energy, so it does not affect the value of the electric current in any of the points of the circuit (which is one of the characteristics of this type of association).

The reliabilities for the transfer test were also calculated using the standardized Cronbach alpha and resulted in reliability indices of 0.95 for both the first application and the follow-up.

Cognitive load.

Perceived cognitive load was measured by using a single student self-rating scale item developed by Paas and van Merriënboer (1993). The scale asked the participants to use a nine-point Likert-type scale to identify the amount of mental effort that they invested to perform an assigned task. The cognitive load measures ranged from 1 (very, very low mental effort) to 9 (very, very high mental effort). The rating-scale was administered after the learner had completed each of the two achievement tests.

The reliabilities for the perceived cognitive load were calculated using the Cronbach alpha and resulted in reliability indices of 0.90 and 0.93 for the first applications tests and 0.97 and 0.96 for the follow-up application.

Instructional efficiency.

The instructional efficiency values (E) on each test were computed by the formula:

$$E = \frac{P-M}{\sqrt{2}} (1)$$

(where P is Performance z-score and M is Cognitive Load z-score), and the E values are directly related to the performance score (e.g., knowledge acquisition test and transfer test). Observing formula (1), it appears that if P and M scores are equal, the efficiency is null (E = 0). If the P score is higher than the M score, the instructional efficiency is positive (higher performance in relation to less invested mental effort) and if the P score is lower than the M score, the instructional efficiency is negative (lower performance in relation to more invested mental effort).

Experimental Procedure

The research design used for this study was quasi-experimental in nature due to the assignment of intact groups to experimental conditions. Figure 21 shows an overview of the procedure for this study.

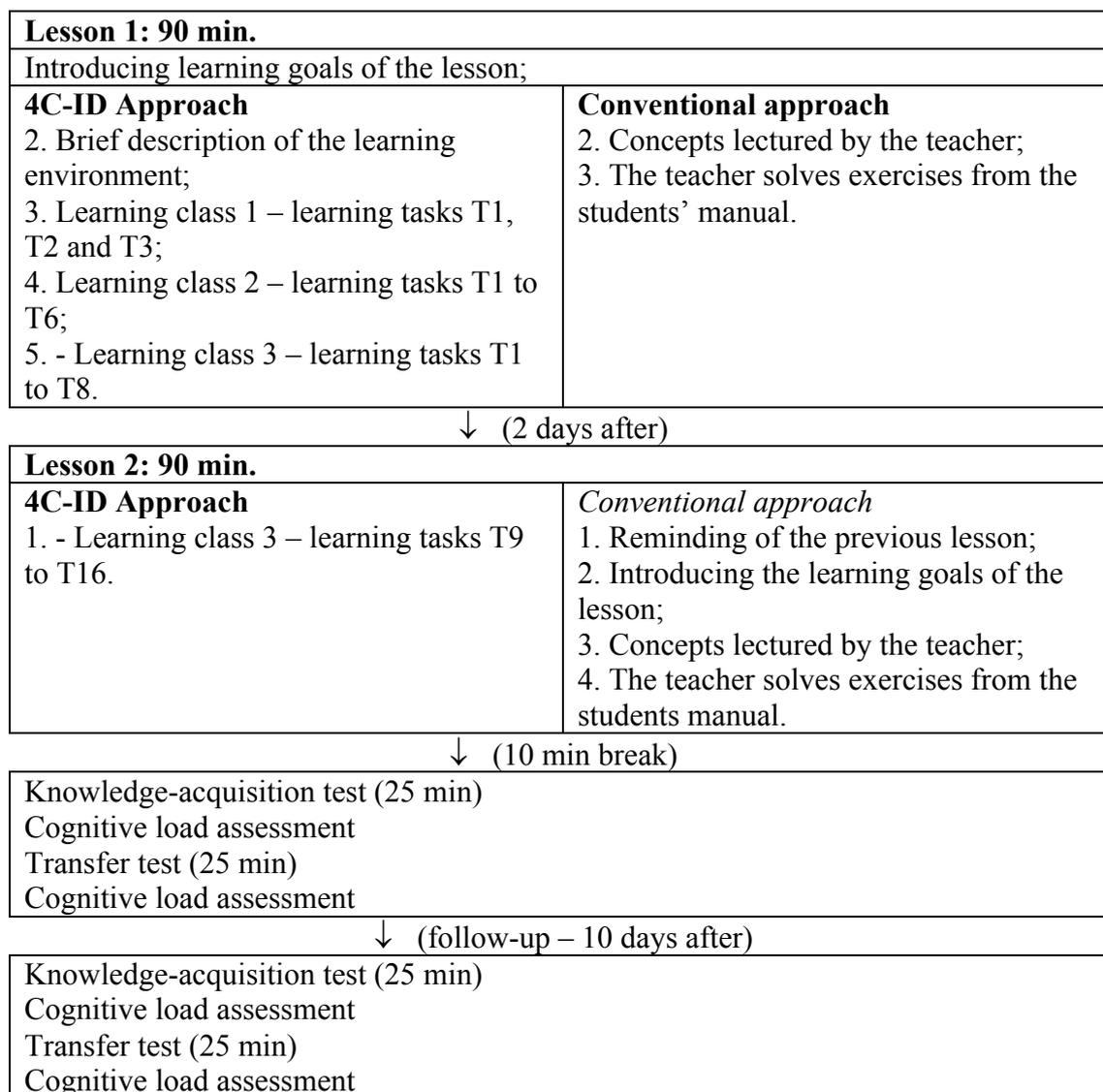


Figure 21. An overview of the procedure.

It is important to note that the lessons of the experimental group took place in a classroom in which each student had his/her computer with headphones. Students in this group were free to consult the supportive information and to read more than once the information generated by the cognitive and corrective feedback system. In each of these

classes the teacher simply clarified technical issues related to the Adobe Flash® application Electrical Circuits.

Results

Achievement Tests (Knowledge Acquiring and Learning Transfer)

As shown in table 10 both groups performed fairly well on the knowledge acquisition test (mean scores were 87% and 81% for the experimental group; 87% and 77% for the control group). The experimental group (80% and 82%) got higher ratings in the learning transfer test compared with the control group (63% and 64%).

Table 10

Means and standard deviations of the achievement variables (knowledge acquiring and learning transfer).

Dependent measures	Experimental group n = 78 M (SD)		Control group n = 51 M (SD)	
	1st application	Follow-up	1st application	Follow-up
Knowledge acquisition test ^a	12.2 (1.6)	12.2 (1.4)	11.4 (2.1)	10.8 (2.1)
Transfer test ^a	11.2 (1.9)	11.5 (1.6)	8.8 (2.6)	8.9 (2.2)

^a maximum possible score was 14 points.

To examine differences between the two groups on the knowledge acquisition test and on the transfer test, we conducted the Kruskal-Wallis test as an alternative to one-way analysis of variance (ANOVA), because these two variables didn't have a normal distribution and homogeneous variances as was proved by the Kolmogorov-Smirnov (KS) and Levene tests (see results in the appendix). The Kruskal-Wallis test revealed a significant overall main effect for the distribution results in the knowledge acquiring test for the experimental group

for the first application ($\chi^2(1) = 4.22$, $N = 129$, $p = 0.040$) and for the follow-up ($\chi^2(1) = 16.73$, $N = 129$, $p = 0.000$). The effect size estimate was $d = + 0.41$ (first application) and $d = + 0.82$ (follow-up), indicating a moderately strong effect (Cohen, 1988).

With respect to the learning transfer test, the Kruskal-Wallis test showed a significant overall main effect for the distribution results in this test, for the first application ($\chi^2(1) = 26.06$, $N = 129$, $p = 0.000$) and the follow-up ($\chi^2(1) = 139.67$, $N = 129$, $p = 0.000$). The effect size estimate was $d = + 1.10$ (first application) and $d = + 1.39$ (follow-up), indicating a strong effect.

Perceived Cognitive Load

Table 11 presents the mean values for the variable perceived cognitive load measured after the knowledge acquisition test and after the transfer test. Overall, we can see that in terms of knowledge acquisition the variability between the two groups is very low. However, with regard to the transfer of learning we can observe that the difference between the two groups is stronger, (e.g. the students in the control group made a higher mental effort).

Table 11

Means and standard deviations of dependent variable perceived cognitive load for the achievement tests.

Dependent measures	Experimental group n = 78 M (SD)		Control group n = 51 M (SD)	
	1st application	Follow-up	1st application	Follow-up
Perceived cognitive load ^a (knowledge acquisition test)	2.8 (0.7)	2.5 (0.9)	2.9 (1.2)	2.4 (1.0)
Perceived cognitive load ^a (transfer test)	2.6 (1.1)	2.7 (1.1)	4.2 (1.5)	3.5 (1.3)

^a nine point scale.

Given that the variable perceived cognitive load respects the normal distribution and homogeneity principles (see appendix), we conducted the one-way ANOVA test to examine the differences between the two groups.

The results of one-way ANOVA test showed no significant differences in the perceived cognitive load measured after the knowledge acquisition test ($F(1,127) = 0.766$, $p = 0.383$, $\eta^2 = 0.006$ for the first application test and $F(1,127) = 0.967$, $p = 0.327$, $\eta^2 = 0.008$ for the follow-up). With respect to the perceived cognitive load measure after the learning transfer test the one-way ANOVA results showed that differences between the groups were statistically significant ($F(1,127) = 44.337$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.259$ for the first application test and $F(1,127) = 12.298$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.088$ for the follow-up). We also calculated the effect sizes for the perceived cognitive load variable measured after the knowledge acquisition ($d = + 0.16$ for the first application and $d = + 0.18$ for the follow-up) and after the learning transfer test ($d = + 1.20$ for the first application and $d = + 0.38$ for the follow-up).

Instructional Efficiency

Table 12 shows the results obtained on instructional efficiency in the knowledge acquisition and transfer tests, respectively by the experimental group and the control group. Figure 22 displays the distribution of this variable around line $E = 0$ for both groups in the first and follow-up applications. We can observe that the results obtained by the subjects in the experimental group correspond to greater efficiency (a better performance with less mental effort) in terms of reproduction of knowledge and learning transfer.

Table 12

Means and standard deviations of the instructional efficiency variable obtained in the achievement tests.

Dependent measures	Experimental group n = 78 M (SD)		Control group n = 51 M (SD)	
	1st application	Follow-up	1st application	Follow-up
Instructional efficiency (knowledge acquisition test)	+ 0.48 (0.94)	+ 0.48 (0.82)	+ 0.028 (1.1)	- 0.57 (0.99)
Instructional efficiency (transfer test)	+ 0.55 (0.90)	+ 0.42 (0.80)	- 0.41 (1.01)	- 0.25 (0.76)

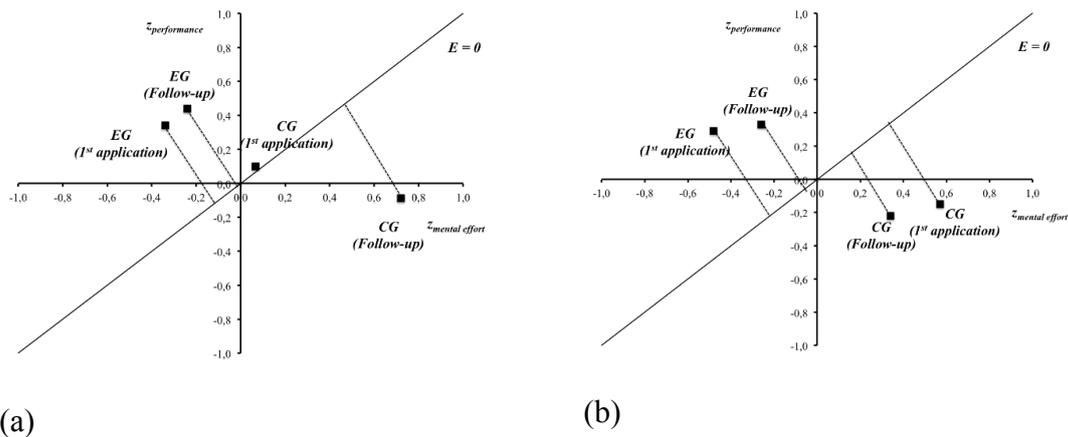


Figure 22. (a) Instructional efficiency obtained by the experimental group (EG) and the control group (CG) in the knowledge acquisition test. (b) Instructional efficiency obtained by the experimental group (EG) and the control group (CG) in the transfer test (adapted from Melo & Miranda, 2014).

Since the instructional efficiency variable respects the normal distribution and homogeneity principles (see appendix), we conducted the one-way ANOVA test to examine the differences between the two groups.

One-way ANOVAs revealed a significant statistic difference between the experimental and the control group in the results for instructional efficiency obtained with the knowledge acquisition test ($F(1,127) = 6.350$, $p = 0.013$, $\eta^2 = 0.048$ for the first application test and $F(1,127) = 43.028$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.253$ for the follow-up) and with the learning transfer test ($F(1,127) = 32.800$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.205$ for the first application test and $F(1,127) = 21.742$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.146$ for the follow-up). The estimate for the effect sizes, was + 0.45 and + 1.18 for instructional efficiency measured after the knowledge acquisition test, and + 1.03 and + 0.84 for instructional efficiency measured after the learning transfer test.

Discussion

The purpose of this research was to study the effects of two instructional approaches (the 4C-ID versus the conventional) in terms of knowledge acquisition and learning transfer of complex skills in the domain of electrical circuits problem solving, integrated in the Physics syllabus of the portuguese compulsory educational system. Our objective was also to study the perceived cognitive load when students solve the achievement tests and to compare the instructional efficiency of the 4C-ID model with a conventional method of instruction. To discuss the results obtained, we will interpret the hypotheses formulated previously so that they seem more plausible in the light of the literature review.

The Effects of the Instructional Approach on Knowledge Acquiring and Learning Transfer

The first two hypotheses are related to the acquisition and transfer of learning on electrical circuits. The results of the experiment support the hypothesis that a 4C-ID learning environment contributes to the development of skills related to the electrical circuits problem solving. This result indicates that, when compared with the control group, the experimental group was better able to solve problems on electrical circuits. Many authors (De Corte, 2003; Merrill, 2002; van Merriënboer, Schuurman, de Croock & Paas, 2002; van Merriënboer & Paas, 2003) have found that a 4C-ID learning environment promotes the acquisition of coordinated and integrated sets of knowledge and skills (i.e. it facilitates complex learning).

The results of the statistical test applied to the knowledge acquisition and learning transfer variables showed a better performance of the experimental group in comparison with the control group. The results indicate a greater effect over the independent variable in the ability to transfer knowledge. We believe that these outcomes can be explained by the fact that the 4C-ID learning environment developed by us appealed to a large contextual variability of the learning tasks than the conventional environment. Salomon and Perkins (1989), Shapiro and Schmidt (1982), and Singley and Anderson (1989), among others, have pointed to the benefits of tasks variability on learning transfer.

Another possible cause for a superior transfer performance may be related to the emphasis given by the 4C-ID approach to promoting schema construction for generalized knowledge, which can be used for problem solving in different situations. For instance, in the subtopic series and parallel lamps circuits, the students were able to transfer the generalized knowledge about the characteristics of these two types of circuits to the analysis of new circuits involving different devices such as resistors. Thus, students were able to transfer the effects of a lamp in the circuit equivalent to a resistance, since they are only receptors that

offer resistance to electrical current movement. The results of the two items on the transfer test (one related to series circuits and the other related to parallel circuits) indicate that the experimental group performed significantly better on these two items ($M = 0.74$, $SD = 0.44$, for the series circuit item and $M = 0.78$, $SD = 0.42$ for the parallel circuit item) than the control group ($M = 0.55$, $SD = 0.50$ for the series circuit item and $M = 0.61$, $SD = 0.49$ for the parallel circuit item). The results of the non-parametric test revealed that the distribution of two the items was not the same in both the experimental and the control group (Mann-Whitney U , $p = 0.022$ for series circuit and $p = 0.033$ for parallel circuit). Perhaps the reason why the 4C-ID group was able to do a better learning transfer than the conventional group is related to the way they generally acquired knowledge on the topic studied they did it in a more systematic way than the control group. This generalized knowledge in the context of the 4C-ID model is the supportive information presented before practice (class tasks) and it was made accessible to learners throughout the instruction process via multimedia messages. We believe they had the opportunity to associate new information to what they already knew, which promoted a better understanding of the content while experiencing a low perceived cognitive load. In the control group (conventional approach) the information describing the characteristics of each type of circuits was presented when the teacher gave students practical examples.

Another aspect of the supportive information focuses on the fact that this describes the SAPs that specify the successive phases of the process of problem solving and some basic rules that can be useful to successfully run each of those stages. In the experimental group this type of information was always available when the students must perform the learning tasks. Figure 23 shows a supportive information screen shot with respect to the characteristics of series and parallel circuits. This information is given in multimedia format in which an expert explains and clarifies the characteristics of this type of association lamps.



Figure 23. Screen shot of supportive information about series and parallel circuits.

Cognitive feedback is another key aspect of supportive information as it is given in terms of quality of performance in carrying out learning tasks. In this perspective it is considered that there is no purely correct or incorrect behaviour with regard to problem solving and reasoning behind this process of resolution. This type of feedback leads many students to make a critical comparison of the solutions to the presented solution, producing a deeper understanding of the studied subject (cf. Hattie, 2009; Hattie & Yates, 2014). Figure 24 shows a cognitive feedback on a worked example about the relationship between voltages on the lamps connected in series. In this example students had to press the button “Resposta” (answer) and the feedback system classified the answer as true or false and shows an explanation. It is important to note that students cannot advance to the next task without reading the information generated by the feedback system.

Aula 3 › Tarefa 1

**Exemplo resolvido 3:**

Observe com atenção o circuito esquematizado na figura ao lado:

Leia com atenção as frases C e D e classifique-as como verdadeiras ou falsas (clique em resposta para obter a explicação):

C – O voltímetro V_2 regista 2,0 V.

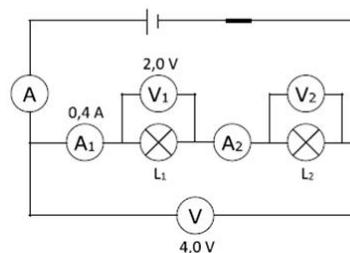
Resposta

Verdadeira. Como as lâmpadas L_1 e L_2 estão associadas em série, a diferença de potencial aos terminais da associação é igual à soma da diferença de potencial aos terminais de cada lâmpada.

D – Se a lâmpada L_2 se fundir, L_1 brilha com maior intensidade.

Resposta

Falsa. Como as lâmpadas L_1 e L_2 estão associadas em série, se uma delas fundir o circuito fica aberto, pelo que nenhuma das lâmpadas acende.



Cognitive feedback



Figure 24. Screen shot of cognitive feedback about voltage in series circuits.

To sum up, the findings on learners' performance suggest that the 4C-ID approach was more effective than the conventional approach in terms of learner performance when acquiring knowledge and transferring learning on electrical circuits' basic analysis. This means that the 4C-ID approach helped learners to acquire general knowledge and to apply this knowledge to new situations.

We believe that these differences in the two approaches are linked to the 4C-ID model characteristics, in particular in that there is a systematic approach to solve problems of electrical circuits and the cognitive feedback system, which contributes to a decrease in the cognitive load associated with instruction, as we will see in the next section.

Another factor that may be contributing to a better performance of the experimental group is linked to the fact that this group work methodology appeals to a more autonomous work, since learners will spend more time in self-study, which did not occur with the control group in which the teaching strategy was more centred on the teacher.

The Effect of the Instructional Approach on Perceived Cognitive Load

The perceived cognitive load measured after the knowledge acquisition test, showed no differences between the two groups (hypothesis 3). The perceived cognitive load assessed after the learning transfer test revealed that the experimental group perceived a significantly lower mental effort than the control group (hypothesis 4). So, we can conclude that learners being taught through 4C-ID approach were able to perform better without experiencing a greater cognitive load. On the contrary, they perceived a lower cognitive load than the control group. This result may be explained by the fact that the 4C-ID model includes an effective management of cognitive load associated with learning tasks. This was done in three ways. First, in order to decrease the cognitive load inherent to the learning material (intrinsic cognitive load), a simple to complex task sequencing was used (e.g. first presenting a simple electrical circuit, then a more complex circuit schema). Second, extraneous load (caused by the instructional feature of learning material) was minimized by presenting a structured sequence of learning tasks. That is, instead of presenting students with a series of conventional problems about electrical circuits, which usually cause a high extraneous cognitive load, a series of examples was provided, each followed by a completion problem. Third, in order to increase germane cognitive load, (load relevant for learning or schema construction) learning tasks within the same class task were presented in various contexts.

Thus, with this meticulous management of all three types of cognitive load we could obtain a performance improvement without increasing the perceived cognitive load in the 4C-ID approach.

In addition, to facilitate the construction of cognitive schemas, supportive information (the second component of 4C-ID model) explains how a domain is organized and how to approach problems in this domain so that learners can fruitfully work on non-recurrent aspects of learning tasks within the same class task. This supportive information was

provided before each class task and was made accessible to learners throughout task practice via multimedia messages. The reason for presenting supportive information previous to practice was that the information describing a mental model (e.g. how an electrical circuit is organized, what is the function of each component in the circuit) and cognitive strategies (e.g. rules to do an efficient analysis of a circuit) usually has a high inherent complexity. A particularly important type of supportive information for learners is feedback on the quality of their performance. This so-called cognitive feedback refers only to the non-recurrent aspects of performance. This information included prompts, cues and questions that help learners to construct or reconstruct their cognitive schemas in such a way that future performance is improved (McKendree, 1990). Cognitive feedback stimulates learners to reflect on the quality of both their personal problem-solving processes and the solutions they have found, so that more effective cognitive strategies and mental models can be developed. One factor that has been particularly taken in to consideration in the learning environment design with 4C-ID model was cognitive feedback, since in all learning tasks there is always information about the solutions found by the students.

To facilitate rule automation, procedural information (presented during task practice – just-in-time information) specifies exactly how to perform the recurrent aspects of learning tasks and part-task practice provide additional repetition for these recurrent aspects that need to be developed up a very high level of automaticity (e.g. how to use voltmeter and ammeter). Another characteristic of the procedural information is the corrective feedback given on the recurrent aspects of performance. In contrast to cognitive feedback, the main function of corrective feedback is to detect and correct errors. So the learner can carry on his or her present work in a more efficient, effective and correct manner. In the 4C-ID approach the corrective feedback system informs learners that there was an error and why there was an error, but without simply stating the correct action (e.g. on drag-and-drop task learners had to

drag values of current intensity or tension to the right position in a circuit; if he or she made the wrong choice, a message as “Please notice the relative positions of the components on the circuit” would appear).

The Effect of the Instructional Approach on Instructional Efficiency

As predicted, learners in the 4C-ID approach showed a significantly higher level of instructional efficiency on both achievement tests. These findings suggest that the 4C-ID approach was not only efficient for knowledge acquisition of electrical circuits, but also for the learning transfer. Both were computed by combining the results of the achievement test and the perceived cognitive load using formula (1). We did a graphical analysis (figure 22) of the dissimilarities in the two groups regarding the differences in terms of instructional efficiency. We found that, learners in the experimental group showed a higher level of instructional efficiency on the knowledge acquisition test and on the learning transfer test.

Future Research

The findings of this study suggest some direction for future research. The first issue concerns the measurement of the perceived cognitive load. This variable was measured by a single rating scale that assessed the amount of mental efforts learners invested on the task they received. This way of assessing cognitive load does not discriminate the three types of cognitive load inherent to the instructional material. For example, two students may indicate the same mental effort and yet we do not know if this measure was a result of the contribution of only a specific type of cognitive load (i.e., intrinsic, extraneous or germane cognitive load). Second, future studies should include a collection of qualitative data in order to answer questions such as: how did treatment affect the learners’ learning process? This

way of analysis could give us information about the type of mental schemas that will improve better the transfer of learning. Gathering data of this nature would help us to provide a clearer spectrum of how the 4C-ID approach affects learning strategies and to what extent the various components of the model were more beneficial to the learning process.

Finally, we think it will be interesting to study the effect of some variables in connection with the way students face learning tasks. For example, no doubt it would be fascinating to analyse the relations between the students' approaches to learning (SAL) (e.g., Biggs, 1985; Marton & Säljö, 1976, among others) and the results in achievement tests and the perceived cognitive load.

Conclusion

The findings of this study have one main practical implication in the field of instructional system design: the use of a learning environment designed using the principals of the 4C-ID model was more effective and efficient with regard to knowledge acquisition and learning transfer than a traditional or conventional instructional method.

Our research results add new contribution to the effectiveness of the 4C-ID model in helping students learn complex skills in the context of their curricular contents. In other words, it increases the generalizability of the 4C-ID model.

References

- Anderson, J. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The split-attention principle in multimedia learning". In R. Mayer (Ed.). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp.135-146). New York: Cambridge University Press.
- Bassok, M. (1990). Transfer of domain-specific problem-solving procedures. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15(1), 153-166.
- Biggs, J. (1985). The role of meta-learning in study processes. *British Journal of Educational Psychology*, 55,185-212.
- Bransford, J., Brown, A., & Cocking, R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school*. Washington DC: National Academy Press.
- Brown, A. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert & R. Kluwe (Eds.). *Metacognition, motivation, and understanding* (pp. 1-16). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Brown, A., & Campione, J. (1981). Learning to learn. On training students to learn from texts. *Educational Research*, 10(2), 14-21.
- Brown, A., & Campione, J. (1986). Training for transfer: Guidelines for promoting flexible use of trained skills. *Advances in Psychology*, 31, 257-271.
- Brown, A. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glasser (Ed.), *Advances in instructional psychology* Vol. 1 (pp. 77-165). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Bruner, J. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. (1965). The growth of the mind. *American Psychologist*, 20(12), 1007-1017.

- Bruner, J. (1966). *Toward a theory of instruction*. Cambridge Mass: Harvard University Press.
- Carey, J., Barey, L., & Dick, W. (2005). *The systematic design of instruction*. Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Chi, M., Glaser, R., & Rees. E. (1982). Expertise in problem solving. In J. R Sternberg (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 1) (pp. 7-76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- De Corte, E. (2003). Designing learning environments that foster the productive use of acquired knowledge and skills. In E. De Corte, L. Verschaffel, N. Entwistle, & J. J. G. van Merriënboer (Eds.). *Powerful learning environments: Unravelling basic components and dimensions* (pp. 21-35). Oxford, UK: Elsevier Science.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education. An introduction to the philosophy of education*. The MacMillan Company. Retrieved from http://en.wikisource.org/wiki/Democracy_and_Education
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. (2001). *The systematic design of instruction* (5th ed.). USA: Allyn and Bacon.
- Gagné, R. (1970). *The conditions of learning* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Gagné, R. (1974). *Essentials of learning for instruction* (2nd ed.). Hinsdale, IL: The Dryden Press.
- Gagné, R. M. (1985). *The conditions of learning and theory of instruction*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Gick, M., & Holyoak, K. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.

- Greeno, J. (1997). On claims that answer the wrong questions. *Educational Researcher*, 26(2), 5-17.
- Greeno, J., Collins, A., & Resnick, L. (1996). Cognition and learning. In D. Berliner, & R. Calfee (Eds.). *Handbook of educational psychology* (pp. 15-46). New York: Macmillan.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses related to achievement*. New York: Routledge.
- Hattie, J., & Yates, G. (2014). *Visible learning and the science of how we learning*. New York: Routledge.
- Hoogveld, A., Paas, F. & Jochems, W. (2001). The effects of a web-based training in an instructional systems design approach on teachers' instructional design behavior. *Computer in Human Behavior*, 17, 363–371. doi: 10.1016/S0747-5632(01)00013-9.
- Hoogveld, A., Paas, F., & Jochems, W. (2003). Application of an instructional systems design approach by teachers in higher education: individual versus team design. *Teaching and Teacher Education*, 19, 581–590. doi: 10.1016/S0742-051X(03)00055-6.
- Kester, L., Kirschner, P., & van Merriënboer, J. (2004). Information presentation and troubleshooting in electrical circuits. *International Journal of Science Education*, 26, 239-256. doi: 10.1080/69032000072809.
- Kester, L., Kirschner, P., & van Merriënboer, J. (2005). The management of cognitive load during complex cognitive skill acquisition by means of computer-simulated problem solving. *British Journal of Education Psychology*, 75, 71-85. doi:10.1348/000709904X19254.
- Kintsch, W. (1977). *Memory and cognition*. New York: Wiley.

- Lave, J., & Wenger, E. (1995). *Situated learning: Legitimate peripheral participation* (4th ed.). New York: Cambridge University Press.
- Lim, J., Robert, R., & Olina, Z. (2009). The effects of part-task and whole-task approaches on acquisition and transfer of a complex cognitive skill. *Education Technology Research Development*, 57, 61-77. doi: 10.1007/s11423-007-9085-y.
- Marton, F., & Säljö, R. (1976). On qualitative differences in learning. I – Outcome and Process. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 4-11.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 31-48). USA: Cambridge University Press.
- McKendree, J. (1990). Effective feedback content for tutoring complex skills. *Journal of Human-Computer Interaction*, 5(4), 381-413.
- Melo, M., & Miranda, G. L. (2014, june). Applying the 4C-ID Model to the Design of a Digital Educational Resource for Teaching Electric Circuits: Effects on Student Achievement. Proceedings of the 2014 Workshop on Interaction Design in Educational Environments (IDEE '14), Spain, Albacete, 8-14.
doi:10.1145/2643604.2643605.
- Mendelsohn, P. (1994). Le transfert de connaissances: la pierre philosophale de l'enseignant. *Conférence introductive au Colloque sur les "Transferts de connaissances"* - Lyon: octobre 1994.
- Merrill, D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology, Research and Development*, 50(3), 43–59.
- Merrill, D. (2007). First principles of instruction: A synthesis. In R. Reiser & J. Dempsey (Eds). *Trends and issues in instructional design and technology* (2nd ed.), (pp. 341-346). NJ: Pearson.

- Nadolski, R., Kirschner, P., & van Merriënboer, J. (2005). Optimizing the number of steps in learning tasks for complex skills. *British Journal of Education Psychology*, *75*, 223–237. doi: 10.1348/000709904X22403
- Nadolski, R., Kirschner, P., & van Merriënboer, J. (2006). Process support in learning tasks for acquiring complex cognitive skills in the domain of law. *Learning and Instruction*, *16*, 266–278. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.03.004.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors*, *35*, 737-743.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, *6*, 51–71. doi: 10.1007/BF02213420.
- Packer, M. (2001). The problem of transfer, and sociocultural critique of schooling. *Journal of the Learning Sciences*, *10*(4), 493-515.
- Pavlov, I. (2003/1927). *Conditioned reflexes* (2nd ed.). New York: Dover Publications
- Perkins, D., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. In *International Encyclopedia of Education* (2nd ed.). Oxford, England: Pergamon Press. Retrieved from <https://learnweb.harvard.edu/alps/thinking/docs/traencyn.htm>.
- Peterson, R.A. (1994). A meta-analysis of Cronbach's coefficient alpha. *Journal of Consumer Research*, *21*(2), 381-391.
- Quilici, J., & Mayer, R. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, *88*(1), 144-161.
- Reiser, R. (2001a). A history of instructional design and technology. Part I: A history of instructional media. *Educational Technology Research and Development*, *49*(1), 53-64.

- Reiser, R. (2001b). A history of instructional design and technology. Part I: A history of instructional design. *Educational Technology Research and Development*, 49(2), 57-67.
- Resnick, L., & Collins, A. (1996). Cognition and learning. In E. De Corte & F. E. Weinert (Eds.). *International encyclopedia of developmental and instructional psychology* (pp. 377-381). U.K.: Pergamon Press.
- Rogoff, B., & Chavajay, P. (1995). What's become of research on the cultural basis of cognitive development? *American Psychologist*, 50, 859-877.
- Salomon, G., & Perkins, D. (1989). Rocky roads to transfer: Rethinking mechanisms of neglected phenomenon. *Educational Psychologist*, 24(2), 113-142.
- Sarfo, F., & Elen, J. (2006). The design of effective support for the acquisition of technical expertise. In G. Clarebout & J. Elen. *Avoiding simplicity, confronting complexity* (pp. 417-422). Rotterdam: Sense Publishers.
- Sarfo, F., & Elen, J. (2005, July). Powerful learning environments and the development of technical expertise in Ghana: investigating the moderating effect of instructional conceptions. Proceedings of the *5th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'2005)*, Kaohsiung, Taiwan.
- Schilling, M., Vidal, P., Ployhart, R., & Marangoni, A. (2003). Learning by doing something else: Variation, relatedness, and the learning curve. *Management Science*, 49, 39-56. doi: 10.1287/mnsc.49.1.39.12750.
- Shapiro, D., & Schmidt, R. (1982). The schema theory: Recent evidence and developmental implications. In J. A. S. Kelso and J. E. Clark (Eds). *The development of movement control and coordination*, (pp. 113-150). New York: John Wiley and Sons, Ltd.

- Simon, H. (1982). Cognitive processes of experts and novices. In J.-J. Ducret, C. Monnier, O. Rod, & A. Wells (Eds.). *Cahiers de la Fondation Archives Jean Piaget N° 2-3* (pp. 155-182). Genève: Fondation des Archives Jean Piaget.
- Singley, M., & Anderson, J. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Skinner, B. (1965/1953). *Science and human behavior*. New York: The Free Press.
- Smith, L. (1993). The concept of same. In W. Reese (Ed.), *Advances in child development behavior* (pp. 215-317). USA: Academic Press.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York: Springer.
- Thorndike, E., & Woodworth, R. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions, *Psychological Review*, 8, 247-261. doi:10.1037/h0074898.
- Van Merriënboer J., & de Croock, M. (1992). Strategies for computer-based programming instruction: Program completion versus program generation. *Journal of Educational Computing Research*, 8, 365–394.
- Van Merriënboer, J. (1997). *Training complex cognitive skills*. NJ: Englewood Cliffs - Educational Technology Publications.
- Van Merriënboer, J., & Kester., L. (2005). The four-component instructional design model. Multimedia principles in environments for complex learning. In R. Mayer (Ed). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp.71-95). New York: Cambridge University Press.
- Van Merriënboer, J., & Kirschner, P. (2001). Three worlds of instructional design: State of the art and future directions. *Instructional Science*, 29, 429-441.

- Van Merriënboer, J., & Kirschner, P. (2007). *Ten steps to complex learning: A systematic approach to Four-Component Instructional Design*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Van Merriënboer, J., & Paas, F. (2003). Powerful learning and the many faces of instructional design: Towards a framework for the design of powerful environments. In E. De Corte, L. Verschaffel, N. Entwistle, & J. J. G. van Merriënboer (Eds). *Powerful learning environments: Unravelling basic components and dimensions* (pp. 21-35). Oxford, UK: Elsevier Science.
- Van Merriënboer, J., Clark, R., & de Croock, M. (2002). Blueprints for complex learning: The 4C/ID – model. *Educational Technology. Research and Development*, 50(2), 39–64.
- Van Merriënboer, J., Jelsma, O., & Paas, F. (1992). Training for reflective expertise: A four-component instructional design model for training complex cognitive skills. *Educational Technology, Research and Development*, 40(2), 23–43.
- Van Merriënboer, J., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: Balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343–352. doi: 10.1002/acp.1250.
- Van Merriënboer, J., Kirschner, P., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, 38, 5- 13. doi: 10.1207/S15326985EP3801_2.
- Van Merriënboer, J., Schuurman, J., Marcel de Croock, J. G., & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during instruction: Effect on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12, 11–37.
- Vosniadou, S., & Ortony, A. (1989). *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press.

Vygostky, L. (1978). Mind in society. *The development of higher psychological processes*.

USA: The President and Fellows of Harvard College.

Willis, J. (2009). Pedagogical ID versus process ID: Two perspectives in contemporary instructional design theory. *International Journal of Technology in Teaching and learning*, 5(2), 93-105.

Wilson, B. G., Jonassen, D. H., & Cole, P. (1993). Cognitive approaches to instructional design. In G. M. Piskurich (Ed.). *The ASTD handbook of instructional technology* (pp. 21.1-21.22). New York: McGraw-Hill.

Appendix: Normality and variance homogeneity test for studied variables

	Variable		Kolmogorov-Smirnov		Variance homogeneity		
			Statistic	p-value	Levene statistic	p-value	
Knowledge acquiring test	1st application	EG	0.221	0.000	5.79	0.018	
	1st application	CG	0.177	0.000			
	Follow-up	EG	0.220	0.000	14.45	0.000	
	Follow-up	CG	0.165	0.001			
Transfer test	1st application	EG	0.182	0.000	6.96	0.009	
	1st application	CG	0.140	0.014			
	Follow-up	EG	0.176	0.001	8.62	0.004	
	Follow-up	CG	0.142	0.012			
Perceived cognitive load	Knowledge acquiring (1st application)	EG	0.071	0.200	18.480	0.076	
		CG	0.107	0.200			
	Transfer (1st application)	EG	0.083	0.200	3.264	0.073	
		CG	0.105	0.200			
	Knowledge acquiring (follow-up)	EG	0.099	0.058	0.231	0.631	
		CG	0.152	0.050			
	Transfer (follow-up)	EG	0.103	0.039	1.430	0.234	
		CG	0.096	0.200			
	Knowledge acquiring (1st application)	EG	0.069	0.200	0.495	0.483	
		CG	0.109	0.183			
Instructional efficiency	Transfer (1st application)	EG	0.076	0.200	2.029	0.157	
		CG	0.096	0.200			
	Knowledge acquiring (follow-up)	EG	0.081	0.200	1.846	0.177	
		CG	0.089	0.200			
		Transfer (follow-up)	EG	0.077	0.200	0.212	0.642
			CG	0.075	0.200		

III.3 - Modelo instrutivo 4C/ID: efeitos sobre as abordagens à aprendizagem de alunos do 9ºano*

Resumo

Este artigo tem como principal objetivo apresentar os resultados de uma investigação sobre o efeito da utilização de um ambiente de aprendizagem digital, destinado ao ensino dos circuitos elétricos e construído com base no modelo de Desenho Instrutivo de Quatro Componentes (4C/ID), sobre o tipo de abordagem à aprendizagem adotada por alunos do 9ºano.

Constituímos dois grupos: um experimental ($n_E = 76$), no qual o tema circuitos elétricos foi ensinado com o ambiente digital (estratégia centrada no aluno) e um grupo de controlo ($n_C = 49$), no qual o tema circuitos elétricos foi ensinado com base num método convencional (estratégia centrada no professor). Para caracterizar o tipo de abordagem à aprendizagem adotado pelos alunos usámos o Inventário de Processos de Estudo (IPE) validado para várias amostras da população estudantil portuguesa.

Os resultados revelaram: 1) equivalência no pré-teste entre os dois grupos ao nível das variáveis abordagens superficial e profunda; 2) no pós-teste, para o grupo experimental, ocorreu uma diminuição do uso da abordagem superficial e um aumento da pontuação para a variável abordagem profunda, não havendo alterações significativas nestas variáveis no grupo de controlo. A análise dos dados qualitativos da descrição do processo experimental, feita com base em observação das aulas e em entrevistas aos professores, permitiu-nos explicitar algumas características do ambiente de aprendizagem digital, tornando mais clara a

* Melo, M., & Miranda, G.L. (no prelo). Modelo instrutivo 4C/ID: efeitos sobre as abordagens à aprendizagem de alunos do 9ºano. *Análise Psicológica*, (aceite para publicação a 6/06/2017). (SJR-SCImago Q3 Psicologia e Educação em 2017).

interpretação dos resultados. O carácter multidimensional do constructo “abordagem à aprendizagem” evidenciou-se pelos valores de magnitude de efeito, que se mostraram globalmente baixos.

Palavras-chave: Abordagem à aprendizagem, Abordagem profunda, Abordagem superficial, Modelo 4C/D.

Abstract

The main purpose of this paper is to present the research results of the use of a digital learning environment, built with the four components instructional design model (4C/ID-model), on the students' approach to learning. We used the digital environment to teach the subject of electrical circuits to 9th grade students.

We formed two groups: the experimental group ($n_E = 76$) in which electrical circuits were taught with the digital learning environment (student-centered strategy) and a control group ($n_C = 49$) in which a conventional method (teacher-centered strategy) was used to teach the subject of electrical circuits. To assess the students approach to learning we used the "Inventário de Processos de Estudo" validated to several samples of the Portuguese student population.

The results revealed that: 1) the two groups were equivalent on the surface and deep variables in the pre-test; 2) on the post-test, for the experimental group, there was a decrease of the surface learning approach and an increase of the deep learning approach, and there were no significant changes in the control group. The analysis of the qualitative data derived from the experimental process, based on the classes' observation and in interviews with the teachers, allowed us to explain some characteristics of the digital learning environment, which allowed us to interpret the results more accurately. The multidimensional nature of the "approach to learning" construct was evident by the low effect sizes.

Keywords: Students approach to learning, Deep approach, Surface approach, 4C/ID-model.

Introdução

A investigação sobre as abordagens à aprendizagem iniciou-se na década de 70 com os trabalhos de Marton e Säljö (1976a e 1976b) sobre o processo de aprendizagem. Estes autores recolheram um conjunto de dados que lhes permitiu analisar a forma como os alunos entendiam e abordavam a leitura de um texto. Surgiu o conceito de “abordagem à aprendizagem” que deu origem ao quadro teórico de Abordagem à Aprendizagem (*Student Approaches to Learning – SAL*). Desde essa época, o conceito foi sendo usado por outros investigadores que, a par da metodologia qualitativa usado por estes primeiros investigadores, desenvolveram métodos quantitativos e instrumentos que permitem medir o constructo recorrendo a questionários (escala e inventários). Os autores que mais se salientam neste domínio são Biggs (1988) e Entwistle (1990).

O objetivo deste estudo é investigar o efeito da utilização de um ambiente de aprendizagem digital concebido com o modelo de desenho educacional de quatro componentes (*Four Componentes Instructional Design Model – 4C/ID*) sobre as abordagens à aprendizagem adotadas por um conjunto de alunos do 9º ano do terceiro ciclo do ensino básico.

Revisão da Literatura

O Modelo Instrutivo de Quatro Componentes (4C-ID)

O modelo instrutivo de quatro componentes (4C/ID) preconiza que, para a aquisição de aprendizagens complexas¹³, são necessários quatro componentes: 1) tarefas de aprendizagem, que exigem que os alunos integrem e coordenem muitos, senão todos, os

¹³ Aprendizagens que envolvem a integração de conhecimentos, competências e atitudes.

aspectos do desempenho relacionados com a resolução de problemas e os raciocínios que lhes subjazem; 2) informação de apoio, que serve de auxílio à aprendizagem e à resolução das tarefas de aprendizagem e onde é apresentada a melhor abordagem à resolução dos problemas, fazendo a ponte entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios dos alunos; 3) informação processual, que constitui um requisito para a realização das tarefas, por exemplo, através de um algoritmo para explicitar os aspetos rotineiros que devem ser executados; esta informação só surge no momento exato em que o aluno necessita dela, diminuindo desta forma a sobrecarga cognitiva; um exemplo deste tipo de informação corresponde às mensagens que surgem do sistema de *feedback* corretivo e cognitivo durante a realização das tarefas de aprendizagem; e 4) prática nas tarefas, que são exercícios adicionais centrados em aspetos rotineiros das tarefas e que necessitam de maior treino; este componente só é usado quando as tarefas de aprendizagem não suscitam uma repetição suficiente para se atingir o nível de automaticidade pretendido (van Merriënboer & Kester, 2014).

O modelo 4C/ID foi desenvolvido com base na Teoria da Carga Cognitiva de Sweller (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) e na Teoria da Aprendizagem Multimédia de Mayer (Mayer, 2014), ambas integradas na Abordagem do Processamento de Informação, que preconiza que a arquitetura cognitiva humana consiste numa memória de trabalho com capacidade limitada que interage com a memória de longo prazo que tem capacidade ilimitada (Paas, Tuovinen, Tabbers, & Gerven 2003).

A Teoria da Carga Cognitiva contribui para este modelo instrutivo com um conjunto de procedimentos empiricamente validados, aos quais devem obedecer as mensagens educativas, de modo a gerir de forma eficiente a carga cognitiva imposta pelos materiais instrutivos, libertando a capacidade da memória de trabalho e promovendo a construção e reconstrução de esquemas mentais na memória de longo prazo (Kirschner, 2002).

A Teoria da Aprendizagem Multimédia tem a particularidade de ser muito útil para quem concebe recursos educativos digitais, como é o nosso caso, pois parte do princípio que as pessoas aprendem melhor quando se associam palavras e imagens do que quando se usa apenas palavras (Princípio da Aprendizagem Multimédia). Esta associação deve ser feita tendo em consideração o sistema cognitivo de processamento de informação, nomeadamente as suas potencialidades e limitações (Mayer, 2014). A Teoria da Aprendizagem Multimédia tem em consideração três pressupostos: 1) a capacidade limitada do sistema mnemónico humano; 2) o fato de o sistema de memória humano possuir dois canais distintos para o processamento da informação visual e verbal, cada um com capacidade limitada; e 3) o pressuposto de que a aprendizagem “ativa” corresponde a um conjunto coordenado de processos cognitivos que são condição necessária para que a aprendizagem ocorra. A partir desta teoria foi desenvolvido um conjunto de princípios, empiricamente validados, que ajudam a construir recursos educativos digitais que promovem mais e melhor aprendizagem (Mayer & Moreno, 2002).

Tipos de Abordagens à Aprendizagem

O constructo “abordagens à aprendizagem” procura representar o modo como os alunos se relacionam com as tarefas de aprendizagem, contribuindo para a compreensão das diferenças entre os alunos quando estes se envolvem na resolução de uma tarefa de aprendizagem.

As abordagens à aprendizagem são caracterizadas por Biggs como “o processo de aprendizagem que emerge da percepção dos alunos sobre a tarefa académica, influenciado pelas características pessoais” (Biggs, 1988, p.185) e por fatores relacionados com o contexto (natureza das tarefas de aprendizagem, método de ensino, avaliação, etc.). Segundo este autor estes fatores podem influenciar a qualidade da aprendizagem através do tipo de abordagem à

aprendizagem que os alunos adotam. Vários autores (Cowman, 1998; Lorillard, 1979; Marton, 1983; Ramsden, 1988 e Thomas, 1986, citados por Snelgrove, 2004) consideram que o tipo de abordagem à aprendizagem adotado pelos alunos pode ser uma resposta aos estímulos gerados pelo ambiente/contexto de aprendizagem. Portanto, o tipo de abordagem à aprendizagem não se apresenta apenas como uma característica estável do aluno, descreve antes a relação entre a sua percepção sobre as tarefas de aprendizagem (inseridas num determinado contexto) e a sua forma típica de as abordar.

Marton e Säljö (1976a e 1976b) identificaram duas abordagens contrastantes (uma “abordagem profunda” e uma “abordagem superficial”) na forma como os alunos escandinavos liam e usavam a informação de textos. A abordagem profunda é caracterizada por uma intenção do aluno de procurar compreender os conceitos, de estabelecer relações entre estes e de os aplicar a novas situações. A abordagem superficial insere-se numa aprendizagem mais mecânica, com recurso à memorização de forma isolada.

Ramsden (1979) identificou uma terceira abordagem, a "abordagem estratégica ou de alto-rendimento", que é caracterizada por uma motivação centrada na competição e na autoestima. Este tipo de abordagem apresenta um motivo semelhante à abordagem superficial, com a diferença que o aluno tem a intenção de obter classificações elevadas, enquanto que na abordagem superficial o aluno pretende apenas obter as classificações necessárias para transitar de nível.

Em suma, a SAL suporta a existência de duas abordagens à aprendizagem: 1) uma abordagem profunda centrada em estratégias e motivações profundas que correspondem a atitudes eficazes e desejáveis face à aprendizagem; e 2) uma abordagem superficial que implica estratégias e motivações superficiais, associadas a atitudes ineficazes e indesejáveis na aprendizagem (ver Quadro 13).

Quadro 13

Características dos diferentes tipos de abordagem à aprendizagem (adaptado de Entwistle, 1997).

Abordagem superficial	Abordagem profunda	Abordagem de alto rendimento
<ul style="list-style-type: none"> - Memorização dos conteúdos necessários para a avaliação; - Dificuldade em compreender e relacionar conceitos; - Ansiedade em lidar com as exigências das tarefas de aprendizagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intenção de compreender; - Interesse ativo sobre os temas; - Organizar e relacionar conceitos; - Usar lógica para compreender conceitos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intenção de obter classificações elevadas; - Organização efetiva do estudo; - Gestão do tempo de estudo.

O tipo de abordagem à aprendizagem adotada pelos alunos também pode ser fruto do contexto de aprendizagem. O Quadro 14 ilustra a forma como algumas dimensões de um contexto de aprendizagem podem influenciar as abordagens superficial e profunda.

Quadro 14

Características do contexto de aprendizagem que influenciam as abordagens à aprendizagem. (adaptado de Ramsden, 2003; Biggs, 2003).

A abordagem superficial é influenciada por ...	A abordagem profunda é influenciada por ...
<p>Ensino:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um ensino que enfatiza a transmissão de informações, especialmente naquele em que o professor demonstra pouco interesse pelo assunto que está a ensinar. - Reduzido <i>feedback</i> sobre o processo de aprendizagem. <p>Currículo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um currículo que se centra no uso excessivo de material instrutivo. <p>Avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Métodos de avaliação que enfatizam a aplicação de conhecimentos triviais. 	<p>Ensino:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensino estimulante e centrado no aluno. - Sistema de <i>feedback</i> apresentado ao longo da aprendizagem. <p>Currículo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um currículo que se centra num volume e nível do material instrutivo adequado. <p>Avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Métodos de ensino e de avaliação que promovam a longo prazo uma aprendizagem ativa.

- Métodos de avaliação que geram ansiedade (e.g. testes regulares, o uso excessivo de exames sem consulta).

Ambiente:

- Falta de independência no estudo.

- Falta de interesse e experiência limitada pelo conhecimento do assunto.

Experiências educativas anteriores:

- Experiências anteriores de contextos educativos que incentivam essas abordagens.

- Métodos de avaliação que estimulem os alunos a usar seu próprio juízo de valor.

Ambiente:

- Oportunidades para gerir o seu ritmo de trabalho.

- Interesse e conhecimento profundo do assunto.

Experiências educativas anteriores:

- Experiências anteriores de contextos educativos que incentivam essas abordagens.

Como avaliar o tipo de abordagem à aprendizagem adotada por um sujeito? Biggs (1987b) propôs um instrumento para avaliar as abordagens adotadas pelos alunos – R – SPQ – 2F (*Revised Student Process Questionnaire 2 Factors*). Este instrumento mede apenas dois fatores, que são a abordagem superficial e profunda, contendo cada uma duas subescalas de estratégia e motivação, o que confirma a perspectiva inicialmente proposta por Marton e Säljö (1976a). Segundo esta estrutura de dois fatores, a abordagem estratégica ou de alto rendimento não surge como um terceiro fator, mas sim como uma resposta sofisticada de alguns alunos extrinsecamente motivados para adotarem tanto uma abordagem superficial como uma abordagem profunda. Existem várias versões deste instrumento cuja caracterização pode ser consultada em Duff e McKinstry (2007).

Estudos Empíricos sobre as Abordagens à Aprendizagem

Na investigação da SAL destacamos os trabalhos de natureza qualitativa de Sharma (1997), Lucas (2000 e 2001), Lord e Robertson (2006) e Jackling (2005) (citados por Duff & McKinstry, 2007) com alunos do ensino secundário e dos primeiros anos do ensino superior sobre as suas perceções acerca do conceito aprendizagem e dos aspetos mais relevantes neste processo, visando a caracterização do conceito de aprendizagem do ponto de vista dos alunos. Contudo, a maioria das investigações sobre a SAL são de natureza quantitativa e têm sido

desenvolvidos essencialmente em três vertentes: (i) estudos transversais para analisar as diferenças entre grupos, (ii) avaliação das qualidades psicométricas dos instrumentos de medida dos diferentes tipos de abordagem à aprendizagem, (iii) e determinação de fatores contextuais que possam afetar o tipo de abordagem à aprendizagem adotada pelos alunos. É sobre a última vertente de investigação que vamos fazer uma descrição dos resultados de investigação mais importantes, pois é nesta categoria que se insere o nosso estudo.

Biggs (1988) e Entwistle (1990) foram pioneiros a usarem diferentes instrumentos para avaliar as alterações sofridas pelos alunos ao nível das abordagens à aprendizagem, como consequência do contexto de aprendizagem (estabelecimento de ensino e a sua estrutura curricular). Este constructo tem-se mostrado muito frutífero em termos de investigação.

Até ao momento foram desenvolvidos muitos trabalhos de investigação neste domínio, nos quais os autores tentaram perceber como variavam, em simultâneo, as pontuações obtidas pelos sujeitos ao nível das variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’. Os resultados não são concordantes. Gow, Kember e Cooper (1994) verificaram que quando há um aumento da pontuação associada à abordagem superficial, há uma diminuição simultânea da pontuação associada à abordagem profunda. Jackling (2005) verificou que quando há um aumento da pontuação na abordagem profunda, as variáveis abordagem superficial e de alto rendimento ficam praticamente inalteradas. Uma análise posterior a estes dois estudos permitiu concluir que as diferenças entre os dois estudos foram influenciadas pelo contexto cultural no qual as investigações foram realizadas: o primeiro em Hong Kong e o segundo na Austrália. Contudo, quando se trata de investigações nas quais são concebidos ambientes de aprendizagem que estimulem uma abordagem mais profunda, os resultados da investigação revelam que há uma tendência para um aumento da pontuação da abordagem profunda em detrimento da superficial.

Concluimos que existe um denominador comum a todas as investigações: apesar de apresentarem resultados com diferenças estatisticamente significativas, há uma tendência para se registarem magnitudes de efeito (*effect size*) pequenas (Duff et al., 2007), o que dificulta a generalização dos resultados, ficando as conclusões confinadas aos contextos nas quais foram realizadas as investigações.

O problema da generalização dos efeitos de um contexto/ambiente de aprendizagem sobre as abordagens à aprendizagem foi estudado com mais pormenor por Lucas e Mayer em 2005, tendo estes autores concluído que o constructo “abordagens à aprendizagem”, sendo multidimensional, depende de outras variáveis, para além do contexto/ambiente de aprendizagem. Entre elas o nível de motivação dos alunos, as suas intenções académicas, as crenças epistemológicas e até o género (fatores considerados intrínsecos aos sujeitos).

A perceção que os sujeitos têm do currículo com o qual estão a trabalhar é outra variável que influencia o tipo de abordagem à aprendizagem. Snelgrove (2004) efetuou uma investigação com 300 estudantes de enfermagem na Austrália para avaliar o tipo de abordagem à aprendizagem adotada por estes. Os resultados mostraram que a maioria dos estudantes adota uma abordagem superficial em detrimento da abordagem profunda, havendo uma correlação moderada entre os desempenhos académicos e a abordagem profunda. O autor tentou perceber este posicionamento dos estudantes e concluiu que a opção pela abordagem superficial era condicionada pela perceção que os alunos tinham do curso (estrutura curricular do curso baseada na memorização e reprodução de conhecimentos com uma grande sobrecarga de testes de avaliação).

Os fatores intrínsecos e extrínsecos associados ao contexto/ambiente de aprendizagem podem afetar o tipo de abordagem adotada pelos alunos. Mosca, Makkink e Stein (2015) investigaram o tipo de abordagem adotada pelos alunos (n = 70) de um curso de quatro anos de emergência médica na Universidade de Joanesburgo em função do ano e fizeram uma

análise dos fatores intrínsecos e extrínsecos que poderiam influenciar os dois tipos de abordagem. Os resultados revelaram que a maior parte dos alunos nos quatro anos adotaram uma abordagem profunda e que este resultado é essencialmente afetado por fatores extrínsecos aos alunos, tais como as características do contexto de aprendizagem.

Em suma, no que diz respeito à relação entre o contexto/ambiente de aprendizagem e o tipo de abordagem à aprendizagem, os dados não permitem efetuar generalizações, dando apenas a possibilidade de concluir que o tipo de abordagem adotado pelos alunos pode ser influenciado por fatores intrínsecos ao aluno (que consistem em características pessoais e inatas de um sujeito face ao processo de aprendizagem), e por fatores extrínsecos, que correspondem ao contexto/ambiente de aprendizagem e que incluem a estrutura do programa educacional, a carga de trabalho a desenvolver, o método de ensino e a forma de avaliação da aprendizagem.

Salientamos que o carácter multidimensional do constructo nos impede de perceber de forma clara e objetiva a verdadeira magnitude de efeito do contexto/ambiente de aprendizagem na abordagem à aprendizagem adotada pelos alunos.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da utilização de um ambiente de aprendizagem digital concebido com base no modelo 4C/ID, para o ensino dos circuitos elétricos no 9ºano, sobre as abordagens à aprendizagem dos alunos. Investigou-se ainda a interação da variável classificação dos alunos na disciplina de Físico-Química nos 7º e 8º anos (denominada por ‘classificação média Físico-Química’) sobre as abordagens à aprendizagem adotadas pelos dois grupos. Assim, como variável independente temos o tipo de abordagem instrutiva (4C/ID versus convencional) e com variáveis dependentes os tipos

de abordagens à aprendizagem adotado pelos alunos (superficial e profunda) e como covariável a classificação média obtida na disciplina de Físico-Química nos 7º e 8ºanos.

Método

Participantes

A investigação foi realizada numa escola do ensino particular da região de Lisboa, numa amostra de 125 alunos do 9ºano do 3º ciclo do ensino básico (idade: $M = 14,3$ anos; $SD = 0,54$), distribuídos por cinco turmas. Apesar de cada turma constituir um grupo natural (sem seleção aleatória), o processo de seleção das turmas para os grupos experimental ($n_E = 76$) e de controlo ($n_C = 49$) foi aleatório, correspondendo ao procedimento mais usual em investigação educacional.

Instrumentos de Recolha de Dados

Para a avaliação das abordagens à aprendizagem usámos o Inventário de Processos de Estudo (IPE) validado para a população portuguesa por Rosário, Ferreira e Cunha (Gonçalves, Simões, Almeida & Machado, 2006) para os alunos dos 2º e 3º ciclos do ensino básico.

O IPE é constituído por 12 itens representativos de duas dimensões: superficial e profunda. Os itens do questionário são apresentados em formato Likert numa escala de 5 pontos (1 – nunca... 5 – sempre). A análise fatorial dos resultados realizada por Rosário, Ferreira e Cunha (Gonçalves, et al., 2006) revela a existência de dois fatores referentes às duas abordagens à aprendizagem que, por sua vez, integra duas subescalas. A primeira dimensão está relacionada com a abordagem profunda, incluindo as subescalas de motivação

profunda (itens 2, 6 e 10) e de estratégia profunda (itens 4, 8 e 12); a segunda dimensão relaciona-se com a abordagem superficial, que engloba as subescalas de motivação superficial (itens 1, 5 e 9) e de estratégia superficial (itens 3, 7 e 11).

Optámos pela utilização do IPE por ser um instrumento adaptado para a língua portuguesa e por ter sido validado numa amostra semelhante à usada neste estudo (Gonçalves, et al., 2006). Os autores no estudo original trabalharam com uma amostra 858 alunos de oito escolas públicas do 2º e do 3º ciclo do ensino básico, no norte do país. A análise estatística ao IPE revelou um índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) de 0.83 com teste de esfericidade de Bartlett com valores adequados ($\chi^2(66) = 2106.08$; $p < 0.001$). Os resultados da análise fatorial exploratória revelaram a existência de duas dimensões com duas subescalas, cada uma com valores de consistência interna de 0.47 e 0.49 para a motivação superficial e para a estratégia superficial, respetivamente e de 0.68 e 0.69 para as subescalas de motivação profunda e estratégia profunda. Apesar da consistência interna apresentar valores moderadamente baixos, em particular para a dimensão abordagem superficial, os autores referem que os valores de consistência interna “se aproximam aos obtidos noutros estudos realizados em diferentes países, através da aplicação de questionários similares, nomeadamente o SPQ e o LPQ de Biggs (Biggs, 1987a; Lorenzo et al., 2001)” (Gonçalves, et al., 2006, p. 144). Paiva (2008) validou o IPE para uma amostra de 360 alunos do 10º ano, tendo obtido um KMO de 0.73 com teste de esfericidade adequado ($\chi^2(66) = 4057.486$; $p < 0.001$) e com consistências internas de 0.75 (estratégia superficial), 0.62 (estratégia profunda), 0.72 (motivação profunda) e 0.47 (motivação superficial), verificando-se também menor valor de consistência interna ao nível da dimensão superficial.

Assim, o IPE denota consistência interna adequada na dimensão profunda, verificando-se valores mais baixos na dimensão superficial, o que de acordo com seus autores está relacionado com a natureza deste questionário, uma vez que se avaliam perceções e não

realizações, portanto todos os dados emergentes devem ser confrontados com dados de natureza qualitativa, tal como fazemos nesta investigação.

Para os dados de natureza qualitativa desenvolvemos uma ficha de observação na qual foram registadas as observações das aulas em três instantes (no início, durante a aula e no final da aula), cujos aspetos observados se encontram no Quadro 15 e um guião de entrevista semi-diretiva às professoras de ambos os grupos com o intuito de: 1) recolher as suas opiniões sobre aspetos relacionados com a utilização e funcionalidade do recurso educativo digital; 2) obter as suas perceções acerca das dificuldades sentidas pelos alunos na realização das tarefas de aprendizagem; e 3) de recolher sugestões de alterações.

Quadro 15

Observações das aulas dos grupos experimental e de controlo.

Grupo experimental		Grupo de controlo	
Instante de observação	Descrição	Instante de observação	Descrição
Início	- Entrada na sala de aula; - Comentários; - Questões colocadas; - Reação às regras de utilização do recurso educativo digital (RED).	Início	- Entrada na sala de aula; - Comentários; - Questões colocadas; - Descrição da estratégia usado pelo professor.
Durante a aula	- Atitude dos alunos perante o computador; - Envolvimento e empenho na realização das tarefas de aprendizagem; - Dificuldades sentidas durante a utilização do RED; - Frequência com que solicitam o professor.	Durante a aula	- Lista de recurso usados pelo professor; - Reações dos alunos; - Frequência de participação dos alunos; - Envolvimento e empenho na realização das tarefas de aprendizagem.
Final da aula	- Comentários e sugestões.	Fim da aula	- Comentários e sugestões.

Procedimento

Constituímos dois grupos. Um grupo experimental ($n_E = 76$) constituído por três turmas, no qual o tema “Circuitos Elétricos” foi ensinado através de um ambiente de aprendizagem digital concebido com base no modelo 4C/ID. Este ambiente era constituído por três classes de tarefas de aprendizagem com objetivos distintos: Classe 1 – exploração dos conceitos de corrente elétrica e de tensão com o intuito de promover o primeiro contacto com o ambiente de aprendizagem; Classe 2 – aprender a esquematizar um circuito elétrico simples; e Classe 3 – aprender as características de uma associação em série e em paralelo. Um grupo de controlo ($n_C = 49$), constituído por duas turmas, no qual o mesmo tema foi ensinado com base num método convencional (mais centrado no professor com recurso ao caderno diário, manual do aluno e calculadora simples). Estiveram envolvidos três professores: um professor (investigador) com uma turma do grupo experimental e duas professoras, cada uma com uma turma do grupo experimental e uma do grupo de controlo. Os dois grupos realizaram atividades de aprendizagem similares.

O IPE foi aplicado a ambos os grupos em dois momentos: pré-teste na aula antes do ensino do tema e no pós-teste na última aula de ensino do tema.

As aulas dos dois grupos foram observadas por um dos autores deste artigo tendo sido elaboradas notas de campo sobre a forma como os alunos trabalhavam. Para a caracterização das estratégias de trabalho usadas pelos alunos e pelas professoras nos dois grupos, entrevistaram-se as duas professoras.

A experiência foi conduzida do seguinte modo: as turmas dos dois grupos iniciaram o estudo dos circuitos elétricos no mesmo dia usando métodos instrutivos diferentes. As turmas do grupo experimental usaram uma sala de informática com um computador por aluno e com sistema de áudio individual para a realização das tarefas de aprendizagem propostas no recurso educativo digital. As turmas do grupo de controlo tiveram as aulas na sua sala de aula

e usaram os recursos disponibilizados pelas professoras (apresentações em PowerPoint, simulações exploradas pelas professoras, manual, caderno, lápis e calculadora). A experiência foi realizada em duas aulas de 90 minutos, ao longo de duas semanas.

Validação do IPE na Amostra em Estudo

O IPE foi validado com a amostra em estudo através de uma análise fatorial exploratória cuja análise estatística revelou valores do índice KMO igual a 0.77 e teste de esfericidade de Bartlett adequado ($\chi^2(66) = 291.86$; $p = 0.000$). Os resultados revelaram existência das duas dimensões e subescalas do estudo original. A dimensão profunda evidenciou dois fatores (motivação e estratégia) que não levantaram problemas em relação ao estudo original. Todavia, na dimensão superficial os itens do IPE não se reconfiguraram com a mesma estrutura do estudo original. Na análise fatorial efetuada os itens organizaram-se em quatro fatores: o fator 1 que corresponde à subescala estratégia profunda que integrou os três itens do estudo original (4, 8 e 12); o fator 2 reproduz na íntegra o estudo original referente à subescala motivação profunda (itens 2, 6 e 10); a dimensão superficial levantou alguns problemas, organizando-se em duas subescalas com uma configuração diferente do estudo original, ou seja, o fator 3 com os itens 1, 3 e 7 e o fator 4 apenas com os itens 9 e 11.

Após várias modulações da análise fatorial concluímos que, para a amostra usada, os itens do IPE se organizaram em duas subescalas na dimensão profunda, tal como previsto no estudo original e para a dimensão superficial organizaram-se também em duas subescalas com configuração diferente do estudo original. Da análise fatorial exploratória surgiu a necessidade de eliminar o item 5. Assim, os valores de consistência interna (Alpha de Cronbach) para a nossa amostra foram 0.57, 0.69, 0.63 e 0.45, para os fatores 1, 2, 3 e 4, respetivamente. As implicações destes valores são discutidas na secção “Discussão dos Resultados”.

Análise de Dados

Os valores médios para as dimensões ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’ e respectivas subescalas foram obtidos somando as pontuações das respostas aos itens do IPE para cada aluno dos dois grupos. Este procedimento permitiu distribuir os sujeitos dos dois grupos pelo tipo de abordagem à aprendizagem e respectivas subescalas no pré-teste e no pós-teste.

Para a comparação dos dois grupos ao nível das variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’ nos pré e pós-teste usámos o teste *t*-Student para duas amostras independentes e para a análise da evolução de cada um dos grupos do pré-teste para o pós-teste empregámos o teste *t*-Student para amostras emparelhadas. Estes resultados são acompanhados pelos respetivos valores das magnitudes de efeito. Os testes estatísticos foram realizados com o SPSS 20 e com MS Excel 2015 para MacOS.

Para o estudo do efeito da variável ‘classificação média de Físico-Química’ sobre as abordagens à aprendizagem, em cada grupo, optámos pela realização de uma ANCOVA, na qual se considera como variável independente a ‘abordagem instrutiva’ (4C/ID versus abordagem convencional) e com variáveis dependentes a ‘abordagem superficial’ e a ‘abordagem profunda’ e como covariável a ‘classificação média de Físico-Química nos 7º e 8ºanos’.

A análise dos dados de natureza qualitativa procurou responder às seguintes questões: “Que efeito tem um ambiente de aprendizagem digital concebido com o modelo 4C/ID na forma como os alunos se relacionam com as tarefas de aprendizagem?” e “Quais são as diferenças entre as duas abordagens instrutivas?”.

Os dados foram sujeitos a uma análise de conteúdo com um procedimento exploratório, que corresponde ao mais usado em investigação educacional, do qual emergiram categorias que nos permitiram caracterizar o efeito do ambiente de aprendizagem

digital sobre a forma como os alunos se relacionaram com as tarefas de aprendizagem: (A) ritmo de trabalho dos alunos (relacionado com a gestão do ritmo de trabalho na resolução das tarefas de aprendizagem), (B) nível de concentração durante a audição e análise das informações de apoio e na realização das tarefas, (C) nível de aprofundamento na realização das tarefas de aprendizagem, relacionado com a retenção de informação e com a leitura das mensagens do sistema de *feedback*, e (D) método/estratégia de ensino centrado totalmente no aluno. Este procedimento permitiu categorizar as várias unidades de registo dos dados originais e determinar as respetivas frequências relativas.

Resultados

Iniciamos a apresentação dos resultados pela distribuição dos sujeitos dos dois grupos pelo tipo de abordagem à aprendizagem que estes adotaram no pré-teste e no pós-teste, cujos valores foram obtidos pela soma das pontuações nos itens de cada um dos fatores e respetivas subescalas. Seguem-se as comparações dos grupos no pré-teste e no pós-teste ao nível das variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’. Estudámos também a evolução dos dois grupos do pré-teste para o pós-teste ao nível das variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’. Por último, referimos o efeito da covariável ‘classificação média da Físico-Química’ sobre o tipo de abordagem à aprendizagem adotado pelos alunos de ambos os grupos.

Distribuição dos Grupos em Função da Abordagem à Aprendizagem

Os Quadros 16 e 17 apresentam a distribuição dos sujeitos dos grupos pelo tipo de abordagem à aprendizagem e pelas respetivas subescalas. As medidas foram efetuadas no pré e no pós-teste.

Quadro 16

Distribuição dos sujeitos por abordagem à aprendizagem no pré e pós-teste.

Grupo		Abordagem profunda (%)	Abordagem superficial (%)	Sem opção (%)
Experimental (n = 76)	Pré-teste	23 (30)	52 (68)	1 (1)
	Pós-teste	45 (59)	27 (36)	4 (5)
Controlo (n = 49)	Pré-teste	10 (20)	35 (71)	4 (8)
	Pós-teste	11 (22)	35 (71)	3 (6)

Quadro 17

Distribuição dos sujeitos por subescala de abordagem à aprendizagem.

Grupo		MP (%)	EP (%)	MS (%)	ES (%)	Sem opção (%)
Experimental (n = 76)	Pré-teste	17 (22)	20 (26)	50 (66)	51 (67)	9 (12)
	Pós-teste	47 (62)	46 (61)	21 (28)	26 (34)	8 (11)
Controlo (n = 49)	Pré-teste	11 (22)	9 (18)	34 (69)	36 (73)	4 (8)
	Pós-teste	11 (22)	10 (20)	34 (69)	35 (71)	4 (8)

Comparação dos Grupos no Pré e no Pós-teste

A significância da diferença entre a pontuação obtida pelos sujeitos dos dois grupos no pré-teste e no pós-teste foi avaliada com o teste *t*-Student para amostras independentes. Os pressupostos deste método estatístico, nomeadamente as normalidades das distribuições e a homogeneidade de variâncias nos dois grupos foram avaliadas, respetivamente com o teste de Kolmogorov-Smirnov ('abordagem superficial' no grupo experimental: $KS(76)_{pré} = 0.097$; $p = 0.076$; $KS(76)_{pós} = 0.075$; $p = 0.200$; 'abordagem superficial' no grupo de controlo: $KS(49)_{pré} = 0.097$; $p = 0.200$; $KS(49)_{pós} = 0.123$; $p = 0.059$; 'abordagem profunda' no grupo experimental: $KS(76)_{pré} = 0.092$; $p = 0.178$; $KS(76)_{pós} = 0.102$; $p = 0.047$; 'abordagem profunda' no grupo de controlo: $KS(49)_{pré} = 0.093$; $p = 0.200$; $KS(49)_{pós} = 0.085$; $p = 0.200$) e com o teste de Levene baseado na mediana ($F(1,123) = 0.007$; $p = 0.936$ e $F(1,123) = 0.150$; $p = 0.699$ para a 'abordagem superficial' nos pré e no pós-teste; $F(1,123) = 1.852$; $p =$

0.176 e $F(1,123) = 2.740$; $p = 0.100$ para a ‘abordagem profunda’ no pré e no pós-teste).

Verifica-se que há homogeneidade de variâncias em todas as situações ($p > 0.05$). Apesar das variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’ não apresentarem um teste KS significativo, pode-se analisar o ajustamento à distribuição normal através da assimetria (Skewness) e da curtose (Kurtose) pois, segundo Coelho, Cunha e Martins (2008), se os valores dos quocientes assimetria/erro padrão da assimetria e curtose/erro padrão da curtose estiverem contidos no intervalo $[-2; +2]$, o pressuposto da normalidade é considerado satisfatório. Neste caso estes quocientes estão todos contidos no intervalo considerado, pelo que podemos inferir que existe um ajustamento satisfatório à distribuição normal (os valores do quociente para a assimetria estão contidos no intervalo $[-1.36; +0.59]$ e os valores do quociente para a curtose estão contidos no intervalo $[-1.39; + 1.03]$). O nível de significância usado foi de 5%, sendo apresentadas as respetivas medidas de magnitudes de efeito (d-Cohen). Os valores médios (média \pm erro-padrão da média) das pontuações para as variáveis abordagem superficial e abordagem profunda são apresentados no Quadro 18.

Quadro 18

Valores médios da pontuação obtida para a abordagem superficial e profunda nos pré e pós-teste.

Variável	Grupo	M \pm SEM
Abordagem superficial no pré-teste	Experimental	21.12 \pm 0.46
	Controlo	22.08 \pm 0.56
Abordagem superficial no pós-teste	Experimental	18.79 \pm 0.49
	Controlo	22.43 \pm 0.61
Abordagem profunda no pré-teste	Experimental	17.51 \pm 0.43
	Controlo	15.67 \pm 0.61
Abordagem profunda no pós-teste	Experimental	21.08 \pm 0.41
	Controlo	15.96 \pm 0.61

Análise do Uso da Abordagem Superficial à Aprendizagem

Comparámos as pontuações médias obtidas pelos sujeitos dos grupos experimental e de controlo na variável ‘abordagem superficial’. Os resultados revelaram que no pré-teste os dois grupos apresentaram pontuações médias estatisticamente idênticas para esta variável ($t(123) = -1.326$; $p = 0.187$; $d = -0.062$). No que respeita ao pós-teste, os resultados indicam que as pontuações médias são significativamente diferentes ($t(123) = -4.648$; $p = 0.000$; $d = -0.199$), a favor do grupo de controlo, ou seja, os sujeitos do grupo experimental obtiveram menores pontuações face aos do grupo de controlo.

Análise do Uso da Abordagem Profunda à Aprendizagem

Os resultados obtidos para esta análise revelaram que, em relação à variável ‘abordagem profunda’, há diferenças significativas entre os valores médios das pontuações obtidas pelos sujeitos nos dois momentos de medição (pré-teste: $t(123) = 2.546$; $p = 0.012$; $d = +0.061$ e no pós-teste: $t(123) = 7.238$; $p = 0.000$; $d = +0.323$), a favor do grupo experimental.

Evolução dos Grupos do Pré-teste para o Pós-teste

A análise da evolução dos dois grupos do pré-teste para o pós-teste nas variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’ foi feita com o teste *t*-Student para amostras emparelhadas. O pressuposto da normalidade foi validado com o teste de Kolmogorov-Smirnov para os dois instantes (cf. secção anterior). Assim, para o grupo experimental nas variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’ os resultados revelaram que os valores médios das pontuações para cada uma das variáveis no pós-teste é estatisticamente superior ao valor médio das pontuações no pré-teste (variável ‘abordagem superficial’: $t(75)$

= 5.139; $p = 0.000$; $d = -0.136$ e na variável ‘abordagem profunda’: $t(75) = -8.337$; $p = 0.000$; $d = +0.269$). Quanto ao grupo de controlo, os resultados mostram que, em média e para as duas variáveis, as pontuações obtidas no pós-teste são menores ou iguais do que as pontuações obtidas no pré-teste (variável ‘abordagem superficial’: $t(48) = -0.901$; $p = 0.372$; $d = +0.021$ e na variável ‘abordagem profunda’: $t(48) = -0.743$; $p = 0.461$; $d = +0.016$). Isto significa que os alunos do grupo experimental do pré-teste para o pós-teste adotaram uma abordagem mais profunda em detrimento da abordagem superficial, enquanto que os alunos do grupo controlo adotaram o mesmo tipo de abordagem nos dois momentos.

Efeito da Variável ‘Classificação Média de Físico-Química’

Com o objetivo de estudar o efeito da variável ‘classificação média de Físico-Química’ sobre as variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’, para os dois grupos (abordagem instrutiva 4C/ID versus abordagem convencional), efetuámos em primeiro lugar uma comparação entre os dois grupos ao nível da variável ‘classificação média de Físico-Química’ com um teste *t*-Student para amostras independentes e, em segundo lugar, uma análise de covariância (ANCOVA) usando como covariável a ‘classificação média de Físico-Química’.

Os resultados da comparação dos dois grupos ao nível da variável ‘classificação média de Físico-Química’ revelaram não haver diferenças significativas entre os grupos ($t(125) = -0.839$; $p = 0.403$).

No Quadro 19 encontram-se os valores da estatística associada à interação entre as variáveis ‘abordagem instrutiva’ e ‘classificação média de Físico-Química’ (abordagem instrutiva*classificação média de Físico-Química) para a validação do pressuposto da homogeneidade de declives (Marôco, 2014).

Quadro 19

Análise da interação ‘abordagem instrutiva’ e a ‘classificação média Físico-Química’.

Variável dependente	<i>F</i>	<i>p</i>
Abordagem superficial no pré-teste	0.087	0.768
Abordagem profunda no pré-teste	0.480	0.490
Abordagem superficial no pós-teste	0.021	0.885
Abordagem profunda no pós-teste	0.156	0.694

Observando o Quadro 19 verifica-se que, para o nível de significância utilizado, não há evidência de uma interação estatisticamente significativa entre a variável ‘abordagem instrutiva’ e a covariável (variável ‘classificação média de Físico-Química’). Portanto, podemos afirmar que os declives da regressão da pontuação obtida pelos alunos nos diferentes tipos de abordagem à aprendizagem para a classificação média de Físico-Química dos 7º e 8º anos, não diferem significativamente entre si para as duas abordagens instrutivas. Logo, o pressuposto da homogeneidade dos declives é válido. Os restantes pressupostos de aplicação da ANCOVA também foram validados para as variáveis dependentes ao nível dos dois fatores, i.e., os pressupostos da normalidade e de homocedasticidade (cf. secção “Comparação dos Grupos no Pré e no Pós-teste”) e de homogeneidade de declives (cf. Quadro 19). A normalidade da covariável para os dois grupos ($KS_{\text{experimental}} = 0.204$; $p = 0.000$ e $KS_{\text{controlo}} = 0.251$; $p = 0.000$) e homogeneidade ao nível dos dois fatores foi avaliada com o teste de Levene ($F(1,123) = 0.351$; $p = 0.555$). Desta forma, reúnem-se todas as condições para a realização da ANCOVA, cujos resultados se encontram no Quadro 20.

Quadro 20

Resultados da ANCOVA.

Variável dependente	Covariável/fator	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2	π
Abordagem superficial no pré-teste	Classificação FQ	1.379	0.243	0.011	0.214
	Abordagem instrutiva	1.537	0.217	0.012	0.233
Abordagem profunda no pré-teste	Classificação FQ	0.934	0.336	0.008	0.160
	Abordagem instrutiva	6.101	0.015	0.048	0.688
Abordagem superficial no pós-teste	Classificação FQ	0.122	0.727	0.001	0.064
	Abordagem instrutiva	21.102	0.000	0.147	0.995
Abordagem profunda no pós-teste	Classificação FQ	0.748	0.389	0.006	0.138
	Abordagem instrutiva	51.114	0.000	0.295	1.00

Analisado os resultados do Quadro 20 verifica-se que no pré-teste a variável ‘abordagem superficial’ não é afetada pelo fator ‘abordagem instrutiva’ e pela covariável ‘classificação média de Físico-Química’ ($p > 0.05$). Estas interações revelaram ainda baixa magnitude de efeito ($\eta_p^2 \leq 0.05$, cf. Marôco, 2014) e baixa potência ($\pi < 0.80$). Quanto à variável ‘abordagem profunda’ (no pré-teste), os resultados mostram que não há interação significativa com a covariável ‘classificação média de Físico-Química’, sendo baixas as magnitudes de efeito e a potência de teste ($p > 0.05$; $\eta_p^2 \leq 0.05$; $\pi < 0.80$); no entanto, em relação ao fator ‘abordagem instrutiva’ os resultados exprimem uma interação significativa entre as variáveis ($p < 0.05$), com magnitude de efeito baixa ($0.25 < \eta_p^2 \leq 0.50$) e com uma potência de teste baixa ($\pi < 0.80$), o que nos leva a inferir que sendo da magnitude de efeito e a potência do teste baixas, a interação entre as variáveis ‘abordagem profunda’ no pré-teste e ‘abordagem instrutiva’ pode não ser significativa.

No que respeita ao pós-teste os resultados revelaram que a interação entre a covariável e as variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’ não são significativas ($p > 0.05$), sendo colocadas na classe de magnitudes de efeito reduzidas ($\eta_p^2 \leq 0.05$) e com potência observada muito reduzida ($\pi \ll 0.80$). Contudo, relativamente à interação entre a variável independente ‘abordagem instrutiva’ e as variáveis dependentes ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’, os resultados mostram que esta interação é significativa ($p < 0.05$), sendo inserida na classe de magnitudes de efeito elevadas ($0.25 < \eta_p^2 \leq 0.50$), com potência observadas elevadas ($\pi \geq 0.80$) corroborando desta forma a significância desta interação (cf. secção “Evolução dos grupos do pré-teste para o pós-teste”).

Descrição do Processo – Dados de Natureza Qualitativa

Analisámos o conteúdo das entrevistas realizadas às professoras (A e B) e as notas de campo recolhidas nas aulas dos dois grupos. Depois de reunido o corpus documental, fizemos uma análise de conteúdo exploratória aos dados de natureza qualitativa procurando encontrar aspetos que pudessem caracterizar o efeito do ambiente de aprendizagem digital usado pelos alunos do grupo experimental sobre a forma como estes se relacionam com as tarefas de aprendizagem. As unidades de registo do corpus documental foram incluídas em quatro categorias, o que permitiu determinar as frequências relativas para cada categoria. Os resultados obtidos foram os seguintes: categoria A (ritmo de trabalho dos alunos): 19,4%; categoria B (nível de concentração dos alunos na realização das tarefas): 22,6%; categoria C (nível de aprofundamento na realização das tarefas): 48,6% e categoria D (estratégia de ensino): 9,7%.

Nas turmas do grupo de controlo as professoras usaram o método convencional ou habitual no ensino dos circuitos elétricos, onde se privilegia uma estratégia centrada no

professor: no início havia um momento de exposição dos temas com recurso a apresentações em MS PowerPoint® e programas de simulação manipulados pelas professoras, seguido de um momento no qual os alunos tinham algum tempo para resolver um conjunto de tarefas do caderno de atividades e do manual. Nesta abordagem foi referido que “durante a realização das tarefas e até das minhas exposições de matéria havia mais dispersão dos alunos” (Professora A), o que leva a que “os alunos tenham tido um ritmo mais lento na realização das tarefas” (Professora A). Globalmente, as duas professoras referiram que o facto de no grupo de controlo ter sido usada uma estratégia centrada no professor levou a que nem todos os alunos conseguissem acompanhar da mesma forma os temas, “por terem ritmos de trabalho e de aprendizagem diferentes” (Professora A), pois “numa estratégia mais expositiva e centrada no professor, todos os alunos são obrigados a seguir o ritmo de aula imposto pelo professor e nem todos os alunos têm facilidade em acompanhar esse ritmo” (Professora B). Foi ainda referido pelas duas professoras que os alunos do grupo de controlo, desde a primeira aula, manifestaram “alguma preocupação com o teste de avaliação” (Professora B) de conhecimentos que teriam de realizar num final do ensino dos circuitos elétricos.

Em suma, as professoras realçaram que a abordagem usada com o ambiente de aprendizagem digital tem alguns ingredientes, onde se salienta um ensino centrado na aprendizagem e ritmo de cada aluno, que levou a que os alunos realizassem as tarefas de aprendizagem de um modo mais profundo e com maior nível de concentração quando comparados com os alunos do grupo de controlo. Os níveis de concentração e a gestão do ritmo de trabalho foram apontados pelas professoras com as principais diferenças entre os grupos.

Discussão dos Resultados

Relativamente à distribuição das pontuações obtidas pelos alunos dos dois grupos nas variáveis abordagem profunda e superficial, observou-se um aumento da pontuação na ‘abordagem profunda’ do pré para o pós-teste no grupo experimental, acompanhado por uma diminuição da pontuação da ‘abordagem superficial’. Esta tendência também foi observada nas respetivas subescalas de motivação e estratégia. Quanto ao grupo de controlo não se verificaram grandes alterações nestas variáveis. A comparação dos dois grupos no pré-teste e no pós-teste revelou equivalência dos grupos na variável ‘abordagem superficial’; ao nível da variável ‘abordagem profunda’ verificou-se que os dois grupos não são equivalentes, todavia atendendo às diferenças das magnitudes de efeito ($d = + 0.061$ para o pré-teste e $d = + 0.323$ para o pós-teste) nos dois momentos, podemos considerar os dois grupos equivalentes em termos da variável ‘abordagem profunda’ no pré-teste.

Quanto à evolução dos grupos, os resultados mostram que as pontuações médias das variáveis abordagem profunda e superficial foram significativamente diferentes do pré-teste para o pós-teste no grupo experimental, não havendo diferenças significativas nas mesmas variáveis para o grupo de controlo.

Também não houve interação significativa da covariável ‘classificação da disciplina de Físico-Química’ nos 7º e 8ºanos com as variáveis ‘abordagem profunda’ e ‘superficial’ nos dois grupos.

Estes resultados sugerem que a utilização de um ambiente de aprendizagem digital concebido com o modelo 4C/ID contribuiu para diminuir significativamente a pontuação da abordagem superficial dos alunos e que estes, quando confrontados com determinadas tarefas, adotaram com maior frequência uma abordagem profunda, o que está relacionado com o facto de as abordagens à aprendizagem tenderem a estar associadas às diferentes perceções que os alunos têm do ambiente de aprendizagem (Kirby, Knapper, Maki, Egnatoff

& Melle, 2002). Nesta investigação os alunos do grupo experimental nunca tinham vivenciado uma situação de aprendizagem semelhante a esta, com um ambiente de aprendizagem que, por um lado, é rico em conteúdos da física (em particular sobre circuitos elétricos) e por outro lado, que permite uma forte interação entre os alunos e as tarefas de aprendizagem, tornando a aprendizagem um processo mais estimulante. Este contexto/ambiente de aprendizagem pode ter incutido nos alunos uma maior motivação para o estudo da disciplina de Físico-Química. As pontuações obtidas com o IPE indicam que os alunos do grupo experimental tenderam a adotar uma abordagem mais profunda (no pós-teste), o que pode ter sido influenciado pelas suas perceções sobre o ambiente de aprendizagem; este fato é corroborado pela evolução das pontuações referentes às subescalas de motivação e estratégia. Podemos concluir que esta forma de trabalho pode ter contribuído para produzir nos alunos uma intenção de compreender mais profundamente a matéria relacionada com os circuitos elétricos.

Outro aspeto importante nestes resultados é o fato de os alunos do grupo experimental terem diminuído a sua pontuação na variável ‘abordagem superficial’, mostrando que, neste caso, esta variável foi sensível ao contexto de aprendizagem. Estes resultados podem ser explicados pela obrigatoriedade de os alunos terem de realizar todas as tarefas de aprendizagem de forma individual e pelo nível de concentração que estes demonstraram durante a realização das tarefas. Outra variável que poderá ter influenciado a alteração na abordagem superficial foi a gestão autónoma do ritmo de trabalho e de aprendizagem, pois os alunos tinham a possibilidade de ler e ouvir com atenção todas as informações fornecidas ao longo da realização das tarefas de aprendizagem, a que estava associado um sistema de *feedback* eficiente.

Segundo Biggs (1987a) e Zeegers (2001), as razões que levam os alunos a seguirem um determinado tipo de abordagem à aprendizagem são diversas, mas existem alguns dados

de investigação que mostram que os alunos adaptam as suas estratégias em função das perceções que desenvolvem sobre o contexto de aprendizagem. No nosso caso a interação positiva entre o tipo de abordagem à aprendizagem e o ambiente de aprendizagem torna-se mais evidente quando comparamos os resultados dos dois grupos. Convém recordar que no grupo de controlo a estratégia seguida pelas professoras foi mais tradicional, ou seja, estes alunos acabaram por adotar o tipo de abordagem que já tinham, provavelmente influenciada pelo método de ensino ao qual estavam habituados.

Apesar dos resultados referentes às diferenças e evolução das pontuações dos grupos serem estatisticamente significativos, a ordem de grandeza das magnitudes de efeito dificulta a generalização destes resultados. Portanto, a única conclusão que podemos tirar é que o ambiente com a abordagem instrutiva 4C/ID influenciou positivamente o tipo de abordagem à aprendizagem dos alunos da nossa amostra.

Importa ainda fazer uma referência ao estudo do efeito deste ambiente de aprendizagem sobre os desempenhos (reprodução e transferência) dos alunos realizado por Melo e Miranda (2015). Estes autores concluíram que o grupo experimental apresentou eficiência (variável que resulta da combinação dos dados de desempenhos com o esforço mental despendido pelos alunos) significativamente melhor ao nível da transferência da aprendizagem, explicando que os alunos tiveram necessidade de analisar os problemas sobre circuitos elétricos de uma forma mais profunda e mais significativa, o que corrobora a mudança de abordagem à aprendizagem adotadas pelos alunos.

No que respeita ao instrumento de recolha de dados usado, o IPE, apesar deste surgir em Gonçalves, et al. (2006) como validado para a população portuguesa do 3º ciclo do ensino básico, evidenciou uma configuração diferente da do estudo original. Na dimensão profunda os resultados desta investigação seguem a configuração prevista no estudo original, no que respeita à dimensão superficial os resultados apontam para uma organização diferente do

estudo original. Como um instrumento deve ser sempre validado para a amostra a que se aplica, podemos avançar com alguns argumentos para explicar esta configuração diferente dos itens entre o estudo original e o nosso estudo na dimensão ‘abordagem superficial’. O nosso estudo desenvolveu-se numa escola particular na região de Lisboa, colocada nos níveis superiores dos *rankings* das escolas e maioritariamente frequentada por alunos da classe média e média-alta. Além disso, os alunos têm, na sua maioria, hábitos de estudo e de disciplina ‘intelectual’, o que nem sempre acontece em outras escolas, frequentadas por todos os grupos sociais e com uma maior variedade de hábitos de estudo e trabalho ‘intelectual’. Pensamos que no grupo de alunos com que trabalhamos a abordagem superficial é menos usada o que pode explicar os problemas de validade ao nível da dimensão superficial. Contudo, este instrumento - IPE deve continuar a ser validado para outras amostras.

Conclusões e Implicações do Estudo

Podemos concluir que, em geral, o ambiente de aprendizagem digital concebido com o modelo 4C/ID gerou magnitudes de efeito globalmente baixas, acompanhadas por diferenças significativas ao nível das pontuações referentes à variável abordagem profunda. Este facto confina estes resultados a esta experiência em particular.

A abordagem instrutiva com o modelo 4C/ID gerou um ambiente de aprendizagem mais estimulante e centrado no aluno, encorajando a capacidade de gestão do seu ritmo de trabalho e de aprendizagem. Outro aspeto importante desta abordagem instrutiva é o sistema de *feedback* à aprendizagem, que permite que o aluno estabeleça relações entre o tema que está a aprender e os seus conhecimentos prévios, estimulando a transferência de aprendizagem a novas situações. Assim, podemos concluir que este trabalho dá mais um

contributo para se perceber que o contexto de aprendizagem influencia o tipo de abordagem à aprendizagem adotada pelos alunos.

Resta saber se este efeito terá consequências sobre as abordagens à aprendizagem a médio prazo. Neste sentido seria interessante e relevante fazer uma replicação deste estudo com *follow-up* ao grupo experimental e uma caracterização das estratégias de ensino usadas nos anos anteriores nos dois grupos, para que se possa atribuir com mais confiança as diferenças à alteração no tipo de ambiente de aprendizagem usado.

Esta investigação levanta ainda outras questões para futuras investigações relacionadas com as dimensões do constructo abordagens à aprendizagem, tais como: de que forma o nível de concentração dos alunos, a sua motivação para a aprendizagem e a gestão autónoma do ritmo de aprendizagem podem alterar o tipo de abordagem à aprendizagem adotado pelos alunos? Desta forma, sugere-se a utilização ou construção de instrumentos que possam avaliar estas variáveis, tal como foi sugerido por Lucas & Mayer em 2005.

No que respeita ao instrumento de avaliação, importa ainda referir que: 1) a versão IPE usado neste estudo, que foi originalmente validada para uma amostra da população portuguesa do 3º ciclo do ensino básico e do ensino secundário, e foi posteriormente utilizada por outros autores, tem revelado alguns problemas ao nível da validade do constructo. Assim, sugere-se que a sua validação seja efetuada em novas amostras de alunos do 3º ciclo do ensino básico e secundários, que sejam significativas e representativas tanto dos diferentes estratos socioeconómicos como do tipo de estabelecimento de ensino; 2) em vários estudos a dimensão superficial levanta alguns problemas de consistência interna, pelo que se sugere um maior cuidado na construção dos itens que constituem esta dimensão, nomeadamente a utilização de metodologias mistas, que permitam obter dados para interpretar os resultados de investigação, à luz das teorias subjacentes ao constructo ‘abordagens à aprendizagem’.

Referências

- Biggs, J. (1987a). *Student approaches to learning and studying*. Melbourne: Australian Council for Educational Research.
- Biggs, J.B. (1987b). *The Study Process Questionnaire (SPQ): Manual*. Hawthorn Victoria: Australian Council for Education Research.
- Biggs, J.B. (1988). Approaches to learning and to essay writing. In Schmeck, R.R. (Ed.). *Learning strategies and learning styles* (pp. 185-228). New York: Plenum.
- Biggs, J.B. (2003). *Teaching for quality learning at university*. Maidenhead: Open University Press.
- Coelho, J.P., Cunha, L.M., & Martins, I.L. (2008). *Inferência Estatística com utilização do SPSS e G*power*. Lisboa: Edições Silabo.
- Duff, A., & McKinstry, S. (2007). Students' approaches to learning. *Issues in Accounting Education*, 22(2), 183-214. DOI: 10.2308/iace.2007.22.2.183.
- Entwistle, N. (1990). Approaches to learning and perceptions of the learning environment. *Higher Education*, 33(2), 213-204.
- Gonçalves, M.M., Simões, M.R., Almeida, L.S., & Machado, C. (Coords.) (2006). *Avaliação Psicológica: Instrumentos validados para a população portuguesa*, volume I (2ªEd). Coimbra: Quarteto.
- Gow, L., Kember D., & Cooper, B. (1994). The teaching context and approaches to study of accounting students. *Issues in Accounting Education*, 9(Spring), 118–130.
- Jackling, B. (2005). Perceptions of the learning context and learning approaches: Implications for quality learning outcomes in accounting. *Accounting Education: An International Journal*, 14 (3), 271–291. DOI: 10.1080/06939280500036364.

- Kirby, J., Knapper, C., Maki, S., Egnatoff, W. & Melle, E. (2002). Computers and students' conceptions of learning: The transition from post-secondary education to the workplace. *Educational Technology & Society*, 5(2), 42-53.
- Kirshner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 1-10.
- Lucas, U., & Mayer, H. F. (2005). Towards a mapping of the student world: The identification of variation in students' conceptions of and motivation to learn, introductory accounting. *British Accounting Review*, 37(2), 177-204.
- Marôco, J. (2014). *Análise Estatística com o SPSS Statistics*. Pêro Pinheiro: Report Number.
- Marton, F., & Säljö, R. (1976a). On qualitative differences in learning: I – Outcomes & process. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 4-11.
- Marton, F., & Säljö, R. (1976b). On qualitative differences in learning: II – Outcome as an function of the learners conception of the task. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 115-127.
- Mayer, R. (Eds.). (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd Ed.). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 107-119.
- Melo, M., & Miranda, G. L. (2015). Learning electrical circuits: The effects of the 4C-ID instructional approach in the acquisition and transfer of knowledge. *Journal of Information Technology Education: Research*, 14, 313-337. Retirado de <http://www.jite.org/documents/Vol14/JITEv14ResearchP313-337Melo1752.pdf>
- Mosca, C., Makkink, A., & Stein, C. (2015). Learning approaches used by students in an undergraduate emergency medical care programme. *African Journal of Health Professions Education*, 7(1), 55-57. DOI: 10.7196/AJHPE.393.

- Paas, F. G., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Gerven, P. W. (2003). Cognitive load measurement as a mean to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.
- Paiva, M.O. (2008). *Abordagens à aprendizagem e abordagens ao ensino: Uma aproximação à dinâmica do aprender no secundário*. Manuscrito não publicado (tese de doutoramento). Universidade do Minho: Braga.
- Ramsden, P. (1979). Student learning and perceptions of the academic environment. *Higher Education*, 8, 411-427.
- Ramsden, P. (2003). *Learning to teach higher education* (2nd Ed.). London: Routledge.
- Snelgeove, S.R. (2004). Approaches to learning of student nurses. *Nurse Education Today*, 24, 605-614.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.
- Van Merriënboer, J. & Kester, L. (2014). The four-components instructional design model: multimedia principles in environments for complex learning. In R. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd Ed.) (pp. 104-149). New York: Cambridge University Press.
- Zeegers, P. (2001). Approaches to learning in science: A longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology*, 71, 115-132. DOI: 10.1348/000709901158424.

CAPÍTULO IV

Discussão Integrada dos Resultados

Esta investigação foi desenhada com os objetivos: 1) conceber um recurso educativo digital (RED) para o ensino do tema “circuitos elétricos” para os alunos do 9ºano; e 2) avaliar o seu impacto sobre os desempenhos dos alunos e sobre o tipo de abordagem à aprendizagem que estes adotam. A conceção do RED foi feita com base no modelo 4C/ID. Para se atingirem os objetos foram desenvolvidos cinco estudos, oferecendo cada um uma perspectiva única, mas que simultaneamente contribuem para a caracterização e compreensão do problema de investigação e cumprimento dos objetivos propostos.

O primeiro estudo (capítulo I) que corresponde a uma revisão sistemática da literatura com meta-análise, que teve como principal objetivo investigar na literatura os efeitos da utilização do modelo 4C/ID sobre a aprendizagem, em particular sobre a reprodução e transferência de conhecimentos. A meta-análise foi realizada com um conjunto de oito estudos criteriosamente selecionados. Os resultados mostraram que para o espectro de estudos selecionados e para as variáveis ‘desempenhos de reprodução’ e ‘desempenhos de transferência’, as magnitudes de efeito assumiram valores de + 0,70 e + 0,65, respetivamente, a favor dos sujeitos submetidos à abordagem instrutiva 4C/ID. Toda a metodologia usada na meta-análise encontra-se descrita em pormenor no capítulo I. De um modo geral, este estudo permitiu fazer duas inferências: 1) a utilização do modelo 4C/ID revela resultados benéficos no que respeita à aprendizagem, em comparação com outras abordagens instrutivas; e 2) há um défice notório de trabalhos de investigação experimental sobre a eficiência instrutiva (combinação dos dados das variáveis ‘desempenhos’ e ‘esforço mental percebido’) do modelo 4C/ID. Podemos assim concluir que esta última inferência confere validade e

pertinência à nossa investigação, uma vez que contribuímos para certificar empiricamente a utilização do modelo instrutivo em contexto educativo, nomeadamente em sala de aula e para este nível de ensino.

O segundo estudo (capítulo II) corresponde à descrição pormenorizada da construção do RED com base nos princípios teóricos do modelo 4C/ID (teoria da carga cognitiva e teoria da aprendizagem multimédia). Este estudo salienta os aspetos mais relevantes que devem ser tidos em consideração na construção de um RED (por exemplo, uma gestão mais eficiente da carga cognitiva imposta pelos materiais instrutivos tornando a aprendizagem mais eficiente). É neste estudo que são fundamentadas as opções tomadas para apresentação dos quatro componentes do modelo instrutivo, bem como a interligação entre eles.

No capítulo III fazemos a apresentação dos resultados de investigação. Este capítulo encontra-se subdividido em três subcapítulos:

- O subcapítulo III.1 corresponde a uma análise preliminar dos resultados de investigação, na qual se fez uma comparação da eficiência instrutiva nos dois grupos, usando o modelo teórico proposto por Paas & van Merriënboer (1993), que recorre aos valores médios das variáveis ‘desempenhos’ (de reprodução e de transferência) e ‘esforço mental percecionado’;
- O subcapítulo III.2 corresponde à comparação dos valores obtidos nas variáveis ‘desempenhos’ (reprodução e transferência), ‘esforço mental percecionado’ e ‘eficiência instrutiva’. A interpretação dos resultados foi feita com base nos modelos teóricos referidos na introdução e no capítulo I;
- O subcapítulo III.3 corresponde à análise do efeito da abordagem instrutiva 4C/ID sobre a variável ‘abordagens à aprendizagem’. É aqui que comparámos o efeito da utilização do modelo 4C/ID sobre o tipo de abordagem à aprendizagem que os alunos adotam, sendo interpretadas as diferenças encontradas com base nas características do RED.

Os resultados dos estudos realizados e a respetiva análise foram apresentados nos capítulos anteriores de forma independente, pelo que neste capítulo vamos fazer uma análise integrada dos mesmos. É também nosso objetivo que neste capítulo seja feita uma reflexão sobre as principais limitações desta investigação, sobre os seus contributos e implicações da utilização do modelo 4C/ID no contexto educativo (e.g. para a realização de aprendizagens complexas), não só no domínio do ensino da física, mas também noutros contextos/área de ensino. Por último, fazemos um levantamento de questões relevantes para futuras investigações.

Efeito da Abordagem Instrutiva Sobre os Desempenhos dos Alunos

Os desempenhos dos alunos foram avaliados com base nos testes de avaliação de desempenhos aplicados no final das intervenções em ambos os grupos. Foram comparados os valores obtidos nos testes de reprodução de conhecimentos e no teste de transferência de aprendizagem para os dois grupos. Os resultados revelaram que para a:

- Variável ‘desempenhos de reprodução’ houve diferenças significativas entre os dois grupos para ambos os momentos de aplicação dos testes ($\chi^2_{KW}(1) = 4.22$, $N = 129$, $p = 0.040$ para a primeira aplicação e $\chi^2_{KW}(1) = 16.73$, $N = 129$, $p = 0.000$ para o *follow-up*), com magnitudes de efeito de + 0.41 (primeira aplicação) e + 0.82 (*follow-up*);

- Variável ‘desempenhos de transferência’ houve diferenças significativas entre os dois grupos na primeira aplicação ($\chi^2_{KW}(1) = 26.06$, $N = 129$, $p = 0.000$) e no *follow-up* ($\chi^2_{KW}(1) = 139.67$, $N = 129$, $p = 0.000$) com magnitudes de efeito de + 1.10 e + 1.39, respetivamente.

Estes resultados evidenciam que os alunos do grupo experimental desenvolveram as competências necessárias à resolução de problemas sobre circuitos elétricos com melhores desempenhos, tanto ao nível da reprodução de conhecimentos como ao nível da transferência de aprendizagem. Estas diferenças podem ser explicadas pelo fato de o modelo 4C/ID

facilitar a aquisição de competências complexas (que envolvem a aquisição, coordenação e integração de conhecimentos e atitudes) através de um elevado grau de variabilidade contextual. Este grau de variabilidade leva a que os alunos adquiram não só conhecimentos gerais (e.g. resolução de problemas), mas também que desenvolvam a capacidade de os aplicar a novas situações. Este resultado é explicado pelo fato de o modelo 4C/ID estimular a aquisição e o aperfeiçoamento de esquemas mais complexos que envolvem maior número de interações entre os elementos de informação sobrecarregando menos o processamento de informação.

A construção destes conhecimentos genéricos, referida na literatura como ‘processo de elaboração’ (van Merriënboer & Kester, 2014), corresponde à atividade cognitiva na qual a nova informação é integrada nos esquemas mentais existentes na memória de longo prazo. No contexto do modelo 4C/ID esta integração é feita quando os alunos usam a informação de suporte (um dos componentes do modelo) para estabelecer a ponte entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios, o que no nosso caso foi feito através do vídeo com uma explicação da matéria (*domain models*), seguido de um ou mais exemplos resolvidos e parcialmente resolvidos (*systematic approaches to problem solving*). Neste processo os alunos em primeiro lugar procuram na sua memória esquemas que lhes possam fornecer uma estrutura cognitiva para a compreensão da informação genérica (e.g. usando uma analogia útil). Outro aspeto relevante é o fato de a informação de apoio ser apresentada aos alunos antes da prática das tarefas e de esta estar sempre acessível durante a fase de instrução (os alunos podiam voltar a visualizar os vídeos e a explorar os exemplos resolvidos e parcialmente resolvidos). Este procedimento permite que os alunos estabeleçam mais facilmente a ponte entre os conhecimentos já adquiridos e os novos conhecimentos que vão adquirindo ao longo da realização das tarefas de aprendizagem, com menor carga cognitiva associada, que foi o que aconteceu no teste de transferência de conhecimentos. No caso do

grupo de controlo a matéria era dada de forma compartimentada, ou seja, uma sequência de exposição de conceitos e procedimentos teóricos seguidos de alguns exercícios.

A existência de um sistema de *feedback* cognitivo ao longo da resolução das tarefas de aprendizagem constitui outro aspeto relevante para explicar porque é que os alunos do grupo experimental obtiveram melhores resultados ao nível da transferência de aprendizagem. Este sistema leva a que os alunos comparem a sua solução com outra solução adquirindo um novo elemento de informação para a resolução de problemas. Esta informação surge apenas no instante em que o aluno necessita dela e constitui outro componente do modelo 4C/ID (informação processual). Hattie (2009) no seu estudo meta-analítico refere que este tipo de *feedback* leva a que os alunos façam uma análise mais crítica do processo de resolução, produzindo desta forma conhecimentos mais profundos e duradouros. No capítulo II e no subcapítulo III. 2 foram referidos alguns exemplos deste tipo de *feedback*.

Genericamente, podemos concluir que os nossos resultados experimentais mostram que a utilização do modelo 4C/ID facilitou a aprendizagem do tema “circuitos elétricos” tanto ao nível da reprodução dos conhecimentos adquiridos como para a transferência de aprendizagem, para a amostra em estudo.

Efeito da Abordagem Instrutiva Sobre o Esforço Mental Percecionado

A carga cognitiva pode ser medida durante (*online*) a realização das tarefas ou após (*off-line*) a sua realização, através de métodos subjetivos, nos quais se incluem as escalas de índice (*rating scales*), ou objetivos que consistem na avaliação de algumas medições fisiológicas, como as alterações na frequência cardíaca, medidas psicofisiológicas dos movimentos dos olhos, medições dos tempos de resposta, etc. Tal como já referimos, nesta investigação avaliámos a carga cognitiva através da escala de índice unidimensional de 9 pontos de Paas (1992), que corresponde a um item no qual os sujeitos têm de traduzir a

quantidade percebida de esforço mental investido um valor numérico. O esforço mental é definido como sendo “o aspecto da carga cognitiva que se refere à capacidade cognitiva que é realmente usada para acomodar as exigências impostas por uma tarefa de aprendizagem; portanto, pode considerar-se que reflete a carga cognitiva real” (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003, p. 64).

Esta escala tem sido usada por vários autores, tendo revelado boa consistência interna. Por exemplo Paas, van Merriënboer e Adam (1994) reportaram valores de alfa de Cronbach de 0.90 (Paas, 1992) e 0.82 (Paas & van Merriënboer, 1994), Kester, Kirschner e van Merriënboer (2004) obtiveram 0.91, van Gog, Paas e van Merriënboer (2006) obtiveram 0.83 e 0.93. Concomitantemente, em 1994 Paas e van Merriënboer demonstram a sensibilidade da escala de 9 pontos para detetar variações na complexidade das tarefas e Ayres (2006) verificou que a escala era sensível a variações de carga cognitiva intrínseca durante os desempenhos das tarefas.

No contexto da avaliação do impacto da abordagem instrutiva sobre o esforço mental percebido pelos alunos, não podemos deixar de cruzar os resultados das medidas de desempenhos de reprodução e de transferência com o esforço mental, que foram avaliados após a realização dos respetivos testes de avaliação de desempenhos.

Relativamente à variável ‘esforço mental percebido’ verificou-se que: 1) não houve diferenças significativas entre os dois grupos em ambos os momentos de aplicação do teste de reprodução ($F(1,127) = 0.766$, $p = 0.383$, $\eta^2 = 0.006$ para a primeira aplicação e $F(1,127) = 0.967$, $p = 0.327$, $\eta^2 = 0.008$; 2); houve diferenças significativas entre os dois grupos nos dois momentos de aplicação no esforço percebido após a realização do teste de transferência ($F(1,127) = 44.337$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.259$ e $F(1,127) = 12.298$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.088$).

Van Gog e Paas (2008) referem que existe uma relação entre o nível de conhecimentos prévios/níveis crescentes de conhecimentos e a formação/aperfeiçoamento de esquemas mentais que levam a melhores desempenhos com menor esforço mental despendido. Estes autores verificaram que à medida que o nível de conhecimentos dos alunos vai aumentando, estes constroem e/ou automatizam também de forma crescente esquemas mentais relevantes para a concretização do tipo de tarefas que têm de realizar. Este processo leva a uma diminuição da carga cognitiva intrínseca imposta pela realização dessas tarefas. Estas evidências explicam os nossos resultados experimentais, pois verificou-se que, para a variável ‘desempenhos de reprodução’, o grupo experimental obteve melhores resultados do que os alunos do grupo de controlo, com os mesmos níveis de carga cognitiva, evidenciado que os alunos do grupo experimental aprenderam melhor os conteúdos e competências associados à resolução de problemas sobre circuitos elétricos. O fato de não ter havido diferenças ao nível do esforço mental percecionado, medido após a realização do teste de reprodução, pode ser explicado pelo tipo de estratégia usada no grupo de controlo, isto é, mais centrada no professor impondo um ritmo de aprendizagem que leva a que alguns alunos avancem para a tarefa seguinte sem terem aprendido ou realizado a tarefa anterior, enquanto que os sujeitos do grupo experimental geriram o ritmo de aprendizagem avançado para tarefa seguinte depois de terem realizado a anterior e de terem lido as mensagens de *feedback* cognitivo e corretivo geradas pelo sistema. Ou seja, os alunos do grupo de controlo associaram as situações do teste de reprodução de conhecimentos às situações de trabalhadas em sala de aula, mas não as interiorizaram, talvez por não as terem trabalhado de forma autónoma.

Em relação à variável ‘transferência de aprendizagem’ os resultados de investigação mostraram que os sujeitos do grupo experimental obtiveram melhores resultados com menor esforço mental percecionado, o que está relacionado com a diminuição da carga cognitiva

intrínseca. Portanto, podemos afirmar que o tipo de treino a que o grupo experimental foi sujeito permitiu adquirir e aperfeiçoar esquemas mentais adequados à resolução deste tipo de problemas. Isto significa que os alunos do grupo experimental conseguiram adquirir mais conhecimentos na fase da aprendizagem quando comparados com os alunos do grupo de controlo, fruto de um tipo de instrução mais eficaz que contempla a diminuição da carga cognitiva imposta pelos materiais instrutivos (em particular sobre a carga cognitiva intrínseca).

Por que existem estas diferenças entre os dois grupos? Um dos pressupostos do modelo 4C/ID é uma gestão eficiente da carga cognitiva. Como foi feito no nosso estudo? Essencialmente de quatro formas:

- 1) Sequenciando as tarefas de aprendizagem com apoio e orientação sucessivamente decrescentes;
- 2) Variando a tipologia de tarefas de aprendizagem dentro da mesma classe de tarefas (variabilidade contextual);
- 3) Apresentando a informação de apoio antes da realização das tarefas de aprendizagem, deixando-a acessível para consulta em qualquer fase da realização da classe de tarefas;
- 4) Apresentando a informação processual apenas quando esta é necessária para a realização de uma tarefa.

Para se diminuir a carga cognitiva intrínseca associada às tarefas de aprendizagem a primeira tarefa de cada classe de tarefas deve ser uma versão mais simples da competência complexa que se pretende trabalhar, sendo as primeiras tarefas realizadas com elevado nível de apoio e orientação que vão diminuindo à medida que os alunos avançam na mesma classe de tarefas (cf. capítulo II). No nosso caso optámos pelo uso de exemplos resolvidos e parcialmente resolvidos e por tarefas de completção os quais, de acordo com vários autores

(cf. Capítulo II), promovem a construção/reorganização de esquemas mentais, o que facilita a transferência de aprendizagem.

A diminuição da carga cognitiva estranha foi feita usando uma estratégia de sequencição na qual as tarefas de aprendizagem foram variando em termos de dimensão e de contexto/tipologia. Esta estratégia permitiu que os alunos tenham conseguido, por um lado, identificar os aspetos comuns às tarefas de aprendizagem e por outro lado, distinguir os aspetos relevantes dos irrelevantes. A apresentação da informação de apoio antes da prática de tarefas levou a uma diminuição da carga cognitiva intrínseca, uma vez que a análise da informação de apoio por si só já implica alguma complexidade que se for feita em simultâneo com a realização das tarefas implica uma sobrecarga cognitiva.

A apresentação da informação processual no exato momento em que esta é necessária, previne o fenómeno temporal da atenção dividida (*split-attention effect*) e minimiza a carga cognitiva estranha (Mayer & Slims, 1994). Este modo de apresentação da informação processual também evita o fenómeno espacial da atenção dividida (*spacial split-attention effect*), no sentido em que as diferentes fontes de informação (texto, imagens, animações e áudio) não devem ser apresentadas em simultâneo. Van Merriënboer, Kirschner & Kester (2003), verificaram que, evitando estes dois efeitos, se a informação processual for apresentada durante a realização das tarefas e que à medida que os alunos vão ganhando treino este tipo de informação tende naturalmente a dissipar-se.

Kester, Kirschner, van Merriënboer e Baumer (2001) verificaram que a apresentação da informação de suporte antes da prática de tarefas permite não só estabelecer a ponte entre os conhecimentos prévios dos alunos, mas também diminuir a carga cognitiva associada ao processo instrutivo. Assim, dado que a carga cognitiva total é aditiva, uma gestão cuidada destes três tipos de carga cognitiva permite diminuir a carga total o que implica melhores desempenhos dos alunos com menor esforço mental.

Quais são as implicações deste resultado? Se confiássemos somente nas pontuações de desempenho, concluiríamos apenas que ambas as abordagens instrutivas são igualmente eficazes e que apenas os sujeitos do grupo experimental obtiveram melhores resultados do que os do grupo de controlo. No entanto, se consideramos pontuações do esforço mental, torna-se claro que a qualidade da aprendizagem do grupo experimental foi maior que a do grupo de controlo, uma vez que os alunos do grupo experimental ganharam mais experiência (maior nível de conhecimentos) na resolução de tarefas sobre circuitos elétricos.

Assim, os nossos resultados ilustram a importância da utilização de medidas de esforço mental investido na resolução dos problemas durante a realização de um teste de avaliação de desempenhos como um elemento importante na análise dos resultados da aprendizagem. O esforço mental, combinado com as medidas de desempenho, fornece um indicador útil da qualidade dos resultados da aprendizagem, em termos da eficiência dos esquemas cognitivos adquiridos e/ou aperfeiçoados como resultado da instrução.

Efeito da Abordagem Instrutiva Sobre a Eficiência Instrutiva

Com o intuito de se obter uma medida singular da eficiência relativa das condições de instrução em termos de resultados de aprendizagem, Paas e van Merriënboer (1993) desenvolveram um modelo computacional que combina medidas de desempenhos (obtidas por intermédio de testes de avaliação) com medidas de esforço mental (obtidas através da escala de índice de Paas, 1993). Embora a eficiência instrutiva tenha sido desenvolvida para medir a eficiência das condições de instrução, van Gog e van Merriënboer (2008) argumentam que a combinação dos resultados dos desempenhos com o esforço mental percebido é um bom indicador do nível de especialização dos alunos (*expertise*) num determinado domínio, que está relacionado com a qualidade das estruturas cognitivas

adquiridas, ou seja, esta combinação pode ser usada para avaliar níveis relativos de aprendizagem.

Nos últimos 20 anos de investigação alguns autores (cf. Hasler, Kerstenn & Sweller, 2007; Tuovinen & Paas, 2004, entre outros) têm usado medida adaptadas de eficiência instrutiva, que corresponde à avaliação dos desempenhos e do esforço mental percebido durante a fase do processo de instrução. Tal como já referimos, a medida original de eficiência instrutiva permite a avaliação da eficiência em termos de resultados de aprendizagem (qualidade das estruturas cognitivas adquiridas como consequência da instrução), enquanto que as medidas adaptadas examinam a eficiência no processo de aprendizagem. Van Gog e Merriënboer (2008) referem que os resultados das duas medidas de eficiência instrutiva podem ser muito diferentes pois o desempenho e o esforço mental percebido são diferentes quando medidos numa fase de realização de tarefas de aprendizagem e numa fase de teste, portanto torna-se difícil interpretar as pontuações do esforço mental na fase de aprendizagem, porque os processos exatos nos quais o aluno investe esforço mental nesta fase é frequentemente desconhecido, levantando problemas a nível metodológico, principalmente quando se pretende comparar o esforço despendido por sujeito de dois grupos que experimentaram estratégia de ensino diferentes, como é o nosso caso. Assim, na nossa investigação optámos por comparar as medidas de eficiência obtidas da forma original, isto é, com avaliação de desempenhos e de esforço mental na fase de teste, uma vez que é nosso objetivo comparar a eficiências instrutiva de dois grupos que foram submetidos a abordagens instrutivas diferentes, o que nos permite avaliar a qualidade estruturas cognitivas adquiridas pelos dois grupos no contexto da resolução de problemas sobre circuitos elétricos.

Pela análise do diagrama das Figuras 16 a) e b) (p. 133) verifica-se que a eficiência das condições de instrução medidas após a realização dos testes foi superior para o grupo

experimental. De salientar que o grupo de controlo obteve menores desempenhos com maior esforço mental, o que está de acordo com o que referimos anteriormente, ou seja, o grupo experimental adquiriu de forma mais eficiente as competências necessárias para a resolução de problemas sobre circuitos elétricos. Os resultados da one-way ANOVA para eficiência medida após o teste de reprodução de conhecimentos revelou haver diferenças significativas entre os dois grupos ($F(1,127) = 6.350$, $p = 0.013$, $\eta^2 = 0.048$ para a primeira aplicação e $F(1,127) = 43.028$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.253$ para o *follow-up*), verificando-se ainda diferenças significativas entre os dois grupos na eficiência medida após o teste de transferência ($F(1,127) = 32.800$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.205$ para a primeira aplicação e $F(1,127) = 21.742$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.146$ para o *follow-up*). Em ambos os casos as medidas de magnitude de efeito foram fortes a favor do grupo experimental.

A gestão eficiente da carga cognitiva associada à instrução no grupo experimental é apontada como o principal fator que explica as diferenças encontradas nos dois grupos ao nível das eficiências. A estratégia usada no RED assentou na utilização de exemplos resolvidos e parcialmente resolvidos que têm como principal efeito a diminuição da carga cognitiva estranha e o aumento da carga cognitiva adequada, diminuindo a carga cognitiva a que estava sujeita a memória de trabalho durante a fase da aprendizagem.

Efeito da Abordagem Instrutiva Sobre a Variável 'Abordagens à Aprendizagem'

A avaliação do tipo de abordagem à aprendizagem adotado pelos alunos de ambos os grupos antes e após a intervenção no grupo experimental foi feita com o Inventário de Processo de Estudo (IPE) que tem duas dimensões (abordagem superficial e abordagem profunda) com duas subescalas (motivação e estratégia). No subcapítulo III.3 apresentou-se a análise exaustiva dos resultados obtidos.

Os resultados de comparação dos dois grupos ao nível das variáveis em estudo foram:

1) na variável ‘abordagem superficial’ os resultados revelaram que no pré-teste não houve diferenças significativas entre os dois grupos ($t(123) = - 1.326$, $p = 0.187$, $d = - 0.062$), havendo no entanto diferenças significativas no pós-teste ($t(123) = - 4.648$, $p = 0.000$, $d = - 0.199$); 2) na variável ‘abordagem profunda’ os resultados mostraram haver diferenças significativas entre os dois grupos no pré-teste ($t(123) = 2.546$, $p = 0.012$, $d = + 0.061$) e no pós-teste ($t(123) = 7.238$, $p = 0.000$, $d = + 0.323$).

No que respeita à evolução de cada grupo do pré-teste para o pós-teste os resultados mostram que: 1) o grupo experimental obteve cotações estatisticamente superiores no pós-teste quando comparado com o pré-teste para a variável ‘abordagem superficial’ ($t(75) = 5.139$, $p = 0.000$, $d = - 0.136$) e para a variável ‘abordagem profunda’ ($t(75) = - 8.337$, $p = 0.000$, $d = + 0.269$); 2) em média, para o grupo de controlo, as pontuações obtidas para as variáveis ‘abordagem superficial’ e ‘abordagem profunda’ são menores ou iguais no pós-teste ($t(48) = - 0.901$, $p = 0.372$, $d = + 0.021$ e $t(48) = - 0.743$, $p = 0.461$, $d = + 0.016$).

Estes resultados permitem inferir que a utilização do ambiente digital de aprendizagem para o ensino dos circuitos elétricos afetou o tipo de abordagem à aprendizagem adotado pelos sujeitos do grupo experimental. Esta influência pode ser explicada por três fatores que emergiram da análise da descrição do processo de implementação das duas abordagens instrutivas: 1) a gestão do ritmo de aprendizagem no grupo experimental foi centrada no aluno, enquanto que no grupo de controlo esse ritmo era imposto pelos professores; 2) no grupo experimental cada aluno trabalhou individualmente no seu computador com um sistema áudio, pelo que o nível de concentração sobre as informações de apoio e tarefas de aprendizagem foi superior quando comparado com o grupo de controlo no qual se verificou maior dispersão da atenção; 3) no grupo experimental os alunos eram obrigados a ler e refletir sobre as mensagens geradas pelo sistema de *feedback*,

pelo que executaram as tarefas de aprendizagem com um maior nível de aprofundamento, integrando os novos conhecimentos com os já adquiridos, o que permitiu flexibilizar as estruturas cognitivas associadas à aprendizagem dos circuitos elétricos.

O estudo desta variável leva-nos a concluir que, para a nossa amostra, o contexto de aprendizagem dos circuitos elétricos influenciou o tipo de abordagem à aprendizagem adotado pelos alunos do grupo experimental. Importa salientar que a amostra utilizada nesta investigação tem à partida maior tendência para adotar uma abordagem mais profunda em detrimento da superficial, daí que as medidas de magnitude de efeito tenham sido baixas. No entanto, para a experiência realizada e nos momentos em que o tipo de abordagem à aprendizagem foi medido podemos afirmar que o uso do modelo 4C/ID afetou esta variável.

Integrando estes resultados com os resultados dos desempenhos (de reprodução e de transferência) e de esforço mental percebido, podemos inferir que os alunos do grupo experimental adquiriram estruturas cognitivas que lhes permitiram resolver problemas sobre circuitos elétricos com menor esforço mental, i.e., de forma mais eficiente. Este fato levou as que os alunos tenham resolvido as tarefas de aprendizagem e os problemas dos testes de desempenhos com um maior nível de concentração, envolvimento e menos dependente do professor. Esta situação pode ter conduzido a que as percepções sobre o tipo de abordagem à aprendizagem que adotaram no contexto da resolução de problemas de Físico-Química se tenha modificado após esta experiência. O que não quer dizer que esta percepção se mantenha ao longo do tempo pois perante outro tipo de abordagem instrutiva ou até perante outro tipo de assunto, as suas percepções sobre o tipo de abordagem à aprendizagem podem ser diferentes. Como referimos no subcapítulo III.3, trata-se de um constructo multidimensional, logo dependente de várias variáveis como, por exemplo, variáveis relacionadas com a motivação e com o envolvimento na realização das tarefas de aprendizagem.

A discussão integrada dos resultados permitiu responder às questões de investigação formuladas na introdução da tese: Qual é o efeito da utilização da abordagem 4C/ID face à abordagem convencional sobre:

1. Os desempenhos relativos à reprodução de conhecimentos adquiridos?
2. Os desempenhos relativos à transferência de aprendizagem?
3. A carga cognitiva percecionada pelos alunos?
4. À eficiência instrutiva?
5. O tipo de abordagem à aprendizagem adotada pelos alunos?

Limitações do Estudo e Sugestões para Investigações Futuras

Nesta secção vamos discutir as principais limitações da investigação, apontando, em simultâneo, sugestões para futuros trabalhos de investigação.

O primeiro aspeto a realçar está relacionado com a avaliação da eficiência instrutiva. Tal como já referimos o cálculo desta variável baseia-se na combinação matemática dos resultados das variáveis ‘desempenhos’ (de reprodução e transferência) e ‘esforço mental percecionado’ medido após a realização dos testes de avaliação de desempenhos. Os resultados de investigação mostram que para a variável ‘eficiência instrutiva’ referente ao teste de reprodução de conhecimentos não houve diferenças significativas entre os dois grupos. No entanto, se observarmos os gráficos das Figuras 16 a) e b) (p. 133), verifica-se que como a distância do ponto correspondente à eficiência avaliada para o grupo experimental à reta correspondente a $E = 0$ é maior do que a mesma distância para o grupo de controlo, os resultados sugerem que para os desempenhos de reprodução a eficiência instrutiva para o grupo experimental foi superior à do grupo de controlo. Será que, apesar de não haver diferenças significativas entre os dois grupos, a eficiência instrutiva para os

desempenhos de reprodução foi superior à do grupo de controlo? Para responder a esta questão torna-se necessário usar outra forma de avaliação da eficiência instrutiva como, por exemplo, o tempo de resolução dos testes de desempenho que, de acordo com Salden, Paas, Broers e van Merriënboer (2004), é também um indicador do esforço mental despendido.

Segundo van Joolingen (2014) a variável ‘esforço mental’ deve estar associada a duas dimensões: a intensidade do esforço mental (avaliada com a escala de esforço mental de Paas) e o tempo despendido na realização das tarefas, que deveriam ser avaliadas para se obter o verdadeiro esforço mental. A utilização do tempo como medida de esforço mental acarreta duas vantagens: (i) a primeira está relacionada com o carácter linear da escala, por exemplo, se duplicarmos o tempo de resposta o esforço associado será também o dobro (o que com uma escala de tipo Likert de nove pontos pode não acontecer); (ii) a segunda está relacionada com o fato da gestão do tempo de resposta passar a estar centrada no aluno.

A medição da carga cognitiva é outro aspeto que merece a nossa reflexão. No nosso estudo a carga cognitiva a que os alunos foram sujeitos foi medida após a realização de cada um dos itens dos testes de desempenhos através de uma escala com um único item. Sendo a carga cognitiva constituída por três dimensões (carga intrínseca, carga estranha e carga adequada), com o instrumento usado torna-se impossível discriminar cada uma das dimensões. Por exemplo, se dois alunos de cada grupo indicarem uma classificação de esforço mental de 7 (esforço mental elevado) é impossível determinar se eles associam esse esforço à carga cognitiva intrínseca, estranha ou adequada. Assim, sugerimos que em investigações futuras seja possível criar e validar instrumentos que permitam discriminar as três dimensões da carga cognitiva, medindo a carga cognitiva durante a realização das tarefas de aprendizagem.

Apesar de ter sido nossa intenção não realizar um pré-teste sobre os conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema circuitos eléctricos, para evitar o efeito de teste (*testing*

effect), poderá ser objeto de outra investigação replicar este estudo com uma caracterização do nível de conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema, o que permitirá investigar a interação desta variável (‘nível de conhecimentos prévios dos alunos’) com as variáveis ‘desempenhos’, ‘esforço mental’ e ‘eficiência instrutiva’ para cada um dos grupos.

Outro aspeto muito importante neste tipo de estudo está relacionado com os dados de natureza qualitativa. Consideramos que a recolha e análise de dados qualitativos nos forneceu respostas concretas sobre a forma como o tipo de abordagem instrutiva afeta o processo de aprendizagem dos alunos, nomeadamente na caracterização do tipo de esquemas mentais que alunos adquirem durante a fase da instrução e sobre a forma como estes transferem os conhecimentos adquiridos a novas situações. Neste domínio também seria interessante caracterizar qualitativamente a existência de uma relação entre a familiarização dos alunos com os problemas apresentados nos testes de transferência, para ser perceber se os melhores desempenhos são fruto do tipo de abordagem instrutiva ou se dependem de outras variáveis.

Vale a pena ainda olhar criticamente para os vários componentes do modelo 4C/ID, em particular a informação de apoio. No nosso estudo usamos vídeos com a demonstração da matéria (*mental models*) e metodologias de resolução de problemas (*systemic approach to problem solving*) através do uso de exemplos resolvidos e parcialmente resolvidos e tarefas de completção. Uma outra linha de investigação que será interessante explorar é perceber até que ponto o uso de tarefas de tipologias diferentes permite minimizar o efeito de reversão da experiência (*expertise reversal effect*), i.e., até que ponto a informação que é fornecida na informação de apoio passa a ser redundante para os alunos com maior nível de treino (*expertise*). Para tal seria necessário aplicar o mesmo tipo de sequência de tarefas em grupos com diferentes níveis de treino e desta forma otimizar a relação entre o nível de variabilidade da tipologia de tarefas e o nível de treino dos alunos, o que tornaria o modelo imune ao nível de conhecimentos prévios dos alunos (*novice versus expertise*).

A primeira implicação deste estudo está relacionada com o uso do modelo 4C/ID para a promoção de aprendizagens complexas com recurso ao computador e baseados na resolução de problemas, como forma facilitadora da aprendizagem, em particular na transferência de aprendizagem.

Outro aspeto que ressalta desta investigação é fato de podermos usar o modelo 4C/ID em diferentes contextos disciplinares e em sala de aula com alunos do terceiro ciclo do ensino básico e do ensino secundário, desde que seja objetivo do professor ensinar e/ou treinar uma competência complexa.

Em suma, a presente investigação estudou a viabilidade da utilização do modelo 4C/ID como uma abordagem facilitadora da aprendizagem complexa em contexto de sala de aula e para o terceiro ciclo do ensino básico. Os resultados da investigação revelaram que o uso do modelo 4C/ID facilitou a aprendizagem do tema circuitos elétricos tanto ao nível da reprodução conhecimentos como ao nível da transferência de aprendizagem. Sugere-se a replicação deste estudo em alunos do mesmo nível de ensino e do ensino secundário e em diferentes contextos disciplinares com meio facilitador de aprendizagens complexas.

Referências

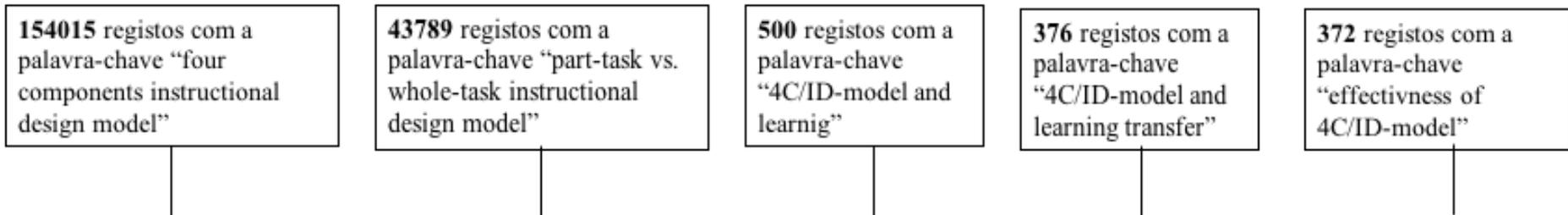
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic load within problems. *Learning and Instruction, 16*, 389–400.
- Hasler, B.S., Kerslen, B., & Sweller, K. (2007). Learner control, cognitive load and instructional animation. *Applied Cognitive Psychology, 21*(6), 713-729. Doi: 10.1002/acp.1345.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning – A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. New York: Routledge.
- Kester, L., Kirschner, P. A., van Merriënboer, J. J. G., & Baumer, A. (2001). Just-in-time information presentation and the acquisition of complex cognitive skills. *Computers in Human Behaviour, 17*, 373-391.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology, 84*, 429–434.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors, 35*, 737-743.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology, 86*, 122–133.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist, 38*, 63–71.
- Paas, F., van Merriënboer, J. J. G., & Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive-load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills, 79*, 419–430.

- Salden, R. J. C. M., Paas, F., Broers, N., & Van Merriënboer, J. J. G. (2004). Mental effort and performance as determinants for the dynamic selection of learning tasks in air-traffic control training. *Instructional Science*, *32*, 153-172.
- Tuovinen, J., & Paas, F. (2004). Exploring multidimensional approaches to the efficiency of instructional conditions. *Instructional Science*, *32*, 133–152.
- Van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original Construct in Educational Research. *Educational Psychologist*, *43*(1), 16-26. doi: 10.1080/00461520701756248.
- Van Joolingen, W. (2014). *A critical analysis of the conceptual and mathematical properties of “instructional Efficiency”*. Manuscrito não publicado. Retirado de <http://vanjoolingen.nl/wp-content/uploads/2014/04/Efficiency-WvJ-Blog.pdf>.
- Van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learners' mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, *38*, 5-13.
- Van Merriënboer, J.J.G., & Kester, L. (2014). The Four-Component Instructional Design Model: Multimedia Principles in Environments for Complex Learning. In R. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd ed.) (pp.104-149). New York: The Cambridge University Press.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors*, *35*, 737-743.

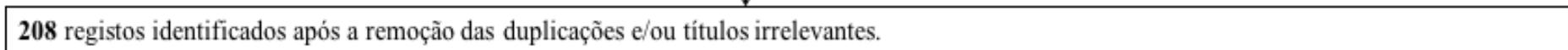
ANEXOS

ANEXO I – Protocolo da meta-análise

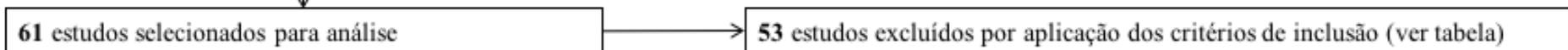
Identificação



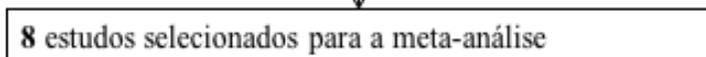
Triagem



Elegíveis



Incluídos



	Ano	Autores	Título	Critérios de inclusão							Decisão Incluir (S)/nã incluir (N)
				1	2	3	4	5	6	7	
1	2001	Kester, Kirschner, et al.	Just-in-time information and the acquisition of complex cognitive skills	x	x	x	x		x	x	N
2	2001	Naldolsky, Kirchner, et al.	A model for optimizing step size of learning tasks in competency-based multimedia practicals	x	x	x	x		x	x	N
3	2001	Merril	First principals of instruction								N
4	2001	Hoogveld, Paas, et al.	The effects of a web-based training in na instructional systems design approach on teachers' instructional desig behavior		x	x	x	x	x	x	N
5	2002	van Merriënboer, Clark, et al.	Blueprints for complex learning: The 4C/ID-model								N
6	2002	van Merriënboer, de Crook, et al.	Performance-based ISD 10 steps to complex learning								N
7	2002	Kirschner, Carr, et al.	How expert designers design								N
8	2002	Pollock, Chandler, et al.	Assimilating complex information								N
9	2002	van Gerven, Paas, et al.	Cognitive load theory and aging: effects of worked examples on training efficiency		x	x	x	x	x	x	N
10	2003	van Merriënboer, Kirschner, et al.	Taking the load off a learner's mind: instructional design for complex learning								N
11	2003	Naidu	Learning and teaching with technology: principles and practices								N
12	2003	Pytlik, Lisa, et al.	Web-based learning: what do we know? Where do we go?								N
13	2004	Tabbers, Huib, et al.	Multimedia instruction and cognitive load theory: effects of modality and cueing		x	x	x	x	x	x	N
14	2004	van Merriënboer, Salden, et al.	Dymanic selection of learning tasks according to the 4C/ID-model	x	x	x	x		x	x	N
15	2004	Salden, Paas, et al.	Mental effort and performance as determinants for the dynamic selection of learning tasks in air traffic control trianing	x	x	x	x		x	x	N
16	2004	Kester, van Merriënboer, et al.	Information presentation and troubleshooting in electrical circuits		x	x	x	x	x	x	N
17	2005	Sarfo, Elen.	Power learning environments and the developmente of thecnical expertise in Ghana: investigating the moderating effect of instructional conceptions		x	x	x	x	x	x	N

18	2005	Hoogveld, Paas, et al.	Training higher education for instructional design of competency-based education: product-oriented versus process-oriented worked examples		x	x	x	x	x	x	N
19	2005	van Merriënboer, Sweller, et al.	Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future directions								N
20	2005	Nadolsky, Kirchner, et al.	Optimizing the number of steps in learning tasks for complex skills	x	x	x	x	x	x	x	S
21	2005	Kester, Kirchner, et al.	The management of cognitive load during complex cognitive skill acquisition by means of computer-simulated problem solving		x	x	x	x	x	x	N
22	2006	Hummel, Hans, et al.	Timing of cueing in complex problem-solving tasks: learner versus system control		x	x	x	x	x	x	N
23	2006	Sarfo, Elen.	Technical expertise development in secondary technical schools: effects of IC-enhanced 4C/ID learning environments	x	x	x	x	x	x	x	S
24	2006	Ayres	Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in mathematical domain		x	x	x	x	x	x	N
25	2006	van Merriënboer, Kester, et al.	Teaching complex rather than simple tasks: balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning		x	x	x	x	x	x	N
26	2006	Salden, Paas, et al.	Dynamic task selection in flight management system training		x	x	x	x	x	x	N
27	2006	Salden, Paas, et al.	A comparison of approaches to learning task selection in the training of complex cognitive skills		x	x	x	x	x	x	N
28	2006	Janssen-Noordeman, van Merriënboer, et al.	Design of integrated practice for learning professional competences		x	x	x		x	x	N
29	2006	Lim	Effects of part-task and whole-task instructional approaches and learner levels of expertise on learner performance of a complex cognitive task	x	x	x	x	x	x	x	S
30	2006	Nadolsky, Kirchner, et al.	Process support in learning tasks for acquiring complex skills in the domain of law	x	x	x	x	x	x	x	S
31	2006	Halibi	Applying an instructional learning efficiency model to determine the most efficient feedback for teaching introductory accounting		x	x	x		x	x	N
32	2006	van Gog, Paas, et al.	Effects of process-oriented worked examples on troubleshooting transfer performance		x	x	x	x	x	x	N
33	2007	Darabi, Aubteen, et al.	Acquisition of troubleshooting skills in a computer simulation: worked examples vs. Conventional problem solving instructional strategies		x	x	x	x	x	x	N
34	2007	Grobe, Renkl, et al.	Finding and fixing error in worked examples: can this foster learning outcomes?		x	x	x	x	x		N

54	2011	Mihalca, Salden, et al.	Effectiveness of cognitive-load based adaptive instruction in genetics education		x	x	x	x	x	x	N
55	2011	Frederiksen, Kehoe, et al.	Effects of instructional aids on the acquisition of dynamic decision-making skills		x	x	x	x	x	x	N
56	2011	Flores	Examining the Design and Impact of Adaptively Faded Worked Examples on High School Students' Mathematics Problem Solving Skills	x	x	x	x	x	x	x	S
57	2011	Corbalan, Kester, et al.	Learner-control selection tasks with different surface and structural features: effects and transfer and performance		x	x	x	x	x	x	N
58	2012	Tijam, Schout et al.	Designing simulator-based training: an approach integrating cognitive task analysis and four-component instructional design	x	x	x	x		x	x	N
59	2012	Lim & Park	An Instructional Method for Competency-based e-Learning: A whole-task approach	x	x	x	x	x	x	x	S
60	2012	Rosenber-Kima	Effect of task-centered vs. Topic-centered instructional strategy approaches on problem solving - learning to program in flash	x	x	x	x	x	x	x	S
61	2012	Yan, Xia, et al.	Innovation in the educational technology course for pre-service student teachers in east China normal university								N

ANEXO II - Teste de reprodução de conhecimentos sobre circuitos elétricos

Nome: _____ Turma: _____

Para cada um dos 14 itens, assinale na folha de respostas apenas a opção que considere correta.

1. A corrente elétrica corresponde ao movimento ...
(A) ... aleatório de cargas elétricas.
(B) ... orientado de cargas elétricas.
(C) ... apenas de cargas elétricas negativas.
2. Considere os componentes de circuitos elétricos representados na figura 1 seguinte:

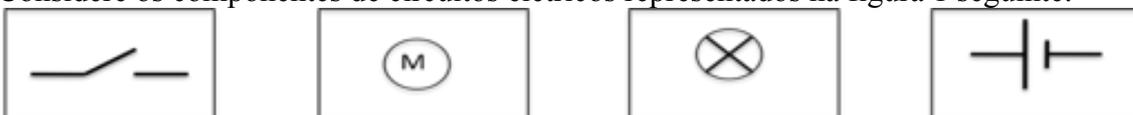
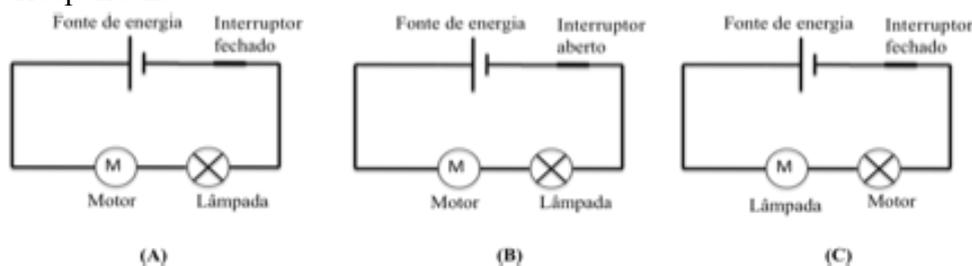


Figura 1

A sequência que representa os nomes corretos dos componentes representados na figura é:

- (A) interruptor aberto, lâmpada, motor e fonte de energia.
(B) Interruptor aberto, motor, lâmpada e fonte de energia.
(C) Interruptor fechado, motor, lâmpada e fonte de energia.
3. Selecione o circuito que está corretamente legendado, fazendo um círculo da letra correspondente:



4. Observe atentamente os circuitos A e B esquematizados na figura 2 que se segue:

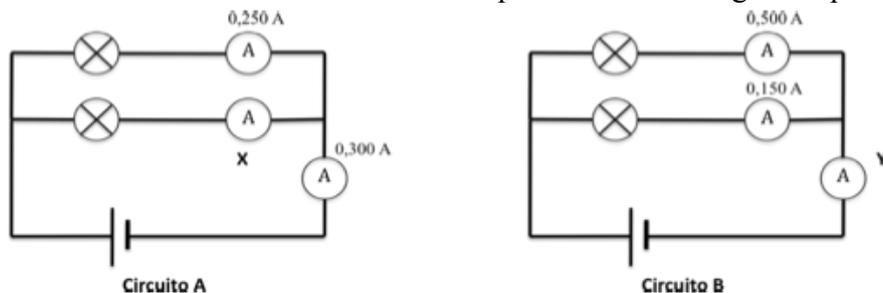


Figura 2

Selecione a opção que completa corretamente a frase que se segue: “Os amperímetros X e Y marcam ...”

- (A) ... 0,250 A e 0,650 A, respetivamente.
 (B) ... 0,550 A e 0,500 A, respetivamente.
 (C) ... 0,050 A e 0,650 A, respetivamente.
5. Observe atentamente os circuitos A e B esquematizados na figura 3 que se segue:

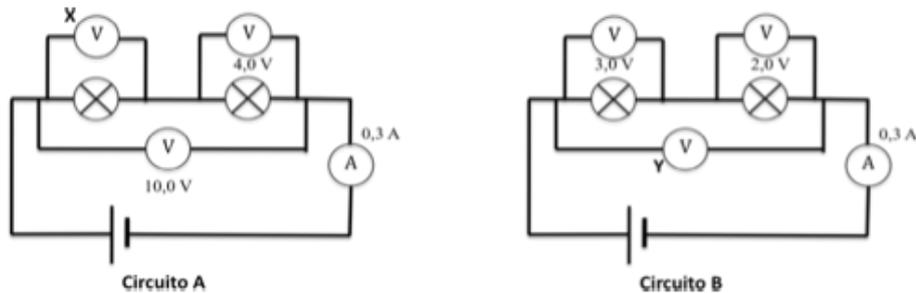


Figura 3

Selecione a opção que completa corretamente a frase que se segue: “Os voltmímetros X e Y marcam ...”

- (A) ... 6,0 V e 5,0 V, respetivamente.
 (B) ... 4,0 V e 5,0 V, respetivamente.
 (C) ... 6,0 V e 4,0 V, respetivamente.
6. Considere os circuitos A e B esquematizados na figura 4, em que as lâmpadas L_1 e L_2 têm as mesmas características e os geradores são iguais.

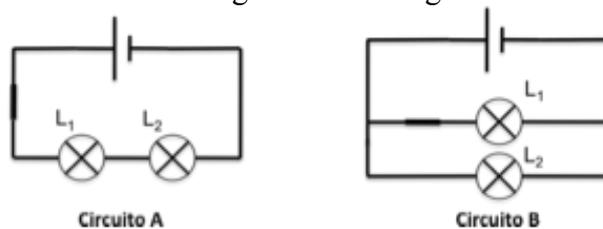


Figura 4

Relativamente aos dois circuitos (A e B), podemos afirmar que:

- (A) As lâmpadas L_1 e L_2 estão apagadas.
 (B) As lâmpadas L_1 e L_2 estão acesas.
 (C) Só no circuito A é que as lâmpadas estão acesas.
7. Considere o circuito esquematizado na figura 5, no qual se consideram iguais as duas lâmpadas. Complete os espaços em branco nos retângulos, indicando o valor medido pelo instrumento de medida.

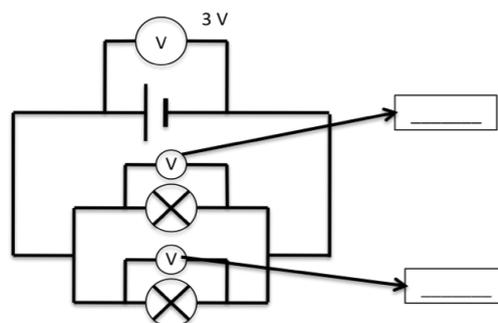


Figura 5

8. Considere o circuito esquematizado na figura 6, no qual se consideram iguais as duas lâmpadas. Complete os espaços em branco nos retângulos, indicando o valor medido pelo instrumento de medida.

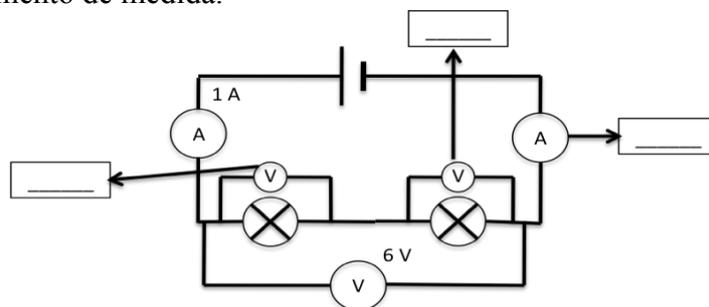


Figura 6

9. Considere o circuito esquematizado na figura 7, no qual se consideram iguais as duas lâmpadas. Complete os espaços em branco nos retângulos, indicando o valor medido pelo instrumento de medida.

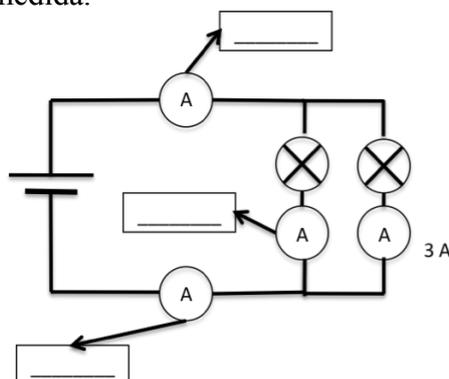
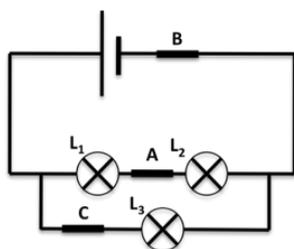
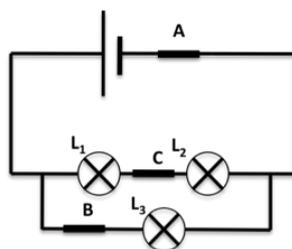


Figura 7

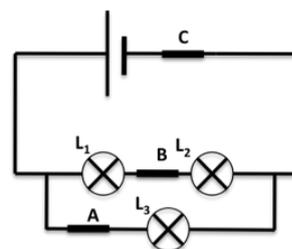
10. Considere a seguinte situação: pretende-se esquematizar um circuito elétrico constituído por uma fonte de energia, três lâmpadas iguais (L_1 , L_2 e L_3) e três interruptores (A , B e C), de modo a que aconteça o seguinte:
Abrindo o interruptor A acendem apenas as lâmpadas L_1 e L_2 .
Selecione o esquema que representa corretamente a situação descrita.



Esquema A

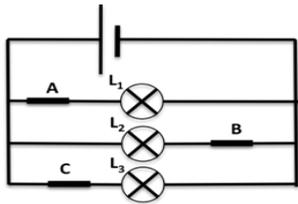


Esquema B

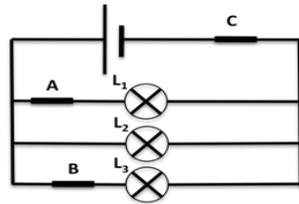


Esquema C

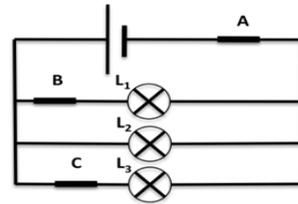
11. Considere a seguinte situação: pretende-se esquematizar um circuito elétrico constituído por uma fonte de energia, três lâmpadas iguais (L_1 , L_2 e L_3) e três interruptores (A, B e C), de modo a que aconteça o seguinte: Abrindo o interruptor C acendem apenas as lâmpadas L_1 e L_2 . Selecione o esquema que não representa corretamente a situação descrita.



Esquema A

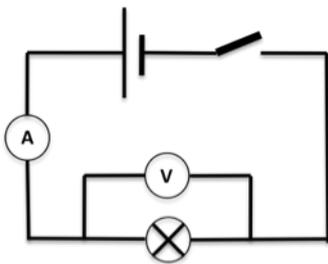


Esquema B

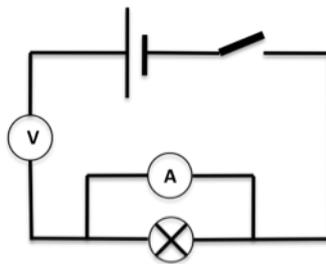


Esquema C

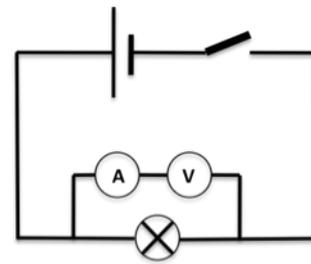
12. Considere os circuitos representados pelos esquemas A, B e C apresentados na figura. Selecione a opção que corresponde ao esquema correto.



Esquema A



Esquema B



Esquema C

13. Considere o circuito esquematizado na figura 8, em que as lâmpadas L_1 , L_2 , L_3 e L_4 são iguais.

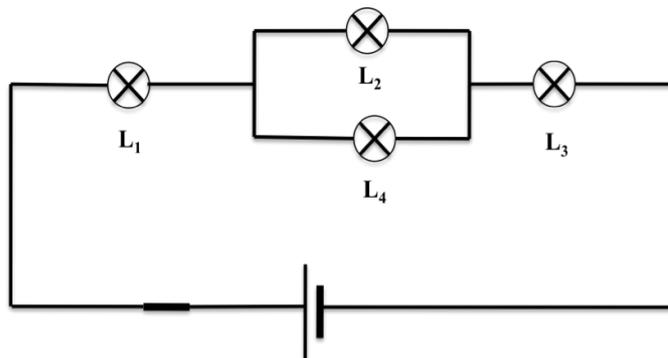
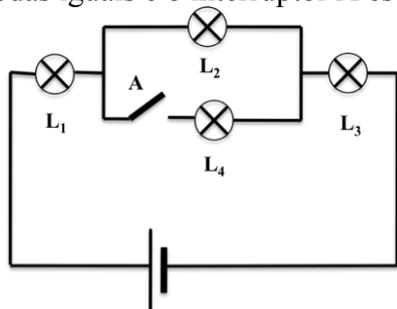


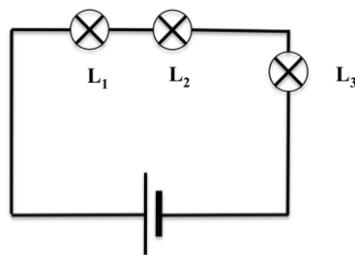
Figura 8

- Quando se funde a lâmpada L_4 , verifica-se que:
 (A) As restantes lâmpadas permanecem acesas.
 (B) Só a lâmpada L_2 fica acesa.
 (C) Apagam-se todas as lâmpadas.

14. Considere os esquemas A e B representados na figura, em que as lâmpadas L_1 , L_2 e L_3 são todas iguais e o interruptor A está aberto.



Esquema A



Esquema B

Nas condições apresentadas na figura, podemos afirmar que:

- (A) As três lâmpadas brilham mais intensamente no circuito do esquema B.
- (B) As três lâmpadas têm o mesmo brilho nos dois esquemas.
- (C) A lâmpada L_2 do esquema A tem um brilho mais intenso que a lâmpada L_2 do esquema B.

FIM

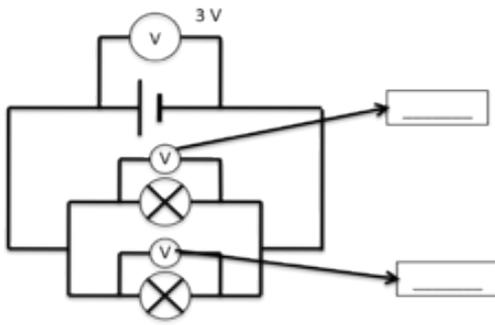
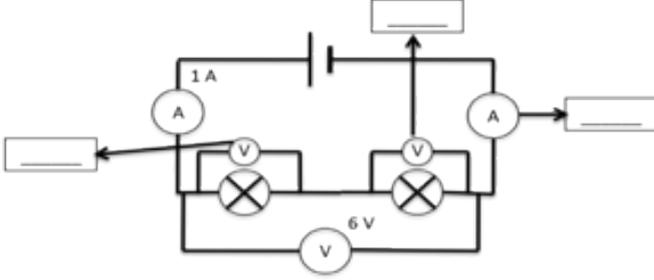
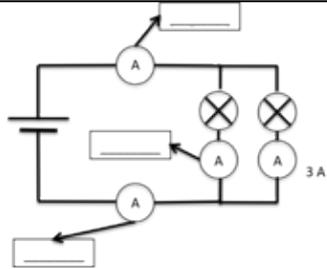
Obrigado pela sua colaboração!

-----**Página em branco**-----

Folha de repostas para o Teste de Reprodução sobre circuitos elétricos

Nome: _____ turma: _____

- Para os itens 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13 e 14, assinale com uma cruz (X) a opção que considerar correta.
- Para os itens 7, 8 e 9 escreva no respetivo esquema a sua resposta.

item	Reposta		
1.	(A)	(B)	(C)
2.	(A)	(B)	(C)
3.	(A)	(B)	(C)
4.	(A)	(B)	(C)
5.	(A)	(B)	(C)
6.	(A)	(B)	(C)
7.			
8.			
9.			
10.	(A)	(B)	(C)
11.	(A)	(B)	(C)
12.	(A)	(B)	(C)
13.	(A)	(B)	(C)
14.	(A)	(B)	(C)

ANEXO III – Teste de transferência de conhecimentos sobre circuitos elétricos

Nome: _____ Turma: _____

Para cada um dos 14 itens, assinale na folha de respostas apenas a opção que considere correta.

1. Considere o circuito esquematizado na figura 1:

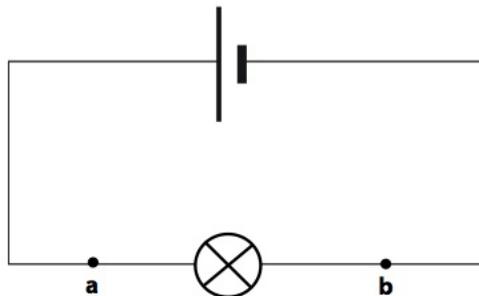


Figura 1

O que podemos afirmar sobre a intensidade da corrente elétrica nos pontos **a** e **b**?

- (A) A intensidade da corrente elétrica é maior em **a**.
- (B) A intensidade da corrente elétrica é menor em **a**.
- (C) A intensidade da corrente é igual em **a** e **b**.

2. No circuito da figura 2 pode afirmar-se que (L_1 , L_2 e L_3 são lâmpadas idênticas):

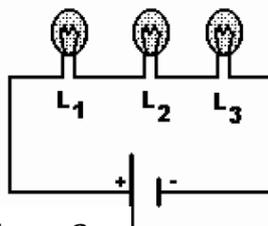


Figura 2

- (A) L_1 brilha mais do que L_2 e esta mais do que L_3 .
- (B) L_3 brilha mais do que L_2 e esta mais do que L_1 .
- (C) as três lâmpadas têm o mesmo brilho.

3. No circuito da figura 3, R é uma resistência elétrica e L_1 e L_2 são duas lâmpadas idênticas. Neste circuito:

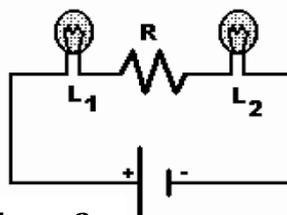


Figura 3

- (A) L_1 e L_2 têm o mesmo brilho.
- (B) L_1 brilha mais do que L_2 .
- (C) L_2 brilha mais do que L_1 .

4. No circuito da figura 4, R é uma resistência elétrica e L_1 e L_2 são duas lâmpadas idênticas. Neste circuito:

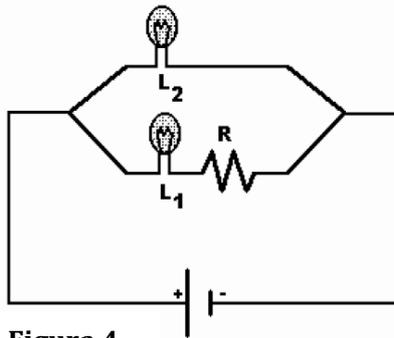


Figura 4

- (A) L_1 tem o mesmo brilho de L_2 .
 (B) L_2 brilha mais do que L_1 .
 (C) L_1 brilha mais do que L_2 .

Para as questões 5 e 6 considere o circuito da figura 5, em que L_1 , L_2 , L_3 e L_4 são lâmpadas idênticas.

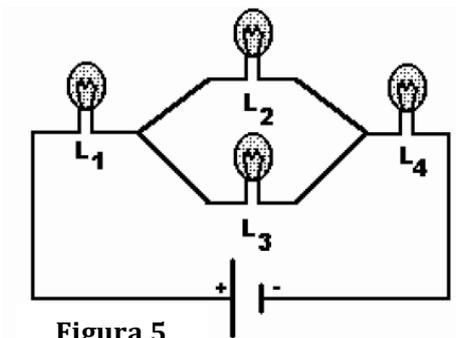


Figura 5

5. No circuito da figura 5 o brilho de L_1 é :
 (A) igual ao de L_4 .
 (B) maior do que o de L_4 .
 (C) menor do que o de L_4 .
6. No circuito da figura 5 o brilho de L_2 é:
 (A) igual ao de L_4 .
 (B) maior do que o de L_4 .
 (C) menor do que o de L_4 .

O circuito da figura 5 foi modificado tendo sido retirada a lâmpada L_3 . O novo circuito é, então, o da figura 6.

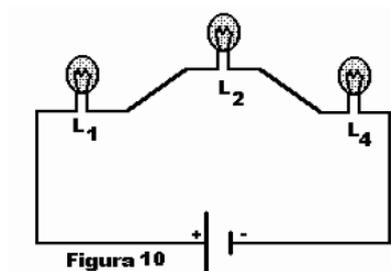
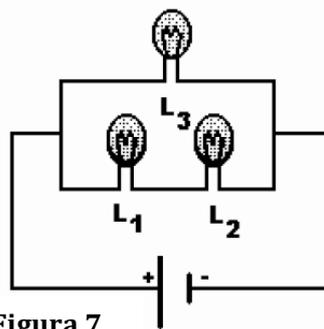


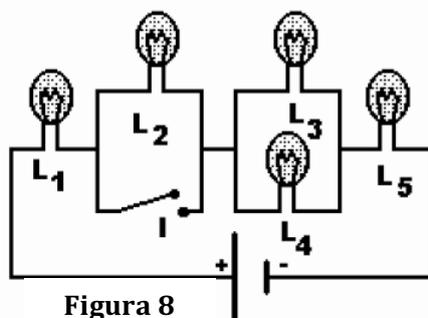
Figura 10

Figura 6

7. Quando se compara o brilho de L_1 nos circuitos 5 e 6 ele é:
- (A) maior no circuito 6.
 - (B) menor no circuito 6.
 - (C) o mesmo nos dois.
8. Quando se compara o brilho de L_4 nos circuitos 5 e 6 ele é:
- (A) maior no circuito 6.
 - (B) menor no circuito 6.
 - (C) o mesmo nos dois.
9. No circuito da figura 7 (L_1 , L_2 e L_3 são lâmpadas idênticas):



- (A) L_1 e L_2 têm o mesmo brilho que é menor do que o de L_3 .
 - (B) L_1 brilha mais do que L_2 e do que L_3 .
 - (C) L_1, L_2 e L_3 têm o mesmo brilho.
10. No circuito da figura 8, quando o interruptor I é fechado, as lâmpadas L_3 e L_4 brilham, embora L_2 deixe de brilhar. O que acontece com as lâmpadas L_1 e L_5 ?



- (A) L_1 e L_5 não brilham.
- (B) L_1 brilha e L_5 não brilha.
- (C) L_1 e L_5 brilham.

Para os itens 9, 10, 11 e 12 considere os circuitos de A a I esquematizados na figura 9, nos quais os geradores e as lâmpadas são todas iguais.

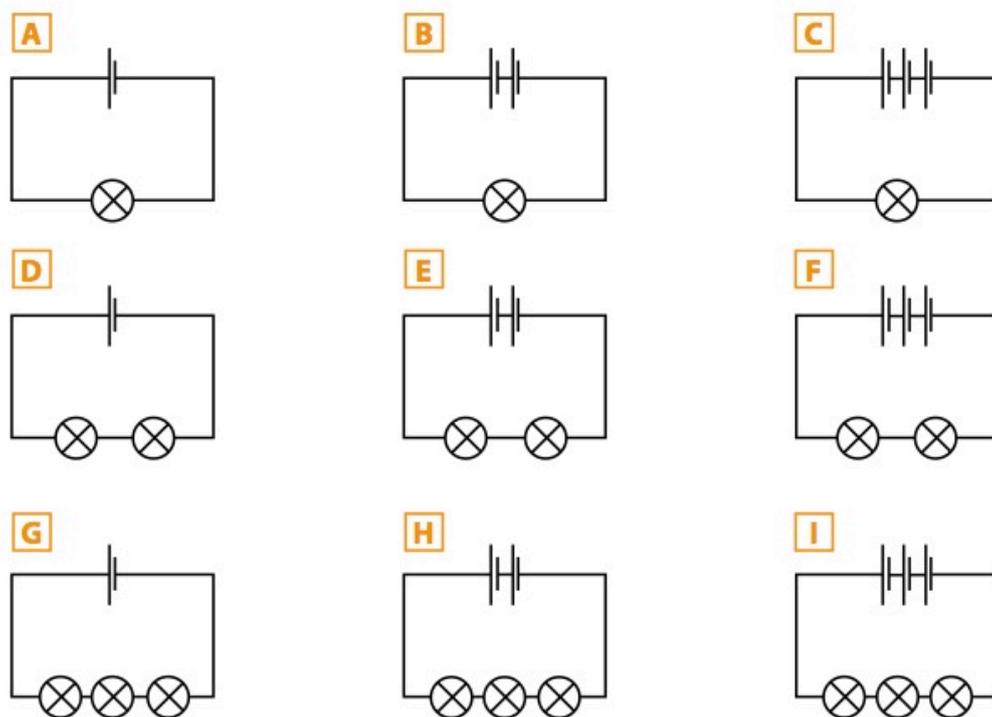


Figura 9

11. Qual é o circuito em que o brilho da lâmpada é maior?
12. Qual é o circuito em que o brilho da lâmpada é menor?
13. Qual é o circuito em que a intensidade da corrente é menor?
14. Qual é o conjunto de três circuitos em que as lâmpadas (no mesmo circuito), apresentam o mesmo brilho e a mesma intensidade de corrente elétrica?

FIM

Obrigado pela sua colaboração!

Folha de repostas para o Teste de Transferência sobre circuitos elétricos

Nome: _____ turma: _____

- Para os itens 1 ao 10, assinale com uma cruz (X) a opção que considerar correta.
- Para os itens 11 ao 14 escreva a letra correspondente ao esquema que considerou como resposta correta.

item	Reposta		
1.	(A)	(B)	(C)
2.	(A)	(B)	(C)
3.	(A)	(B)	(C)
4.	(A)	(B)	(C)
5.	(A)	(B)	(C)
6.	(A)	(B)	(C)
7.	(A)	(B)	(C)
8.	(A)	(B)	(C)
9.	(A)	(B)	(C)
10.	(A)	(B)	(C)
11.	Resposta: _____		
12.	Resposta: _____		
13.	Resposta: _____		
14.	Resposta: _____		

ANEXO IV - Escala de valor (*rating scale*) de carga cognitiva (Paas, 1992)

Nome: _____ Turma: _____

Com a aplicação desta escala pretende-se avaliar o esforço mental investido na resolução dos problemas do teste de **reprodução/transferência** de conhecimentos sobre circuitos elétricos.

Para cada problema considere a seguinte afirmação sobre o esforço mental investido por si na resolução de cada problema:

“Na resolução ou estudo dos problemas anteriores investi ...”

Para cada problema considere apenas uma das classificações da escala de 1 a 9, marcando com uma cruz (x), a opção que considerou mais adequada ao esforço mental por si investido.

Problema	Esforço mental								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

Escala:

- 1 - Um esforço mental **muito muito pequeno**.
- 2 - Um esforço mental **muito pequeno**.
- 3 - Um esforço mental **pequeno**.
- 4 - Um esforço mental **pouco pequeno**.
- 5 - Um esforço mental **nem pequeno nem elevado**.
- 6 - Um esforço mental **pouco elevado**.
- 7 - Um esforço mental **elevado**.
- 8 - Um esforço mental **muito elevado**.
- 9 - Um esforço mental **muito muito elevado**.

ANEXO V - Inventário de Processos de Estudo

(Gonçalves, Simões, Almeida & Machado, 2006)

Nome:

Turma:

RESPONDA TENDO EM ATENÇÃO A DISCIPLINA DE FÍSICO-QUÍMICA COSTUMO ...	Nunca	Poucas vezes	Algumas vezes	Muitas vezes	Sempre
1. Peço que os professores me digam exatamente a matéria que sai no teste porque só estudo isso. (MS)	1	2	3	4	5
2. Invisto tempo e esforço a tentar relacionar a matéria nova que estou a estudar com o que já sei sobre esse tema. (MP)	1	2	3	4	5
3. Estudo só nas vésperas dos testes. Leio só uma vez ou duas os apontamentos. (ES)	1	2	3	4	5
4. Estudo diariamente ao longo do ano letivo e revejo os apontamentos regularmente. (EP)	1	2	3	4	5
5. Penso que para ter boas notas o melhor é repetir apenas as ideias e frases que os professores dizem nas aulas. (MS)	1	2	3	4	5
6. Gosto de estudar. Tento compreender e traduzir por palavras minhas o que está escrito nos livros/apontamentos. (MP)	1	2	3	4	5
7. Penso que completar apontamentos com informações extra é uma perda de tempo. Só estudo pelos apontamentos tirados na aula ou as páginas do livro com a matéria que vai sair no teste. (ES)	1	2	3	4	5
8. Depois de uma aula ou de uma leitura, releio os apontamentos que tirei para me certificar que estão claros e que os entendo bem. (EP)	1	2	3	4	5
9. Trabalho e estudo só o que eu acho suficiente para ter positiva. (MS)	1	2	3	4	5
10. Estudo pelo prazer que me dá compreender as respostas aos “porquês”. (MP)	1	2	3	4	5
11. Na maioria das disciplinas, estudo o suficiente para passar. (ES)	1	2	3	4	5
12. Quando recebo testes/trabalhos corrigidos, leio com cuidado as correções feitas e tento compreender os porquês dos erros que fiz. (EP)	1	2	3	4	5

OBRIGADO PELO SUA COLABORAÇÃO.

ANEXO VI – Fichas de observação das aulas dos dois grupos

Observação das aulas do grupo experimental

9º ano turma: A

Sessão 1

Data: 08/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões de exploração do RED;

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none">• Entrada na sala de aula;• Comentários;• Reações (positivas e negativas) ao tipo de aula;• Questões colocadas;• Atitude perante e entrega dos guiões de exploração.	Os alunos entraram na sala de informática e mostraram logo curiosidade sobre o que iria acontecer e como iria acontecer. Os alunos reagiram bem à entrega dos guiões.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none">• Atitude dos alunos perante os computadores;• Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem;• Dificuldades sentidas durante a utilização do RED;• Dificuldades sentidas na realização das tarefas de aprendizagem;• Frequência de solicitação do professor.	Os alunos ouviram com muita atenção as instruções do professor e fizeram uma primeira leitura do guião. Começaram de imediato a realizar as tarefas na aula 1. As principais dificuldades sentidas prenderam-se com o facto de não conseguirem parar e/ou voltar atrás no vídeo com a informação de suporte do início de cada aula. Estiveram muito concentrados e focados na realização das tarefas. Alguns alunos sentiram necessidade fazer apontamentos no seu caderno diário.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none">• Comentários;• O que agradou mais aos alunos durante a utilização do RED;• Principais dificuldades sentidas;• Sugestões para alterações.	No final da aula os alunos não fizeram comentários, apenas perguntaram se a próxima aula seria na sala de informática.

Observação das aulas do grupo experimental

9º ano turma: A

Sessão 2

Data: 09/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões de exploração do RED;

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none">• Entrada na sala de aula;• Comentários;• Reações (positivas e negativas) ao tipo de aula;• Questões colocadas;• Atitude perante e entrega dos guiões de exploração.	Nesta sessão os alunos entraram mais calmos na sala de informática. Ocuparam de forma autónoma os lugares que tinham ocupado na primeira sessão e começaram logo a trabalhar. Alguns alunos perguntaram se poderiam começar novamente da primeira aula.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none">• Atitude dos alunos perante os computadores;• Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem;• Dificuldades sentidas durante a utilização do RED;• Dificuldades sentidas na realização das tarefas de aprendizagem;• Frequência de solicitação do professor.	Os alunos continuaram a trabalhar muito concentrados e focados nas tarefas de aprendizagem. Não houve dispersão na aula. A realização das tarefas de aprendizagem da aula 3 demorou mais tempo do que as tarefas das aulas 1 e 2. Quando erravam uma resposta, os alunos liam com atenção as mensagens de feedback que iam surgindo nas diferentes tarefas e depois voltavam novamente a ler e/ou observar o circuito elétrico que estavam a analisar. As últimas tarefas de cada aula eram realizadas de forma mais autónoma, ou seja, não voltaram a visualizar o vídeo e não voltavam a ver os exemplos resolvidos.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none">• Comentários;• O que agradou mais aos alunos durante a utilização do RED;• Principais dificuldades sentidas;• Sugestões para alterações.	“Nunca tinha feito uma coisa destas”, “Gostei”, “Podíamos fazer estas aulas mais vezes”.

Observação das aulas do grupo experimental

9º ano turma: C

Sessão 1

Data: 06/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões de exploração do RED;

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada na sala de aula; • Comentários; • Reações (positivas e negativas) ao tipo de aula; • Questões colocadas; • Atitude perante e entrega dos guiões de exploração. 	<ul style="list-style-type: none"> - a entrada na sala de informática foi feita com alguma agitação devido à curiosidade dos alunos; os alunos demoraram cerca de 5 min a ocuparem os seus lugares e a testarem o sistema de som; - em geral as reações foram muito positivas; - começaram logo por perguntar se podiam começar logo; - os alunos leram os guiões e ouviram os meus esclarecimentos iniciais.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none"> • Atitude dos alunos perante os computadores; • Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem; • Dificuldades sentidas durante a utilização do RED; • Dificuldades sentidas na realização das tarefas de aprendizagem; • Frequência de solicitação do professor. 	<ul style="list-style-type: none"> - não houve dificuldades no manuseamento dos computadores; - quando iniciaram as tarefas o silêncio total, estavam muito concentrados, alguns alunos tiravam notas sobre as informações dos vídeos; os alunos que não tiraram apontamentos queriam voltar atrás nos vídeos (o que não é possível fazer), este aspeto gerou alguma agitação; - não houve manifestações de dificuldades na realização das tarefas; - fui chamada porque queriam saber se seria possível voltar atrás nos vídeos sem o terem de visualizar de novo.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Comentários; • O que agradou mais aos alunos durante a utilização do RED; • Principais dificuldades sentidas; • Sugestões para alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> - comentários: “é uma aula diferente”, “no princípio não percebi bem o que era para fazer, mas depois até foi engraçado”, “prefiro as aulas da stora”. - os alunos gostaram mais de trabalhar cada um com o seu computador.

Observação das aulas do grupo experimental

9º ano turma: C

Sessão 2

Data: 08/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões de exploração do RED;

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none">• Entrada na sala de aula;• Comentários;• Reações (positivas e negativas) ao tipo de aula;• Questões colocadas;• Atitude perante e entrega dos guiões de exploração.	<ul style="list-style-type: none">- a entrada na sala de informática foi feita com menor agitação, dirigiram-se de imediato para o seu lugar e começaram a trabalhar; muito voltaram a repetir as tarefas que já tinham realizado na aula anterior;- nesta aula não houve dúvidas e questões.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none">• Atitude dos alunos perante os computadores;• Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem;• Dificuldades sentidas durante a utilização do RED;• Dificuldades sentidas na realização das tarefas de aprendizagem;• Frequência de solicitação do professor.	<ul style="list-style-type: none">- não houve dificuldades no manuseamento dos computadores;- continuaram muito concentrados e empenhados da realização das tarefas;- a única questão colocada foi: “quando terminar o que faço?”
No final da aula	<ul style="list-style-type: none">• Comentários;• O que agradou mais aos alunos durante a utilização do RED;• Principais dificuldades sentidas;• Sugestões para alterações.	<ul style="list-style-type: none">- os alunos mostraram-se agradados com fato que poderem trabalhar individualmente, gerindo o seu ritmo de trabalho.

Observação das aulas do grupo experimental

9º ano turma: E

Sessão 1

Data: 07/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões de exploração do RED;

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none">• Entrada na sala de aula;• Comentários;• Reações (positivas e negativas) ao tipo de aula;• Questões colocadas;• Atitude perante e entrega dos guiões de exploração.	Os alunos entraram na sala de informática com uma grande agitação e com muita vontade de trabalhar com a aplicação. Durante a leitura e explicação dos guiões os alunos estiveram com muita atenção. Neste momento não houve questões.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none">• Atitude dos alunos perante os computadores;• Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem;• Dificuldades sentidas durante a utilização do RED;• Dificuldades sentidas na realização das tarefas de aprendizagem;• Frequência de solicitação do professor.	Os alunos não revelaram grandes dificuldades em trabalhar com o RED; durante a realização das tarefas estiveram sempre muito atentos e muito concentrados no seu trabalho; alguns alunos tiraram apontamentos sobre os vídeos iniciais [informação de apoio] e iam realizando as atividades com muita calma, senti que estavam a gerir de forma autónoma o tempo de aprendizagem; alguns alunos sentiram necessidade de repetir as tarefas de aprendizagem.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none">• Comentários;• O que agradou mais aos alunos durante a utilização do RED;• Principais dificuldades sentidas;• Sugestões para alterações.	Os alunos ficaram surpreendidos de em tão pouco tempo conseguirem adquirir os diferentes conteúdos de uma forma tão autónoma; ficaram muito agradados com a possibilidade de poderem gerir o ritmo de aprendizagem e de trabalho.

Observação das aulas do grupo experimental

9º ano turma: E

Sessão 2

Data: 10/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões de exploração do RED;

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none">• Entrada na sala de aula;• Comentários;• Reações (positivas e negativas) ao tipo de aula;• Questões colocadas;• Atitude perante e entrega dos guiões de exploração.	A entrada nesta sessão foi muito calma. Eles já sabiam o que tinha de fazer, colocaram os headphones e iniciaram sem dificuldade a aplicação. Alguns alunos perguntaram se podiam repetir as tarefas que já tinha feito da aula anterior, respondi afirmativamente.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none">• Atitude dos alunos perante os computadores;• Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem;• Dificuldades sentidas durante a utilização do RED;• Dificuldades sentidas na realização das tarefas de aprendizagem;• Frequência de solicitação do professor.	Trabalho com grande empenho e concentração.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none">• Comentários;• O que agradou mais aos alunos durante a utilização do RED;• Principais dificuldades sentidas;• Sugestões para alterações.	Em geral os alunos mostraram-se muito agradados com esta forma de aprender e perguntaram quando é que poderiam repetir.

Ficha de observação das aulas do grupo controlo

9º ano turma: B

Sessão 1

Data: 06/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões com método tradicional sobre o tema “Circuitos elétricos”.

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none">• Entrada na sala de aula;• Comentários;• Questões colocadas;• Como é que o professor faz a introdução ao tema na aula?	<ul style="list-style-type: none">- os alunos mostraram alguma curiosidade relativamente ao ambiente digital usado pelos alunos do grupo experimental;- o tema foi logo introduzido recorrendo a simulações previamente preparadas pela professora.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none">• Quais são os recursos usados pelo professor?• Quais são as reações dos alunos?• Como é a participação dos alunos?• Os alunos revelam dificuldade em compreender os conteúdos?• Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem;• Frequência de solicitação do professor.	<ul style="list-style-type: none">- para além do manual e do caderno de exercícios, foram usadas simulações de circuitos;- os alunos revelaram alguma atenção durante a exposição da matéria, mas mostraram-se mais agitados nos momentos de resolução de exercícios;- nem todos os alunos conseguiam resolver os exercícios propostos até ao fim (alguns por terem um ritmo de trabalho mais lento, outros por estarem desatentos)
No final da aula	<ul style="list-style-type: none">• Comentários.	<ul style="list-style-type: none">- maioritariamente os alunos deste grupo mostraram curiosidade sobre os testes de avaliação de conhecimentos (o que não aconteceu com turma do grupo experimental).

Ficha de observação das aulas do grupo controlo

9º ano turma: B

Sessão 2

Data: 08/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões com método tradicional sobre o tema “Circuitos elétricos”.

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada na sala de aula; • Comentários; • Questões colocadas; • Como é que o professor faz a introdução ao tema na aula? 	<ul style="list-style-type: none"> - a entrada na aula realizou-se com alguma agitação; - a professora teve de dizer várias vezes que era necessário tirar o material e começar a trabalhar.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são os recursos usados pelo professor? • Quais são as reações dos alunos? • Como é a participação dos alunos? • Os alunos revelam dificuldade em compreender os conteúdos? • Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem; • Frequência de solicitação do professor. 	<ul style="list-style-type: none"> - a professora usou uma apresentação em <i>power point</i> para abordar os circuitos em série e em paralelo; durante a apresentação dos alunos estiveram com atenção; - de seguida começaram a resolver exercícios do manual e do caderno de exercícios, o que ocorreu com agitação e alguma conversa sobre as tarefas e sobre outros assuntos; - nem todos os alunos terminaram os exercícios propostos.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Comentários. 	<ul style="list-style-type: none"> - os alunos mais aplicados continuaram a mostrar alguma preocupação com os testes de avaliação.

Ficha de observação das aulas do grupo controlo

9º ano turma: E

Sessão 1

Data: 07/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões com método tradicional sobre o tema “Circuitos elétricos”.

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada na sala de aula; • Comentários; • Questões colocadas; • Como é que o professor faz a introdução ao tema na aula? 	<ul style="list-style-type: none"> - os alunos entraram de forma ordenada na aula e dirigiram-se para os seus lugares. - retiraram os materiais das mochilas e espera que a professora ditasse o sumário.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são os recursos usados pelo professor? • Quais são as reações dos alunos? • Como é a participação dos alunos? • Os alunos revelam dificuldade em compreender os conteúdos? • Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem; • Frequência de solicitação do professor. 	<ul style="list-style-type: none"> - em geral os alunos reagiram bem ao tema; - a professora começou por abordar o tema da eletricidade questionando os alunos sobre questões ligadas às centrais elétricas e gestão da energia elétrica; - para o estudo do conceito de circuito a professora optou por mostrar um circuito em funcionamento, aberto e fechado, atribuiu os nomes dos dispositivos usados (fontes de energia, recetores, etc.). Os alunos faziam registos nos seus cadernos diários; - seguiu-se a realização de exercícios do manual e do caderno de atividades. Nesta parte da aula houve agitação e dispersão, e nem todos os alunos terminaram as tarefas propostas; - alguns alunos queriam saber o formato do teste de avaliação.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Comentários. 	<ul style="list-style-type: none"> - nesta sessão não houve comentários, talvez por ser uma aula convencional às quais já estava habituados.

Ficha de observação das aulas do grupo controlo

9º ano turma: E

Sessão 2

Data: 10/05/2013

Objetivo:

- Recolher dados sobre atitudes, reações, e comportamento dos alunos e do professor durante as sessões com método tradicional sobre o tema “Circuitos elétricos”.

Instante da observação	Descrição	Observações
No início da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada na sala de aula; • Comentários; • Questões colocadas; • Como é que o professor faz a introdução ao tema na aula? 	<ul style="list-style-type: none"> - os alunos entraram de forma ordenada na aula e dirigiram-se para os seus lugares. - retiraram os materiais das mochilas e espera que a professora ditasse o sumário.
Durante a aula	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são os recursos usados pelo professor? • Quais são as reações dos alunos? • Como é a participação dos alunos? • Os alunos revelam dificuldade em compreender os conteúdos? • Empenho e entusiasmo na realização das tarefas de aprendizagem; • Frequência de solicitação do professor. 	<ul style="list-style-type: none"> - para a abordagem da série e paralelo a professora usou uma apresentação em <i>power point</i> e um programa de simulação de circuitos elétricos. Nesta fase da aula os alunos estiveram atentos a ouvir as explicações da professora, sem haver grandes participações; - na fase da resolução de exercícios do manual e do caderno de atividades gerou-se novamente alguma agitação, diminuindo o nível de concentração na realização das tarefas.
No final da aula	<ul style="list-style-type: none"> • Comentários. 	<ul style="list-style-type: none"> - nesta sessão não houve comentários, talvez por ser uma aula convencional às quais já estava habituados.

ANEXO VII – GUIÃO DE ENTREVISTA DE INVESTIGAÇÃO

Temática: Utilização do ambiente de aprendizagem “Circuitos Elétrico” em contexto de sala de aula.

Entrevistadas: Professoras do Ensino Básico e Secundário da disciplina de Física e Química das turmas dos grupos experimental e de controlo.

Objetivos gerais:

- 1) Recolher as opiniões das professoras das turmas dos grupos de experimental e de controlo sobre a utilização do ambiente de aprendizagem;
- 2) Obter as perceções das professoras dos grupos experimental e de controlo sobre as dificuldades sentidas pelos alunos na aprendizagem do tema circuitos elétricos;
- 3) Recolher sugestões das professoras dos grupos experimental e de controlo sobre possíveis alterações a realizar no ambiente de aprendizagem.

Estratégia:

- Semidiretiva;
- Os blocos temáticos estão organizados do mais geral para o mais específico;
- Levar as entrevistadas a explicitar e clarificar o mais possível os seus pontos de vista, perspetivas, linguagem, termos, conceitos, à medida que for elaborando o seu discurso;
- Começar por colocar sempre a questão de forma geral e neutra, para não induzir as entrevistadas num determinado sentido e depois ir pegando em aspetos anteriores que eventualmente não tenham ficado muito claros para o entrevistador;
- Falar numa linguagem mais coloquial e pouco técnica, pedindo sempre que possível exemplos de casos concretos;
- Algumas questões podem servir diferentes objetivos e blocos temáticos.

Bloco temático	Objetivos específicos	Exemplos de questões	Observações
A. Legitimação da entrevista	<ul style="list-style-type: none"> • Informar acerca do objetivo da entrevista e do contexto em que esta surge; • Valorizar o contributo da entrevistada; • Garantir a confidencialidade da fonte de informação e anonimato das respostas e do discurso produzido; • Agradecer a participação no estudo. 	<p>1. Importa-se que a entrevista seja gravada?</p>	<p>Salientar que se trata de uma entrevista realizada no âmbito de um trabalho académico de um doutoramento.</p> <p>Agradecer antecipadamente a colaboração das entrevistadas.</p>
B. Caracterização das entrevistadas	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer as entrevistadas do ponto de vista profissional; • Permitir que as entrevistadas falem. 	<p>2. Que idade tem?</p> <p>3. Há quantos anos é professora?</p> <p>4. Quais são os anos que leciona?</p>	
C. Utilização das TIC em sala de aula	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer se as entrevistadas usam as TIC na sua prática letiva; • Conhecer de que forma as entrevistadas usam as TIC na sua prática letiva. 	<p>5. Usa as tecnologias? Para quê? Preparar aulas, realizara atividades na sala de aula com os alunos?</p> <p>6. Quais são as TIC que costuma utilizar?</p> <p>7. Gosta de utilizar as TIC nas suas aulas?</p> <p>8. Com que frequência costuma a utilizar as TIC nas suas aulas?</p>	
D. Expectativas face à utilização do ambiente de aprendizagem digital	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer as expectativas das entrevistadas face à utilização do ambiente de aprendizagem digital para o ensino dos circuitos elétricos. 	<p>9. Ou Fale-me um pouco do que pensou e sentiu quando teve conhecimento deste projeto</p>	

<p>E. Dificuldades sentidas pelos alunos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer a perceção das professoras sobre as dificuldades sentidas pelos alunos do grupo experimental na resolução dos problemas sobre circuitos elétricos; • Conhecer a perceção das professoras sobre as dificuldades sentidas pelos alunos do grupo de controlo na resolução dos problemas sobre circuitos elétricos; 	<p>10. Como reagiram os alunos da sua turma à proposta de trabalho? E que dificuldades demonstraram? (GE)</p> <p>11. Que dificuldades sentiram os alunos (GE) da sua turma na resolução dos problemas sobre circuitos elétricos?</p> <p>12. Como reagiram os alunos (do GC) na abordagem que utilizou no ensino dos circuitos elétricos?</p> <p>13. Que dificuldades sentiram os alunos (do GC) na resolução dos problemas de circuitos elétricos?</p> <p>14. Que diferenças encontrou na reação dos alunos dos dois grupos na resolução dos problemas sobre circuitos elétricos?</p>	
<p>F. Aspetos positivos e negativos da utilização do ambiente de aprendizagem digital</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer a perceção das professoras dos grupos experimental e de controlo sobre os aspetos positivos e negativos da utilização do ambiente de aprendizagem digital. 	<p>15. Quais os aspetos que considerou mais positivos na proposta de trabalho, no ambiente digital?</p> <p>16. E quais os aspetos negativos?</p>	
<p>G. Potencialidades e limitações do ambiente de aprendizagem digital</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer a perspetiva das entrevistadas sobre as potencialidades e limitações do ambiente de aprendizagem digital; • Recolher sugestões das entrevistadas sobre possíveis alterações a realizar no ambiente de aprendizagem digital. 	<p>17. Que recursos costuma utilizar no ensino dos circuitos elétricos?</p> <p>18. Considera que este recurso é uma ferramenta útil no ensino dos circuitos elétricos?</p> <p>19. Comparando a experiência das aulas dos dois grupos, que aspetos gostaria de salientar?</p>	

		<p>20. Gostou do recurso? O que é que gostou mais?</p> <p>21. O que alteraria ou acrescentaria?</p>	
<p>H. Elementos de carácter complementar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recolher informação adicional que as entrevistadas considerem relevante; • Agradecer a disponibilidade e as opiniões dadas sobre as questões colocadas. 	<p>22. Deseja acrescentar algo que não tenha sido abordado e que considere importante?</p>	

PROTOCOLO DAS ENTREVISTAS

Professora A (grupo experimental: turma C e grupo de controlo: turma B)

Investigador - Importa-se que entrevista seja gravada?

Não, claro que pode ser gravada.

Investigador - Que idade tem? Há quantos anos é professora? E que níveis tem lecionado?

Tenho 38 anos e dou aulas há 5 anos sempre ao ensino básico.

Investigador – Usa as tecnologias em sala de aula? Como as usa?

A nível das tecnologias uso com alguma frequência as apresentações em *power point*, em sala de aula, principalmente quando os temas envolvem a interpretação de imagens, gráficos, esquemas.

Investigador – Gosta de usar as TIC em aula?

Sinceramente gosto de usar as TIC em aula, mas confesso que não tenho tido muito tempo para as preparar, mas quando tenho tempo tento procurar ou até pedir a colegas alguns recursos para o computador.

Investigador – Fale-me um pouco do que penso e sentiu quanto teve conhecimento deste projeto?

A minha primeira reação foi de algum receio, talvez por não saber bem o que iria acontecer, mas depois descontraí quando começamos a definir os objetivos de aprendizagem para os dois grupos e as estratégias.

Investigador – Como reagiram os alunos da sua turma experimental à proposta de trabalho?

Pode descrever as dificuldades sentidas por eles?

Considero que as duas turmas são muito diferentes. A do grupo experimental é menos participativa e mais sossegada enquanto que a do grupo de controlo é mais agitada e participativa nas questões trabalhadas em sala de aula. Os do grupo experimental não foram muito efusivos, achei que estava um pouco à espera para verem como é que era a aula com o computador. Dificuldades ... a mais recorrente foi o não conseguirem parar e voltar atrás com o vídeo com as informações, de resto achei-os muito à vontade com o computador.

Investigador – Como reagiram os alunos da sua turma de controlo à proposta de trabalho?

Pode descrever as dificuldades sentidas por eles?

Estes sentiram que era uma aula normal como as outras, apenas mostraram muito preocupação com o teste de avaliação no final, achei que não estavam a perceber o que se iria passar e acho que gerou algum desconforto. Quanto às dificuldades senti que na resolução de exercícios havia alguma desconcentração e agitação e que nem todos estava a perceber tem o tema, em particular a parte das séries e dos paralelos.

Investigador – Pode descrever as principais dificuldades sentidas pelos dois grupos?

Em matéria?

Investigador – matéria e outros aspetos que considere relevantes.

Matéria os do grupo de controlo tiveram mais dificuldade nas séries e paralelos. Os da turma experimental ... não tenho muita perceção pois eles também não se manifestaram muito sobre isso ... apenas referiram aquilo do vídeo.

Investigador – Pode falar um pouco sobre as principais diferenças entre dois grupos ao nível da aprendizagem dos circuitos elétricos.

Em termos de trabalho em aula a turma de controlo estava muito mais agitada e até desconcentrada quando tinha de resolver exercícios, a turma experimental estava muito mais concentrada e envolvida nas tarefas que tinham de realizar no computador. A nível da aprendizagem ... achei que a turma de controlo tinha alguma dificuldade em acompanhar o ritmo da aula e que nem todos os alunos conseguiam resolver os exercícios de forma autónoma. A turma experimental foi fazendo as tarefas no computador, aparentemente sem grandes dificuldades. Como eu não tinha grande interação com eles não consegui perceber muito bem a evolução da aprendizagem, apenas nos testes de avaliação que estes tiveram melhores desempenhos e que foram claramente mais rápidos na resolução das questões.

Investigador – Que aspetos considerou mais positivos e mais negativos do RED do GE?

Achei muito importante os estímulos visuais e auditivos e o facto de os alunos estarem mais focados nas tarefas de aprendizagem, praticamente não havia fonte de dispersão durante a realização das tarefas. Quanto ao grupo de controlo como usei uma estratégia mais tradicional, centrada em mim, durante a realização dos exercícios e das tarefas do caderno de atividades e do manual havia sempre mais agitação, conversa e os que tinha um ritmo de trabalho mais lento tinham tendência para perderem o ritmo da aula. Também acho que o facto de o grupo experimental ter a oportunidade de gerir o ritmo de aprendizagem de modo mais autónomo, sem as pressas habituais dos dia-a-dia, levou que se sentisse mais à vontade e até com mais vontade de aprender. Quanto à aplicação usada no grupo experimental, achei muito interessante ... no princípio quando me desafiaram para participar neste projeto, fiquei um pouco apreensiva, pois como não sabia o que iria encontrar achei que estava a sair da minha zona de conforto. Logo na primeira aula do grupo experimental fiquei muito surpresa,

pois acho que os alunos aderiram muito bem a este método e estiveram com eleva nível de concentração e de calma, o que por vezes não acontece nas aulas mais convencionais. Eu achei o recurso muito intuitivo e penso que os alunos também. Seria vantajoso que se pudesse parar os vídeos em qualquer parte para não terem de ouvir novamente toda a informação ... também seria importante que a aplicação desse uma espécie de relatório sobre os desempenhos dos alunos na realização das tarefas. É um recurso que vou continuar a usar para ensinar os circuitos elétricos.

Professora B (grupo experimental: turma E e grupo de controlo: turma D)

Investigador – Importa-se que a entrevista seja gravada?

Claro que não.

Investigador – Que idade tem? Há quantos anos é professora? Que anos tem lecionado?

Tenho 29 anos, dei aulas durante dois anos e parei para fazer doutoramento cerca de quatro anos noutra área diferente do ensino, mais precisamente na parte da indústria farmacêutica, portanto este é o meu quarto ano de ensino. Neste momento estou a lecionar 5ºano de matemática e Físico-Química ao 8ºano e 9ºano.

Investigador – Costuma usar as TIC em sala de aula? De que forma?

Costumo. Por exemplo no grupo de controlo usei simuladores da internet ... tenho até usado mais com os 8ºanos. Sou uma adepta das TIC em sala de aula, pesquiso com muita frequência novos recurso, pois acho que nos temos de estar sempre a atualizar e andar ao ritmo dos alunos.

Investigador - Que tipo de tecnologias costuma usar?

Em geral uso o *power point* e aplicações de simulação da *internet* sempre que considero que sejam uma vantagem para a aprendizagem dos alunos. Também passo alguns filmes e documentários.

Investigador – Gosta de usar as TIC nas suas aulas? Com que frequência as usa em sala de aula?

Sim gosto, pois sinto que os alunos ficam muito mais atentos e interessados. Tento sempre iniciar cada tema novo com um *power point* ou um vídeo sobre esse tema que tenha uma componente prática para não ser logo a matéria.

Investigador – Fale-me um pouco sobre o que pensou e sentiu sobre este projeto?

Confesso que fiquei um pouco frustrada porque os alunos do grupo experimental foram muito mais rápidos na realização das tarefas quando comparados com os do grupo de controlo.

Estava apreensiva pois não sabia muito bem como é que a experiência iria acontecer.

Investigador – Como reagiram os alunos do GE a esta experiência?

Nas aulas do grupo experimental realço que é muito importante que os alunos sigam ao seu ritmo, obrigando-os a estarem mais concentrados. Quando iniciaram a aula estavam agitados, mas depois de distribuído e de lido o guião de exploração houve silêncio total na sala e começaram logo a trabalhar. Eles tiveram muito concentrados nas tarefas de aprendizagem e muito empenhados em tudo o que estavam a fazer, desde o vídeo inicial [informação de apoio] até aos exercícios, passando pelas explicações dos exemplos resolvidos. Notei que ouviam com muito atenção a explicação e que tiravam notas e que tinham o cuidado de ler todas as mensagens de *feedback* que eram dadas ao longo das aulas.

Considero que os alunos da turma experimental tiveram muito mais concentrado e empenhados do que se fosse eu a dar a matéria ... senti que a aula foi totalmente centrada nos alunos e não no professor e talvez por isso os alunos tenha reagido tão bem a esta metodologia de trabalho, de tal forma que nunca colocaram ou manifestaram qualquer tipo de preocupação com os testes que teriam de realizar no final.

Investigador – Que dificuldades verificou quando os alunos do GE estavam a trabalhar com o RED?

Sinceramente eu acho que não houve nenhuma dificuldade em particular. Eu só fui chamada duas ou três vezes pelo mesmo motivo porque não estavam a perceber bem como se montavam os amperímetros e os voltímetros nos circuitos. Eles trabalharam muito bem com o RED sem dificuldades e sem dúvidas.

Investigador – Que dificuldades sentiram os alunos do GE na resolução dos problemas?

Sem dúvida considero que os alunos resolveram as tarefas da terceira aula num ritmo mais lento quando comparado com as duas primeiras aulas. Em concreto não me apercebi de nenhuma dúvida em concreto. Apenas no teste de transferência senti que os alunos tiveram mais dificuldades de interpretação quando as lâmpadas eram substituídas por resistências (outros recetores).

Investigador – E a reação do GC?

Relativamente ao grupo de controlo, também reagiram bem ao tema. Na primeira aula questionei-os sobre aspetos relacionados com gestão de recurso energético em casa e na escola e numa segunda fase levei alguns circuitos elétricos previamente montados para estudar os seus componentes (fonte de energia, recetores, fios, instrumentos de medida, conceitos de circuito aberto/circuito fechado etc.) e os alunos iam fazendo registos nos respetivos cadernos diários. Para as associações em serie e em paralelo usei um simulador com simulação feitas por mim. No final de cada aula fizemos os exercícios do manual e do caderno de atividades, com recurso ao caderno, material de escrita e à calculadora. Nesta fase de trabalho achei esta turma mais dispersa ao nível da realização dos exercícios, tinham de seguir o meu ritmo e alguns deles ficavam mais para trás desistindo.

Investigador – Pode identificar as principais dificuldades sentidas na resolução de problema sobre circuitos elétricos pelos alunos deste grupo?

Na aula não diagnostiquei nada de especial, pelo menos que me lembre agora. Nos testes sem dúvida que os achei mais perdidos no teste de transferência. Foram mais lentos.

Investigador – Comparando os dois grupos que diferenças encontraste em relação na resolução de problemas sobre circuitos elétricos?

Globalmente notei que os alunos do grupo de controlo tiveram mais dificuldade em resolver os exercícios dos testes de avaliação que passamos no final. Claramente os do experimental foram mais rápidos e menos hesitantes na resolução dos problemas, parecia que tinham trabalhado os temas de forma mais aprofundada. Eu acho que como os do experimental estiveram mais concentrados e envolvidos nas tarefas acabaram por reter mais informações nomeadamente os pormenores relacionados com a resolução deste tipo de problemas. No de controlo verifiquei que durante a realização das tarefas e até das minhas exposições de matéria havia mais dispersão como conversa, provavelmente sobre coisas que não estavam relacionadas com o tema, talvez por isso tenham demorado o dobro do tempo a resolver as questões dos testes de avaliação.

Investigador – Pode realçar os aspetos mais positivos e os aspetos mais negativos deste ambiente de aprendizagem?

Aspetos mais relevantes e mais positivos: é o facto de eles se concentrarem, e empenharem mais do que em sala de aula tradicional. Eles tiveram de resolver todos os exercícios, que talvez não fizessem com tanto empenho e dedicação com um caderno em papel. A outra grande vantagem é o facto de o ambiente de aprendizagem digital permitir que os alunos possam avançar de acordo com o seu ritmo de aprendizagem, numa turma temos 30 meninos todos diferentes e em sala de aula tradicional eu obrigo-os a irem ao meu ritmo e claro que uns acompanham com maior facilidade do que outros.

Aspetos mais negativos ... a única coisa que senti alguma dificuldade em não intervir na aprendizagem nos alunos, mas também não houve grande necessidade.

Investigador – Que recurso costuma usar no ensino dos circuitos elétricos?

No ensino dos circuitos elétricos uso normalmente as situações do phet que são muito intuitivas para os alunos, por vez uso circuitos já montados.

Investigador – Considera que este RED é uma ferramenta útil no ensino dos circuitos elétricos?

Sim sem dúvida.

Investigador – Comparando a experiência das aulas dos dois grupos que aspetos gostaria de salientar?

Pensando da experiência ... destaco o nível de concentração e de envolvimento de cada aluno desde o melhor, até ao mais distraído, ao menos empenhado, todos sem exceção se envolveram muito na realização das tarefas. O outro aspeto também muito relevante é a gestão do ritmo de aprendizagem. Acho que seria importante que os alunos conseguissem parar os vídeos para tirarem notas ou ouvirem uma parte de novo, globalmente considero que aplicação tem um aspeto limpo e harmonioso em termos gráficos. Obriga a que os alunos leiam e pensem sobre as informações que lhes são dadas. Gostei muito de usar o recurso ... acho que a sua estrutura estava muito bem pensada, achei muito importante que cada aula comece com um vídeo explicativo no qual a explicação era dada com muito calma e depois seguia-se a prática de exercícios com os vários comentários ... se erram têm uma explicação, se acertam também têm uma explicação. Também achei muito importante que os alunos tivessem a obrigatoriedade de ler as mensagens da aplicação para poderem avançar para a tarefa seguinte ... eles não avançam sem terem criado um modelo de resolução daquele tipo de tarefas ou exercícios.

Investigador – O que alteraria ou acrescentaria a este RED?

Uma das sugestões que foram referidas pelos alunos é acrescentar a possibilidade de se poder parar o vídeo a meio.

ANEXO VIII – Grelha de avaliação do conteúdo e guião de exploração
Grelha de avaliação do conteúdo científico da disciplina de Física e
Química do Recurso Educativo Digital (RED) “Circuitos elétricos” para o
9ºano

Estou atualmente a elaborar uma Tese de Doutoramento em Ciências da Educação, na área de especialização de Tecnologias Informação e Comunicação na Educação, no Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

A investigação que estou a desenvolver visa a produção e avaliação de um RED que tem como principal objetivo constituir uma ferramenta para ensino do tema “Circuitos elétricos” para os alunos do 3º Ciclo do Ensino Básico.

Os pareceres de especialistas em ensino de Física e Química, sobre a forma como os conteúdos temáticos são abordados neste RED são fundamentais e só assim será possível validar este recurso educativo.

Pelos motivos acima referidos, venho solicitar a sua participação através do preenchimento da grelha de avaliação que se encontra em anexo.

Deixo desde já o meu agradecimento pela sua colaboração.

Os meus melhores cumprimentos,

Mário Melo

Grelha de avaliação do conteúdo de Física do RED “Circuitos elétricos”

Parâmetro	A observar	Apreciação
Conteúdos	<ul style="list-style-type: none">• São abordados temas de acordo com os conteúdos programáticos da disciplina?• As aulas apresentadas incluem informação pertinente para a aprendizagem do tema circuitos elétricos?• A organização dos conteúdos facilita a aprendizagem?• Os recursos pedagógicos (texto, vídeos, imagens, áudio e exercícios) são relevantes e têm interesse pedagógico?• As propostas de tarefas de aprendizagem são adequadas e promovem a avaliação e consolidação da aprendizagem?	<p>Os conteúdos abordados no RED “Circuitos elétricos” estão adequados aos conteúdos da disciplina de Física e Química e estão de acordo com as orientações curriculares de Ciências Físicas e Naturais.</p> <p>Todas as aulas incluem as informações necessárias para facilitarem a aprendizagem dos circuitos elétricos neste nível de ensino.</p> <p>Todos os recursos multimédia usados e as tarefas de aprendizagem apresentam relevância para a aprendizagem, tanto ao nível da aquisição de conhecimentos como na consolidação das aprendizagens adquiridas.</p>
Correção e clareza da linguagem	<ul style="list-style-type: none">• Existe clareza na exposição das informações de apoio?• Existe clareza na exposição das informações dos enunciados das tarefas de aprendizagem?• Existe clareza na linguagem escrita e nas narrações?	<p>Todas as informações são apresentadas de forma clara e objetiva.</p>
Correção e clareza dos conceitos envolvidos	<ul style="list-style-type: none">• A informação é cientificamente correta?• É usada terminologia apropriada?	<p>Não há incorreções de linguagem científica e a terminologia usada está atualizada de acordo com as normas da IUPAP e do SI.</p>

<p>Adequação ao utilizador</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A informação é apresentada de forma adequada ao público-alvo? • A complexidade dos conteúdos é adequada ao público-alvo? • As tarefas de aprendizagem são adequadas ao público-alvo? 	<p>Todas as tarefas estão adequadas aos alunos do 9ºano do 3ºciclo do ensino básico.</p>
<p>Apreciação global/sugestões</p>		
<p>- Os vídeos de informação de apoio em cada aula deveriam permitir fazer paragens e voltar atrás sem começar do início.</p>		

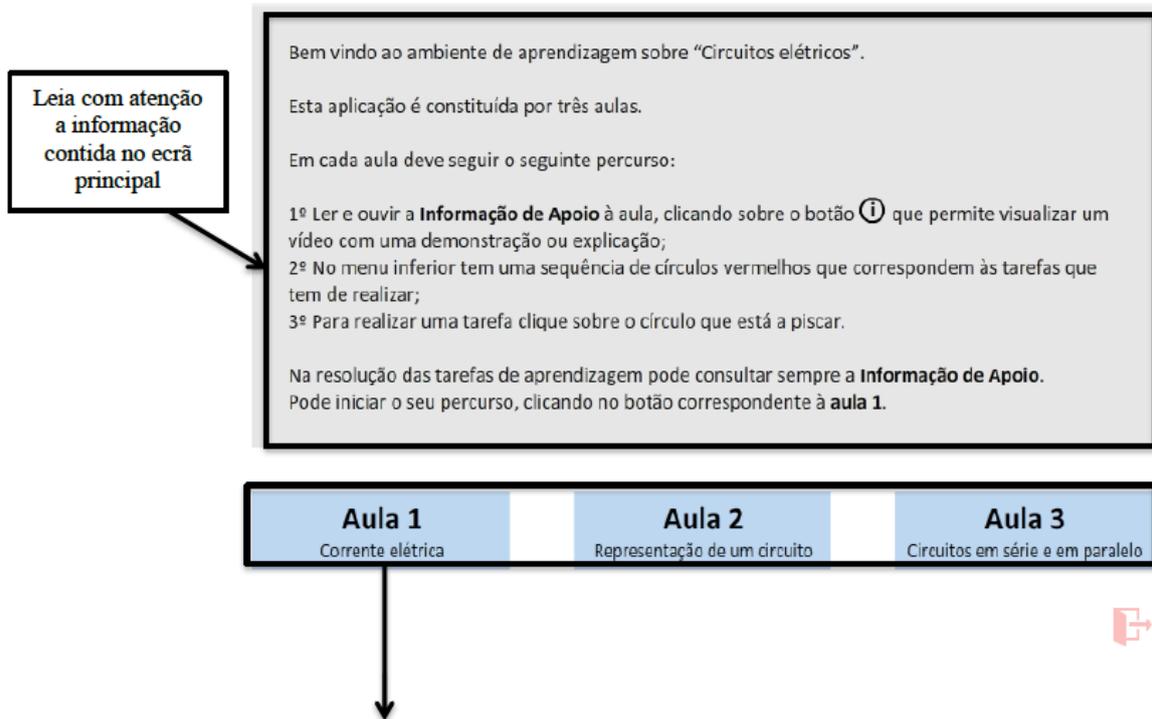
Roteiro de exploração da aplicação “Circuitos elétricos – Física e Química 9ºano”

Objetivos:

- Definir corrente elétrica;
- Identificar o sentido convencional da corrente elétrica;
- Identificar a diferença entre bom e mau condutor de corrente elétrica;
- Reconhecer que a corrente elétrica pode ser transportada por diferentes partículas com carga elétrica (eletrões nos sólidos e iões nas soluções).
- Reconhecer que um circuito elétrico deve ser representado por símbolos convencionais;
- Identificar, numa representação de um circuito elétrico, os símbolos referentes a uma fonte de energia, uma lâmpada, um interruptor aberto, um interruptor fechado e um motor elétrico.
- Reconhecer um esquema que represente uma associação em série e uma associação em paralelo;
- Reconhecer que numa associação em série a intensidade da corrente que percorre cada recetor é igual;
- Reconhecer que numa associação série a diferença de potencial aos terminais do conjunto dos vários recetores é igual à soma das diferenças de potencial aos terminais de cada recetor;
- Reconhecer que numa associação em paralelo a intensidade da corrente que percorre cada recetor é igual à soma das intensidades de corrente que percorre cada um dos recetores;
- Reconhecer que numa associação em paralelo a diferença de potencial aos terminais do conjunto dos diferentes recetores é igual à diferença de potencial aos terminais de cada recetor;
- Relacionar os brilhos relativos de duas ou mais lâmpadas associadas em série e em paralelo.

Como explorar a aplicação “Circuitos elétricos”?

1. Clique no ficheiro executável que se encontra no ambiente de trabalho do seu computador (Circuitos elétricos 0.99.exe).
2. Irá surgir o seguinte ecrã de entrada durante uns segundos.
3. Seguidamente visualizará o ecrã correspondente ao menu principal:



1. No ecrã principal existem três botões azuis com a denominação “Aula 1”, “Aula 2” e “Aula 3”.
2. Para explorar corretamente todas as tarefas de aprendizagem tem de iniciar o seu percurso pela “Aula 1 – Corrente elétrica”.
3. Todas as aulas estão estruturadas do mesmo modo:
 - a. No ecrã principal de cada aula tem um botão com **informação de apoio**:



que corresponde à informação de que necessita para resolver com sucesso as diferentes tarefas de aprendizagem. **Deve ler e ouvir com toda a atenção essa informação!**

- b. Inicie a resolução das tarefas de aprendizagem, clicando no primeiro círculo vermelho que se encontra no menu inferior e horizontal:



- c. Dentro de cada tarefa de aprendizagem pode sempre aceder à informação de apoio, clicando no botão que encontra no canto  superior direito do ecrã:

Aula 1 > Tarefa 1



Observe com atenção o exemplo resolvido que se segue. Neste exemplo pretende-se completar as duas frases A e B, colocando os termos corretos nos respetivos espaços, para tal deve clicar sobre os espaços em branco.

Frase A – “A corrente elétrica é o movimento orientado de cargas elétricas através de um meio condutor. Num circuito elétrico a corrente flui do pólo positivo para o pólo negativo. Este é o sentido convencional da corrente elétrica”.

Frase B – “Os materiais que permitem a passagem da corrente elétrica são designados por bons condutores elétricos. Temos o exemplo dos metais como o cobre. No entanto há materiais que não se deixam atravessar pela corrente elétrica e por isso são designados por maus condutores ou simplesmente isoladores elétricos”.



- d. As primeiras tarefas de cada aula são exemplos resolvidos, pelo que deve ler toda a informação do enunciado e o processo de resolução.
- e. A aplicação só permite avançar para a tarefa seguinte se completar as anteriores corretamente.
- f. Apesar da aplicação estar estruturada em três aulas, deve gerir o seu tempo para as resolver em dois blocos de 90 min. Portanto sugere-se que na 2ª parte do

1ºbloco realizem as tarefas correspondentes às aulas 1 e 2 e que na 1ª parte do 2ºbloco realize apenas as tarefas correspondentes à aula 3.

7. À medida que vai resolvendo as diferentes tarefas de aprendizagem, surge a cheio um círculo vermelho, que dá a indicação de que a tarefa está completa. Se sentir necessidade pode voltar a realizar uma das tarefas já realizadas, pode clicar sobre o círculo vermelho correspondente. Para avançar para a tarefa seguinte clique sobre o círculo vermelho que se encontra a piscar.
8. No final do seu percurso de aprendizagem com esta aplicação irá realizar teste para avaliar se os objetivos de aprendizagem foram alcançados (na 2ª parte do 2ºbloco de 90 min).