

FÁBIO DUARTE DE OLIVEIRA

**SUPORTE AO APRENDIZADO APOIADO POR
MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES EXTERNAS ATRAVÉS
DA ANÁLISE E REMEDIAÇÃO DE ERROS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel

CURITIBA

2011

FÁBIO DUARTE DE OLIVEIRA

**SUPORTE AO APRENDIZADO APOIADO POR
MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES EXTERNAS ATRAVÉS
DA ANÁLISE E REMEDIAÇÃO DE ERROS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel

CURITIBA

2011

Oliveira, Fábio Duarte de

Suporte ao aprendizado apoiado por múltiplas representações
externas através da análise e remediação de erros / Fábio Duarte de
Oliveira. – Curitiba, 2011.

67f. : il., tabs.

Impresso.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Informática.

Orientador: Andrey Ricardo Pimentel

1. Sistemas tutoriais inteligentes . 2. Ensino auxiliado por computador.
I. Pimentel, Andrey Ricardo. II. Título.

CDD:

006.3

FÁBIO DUARTE DE OLIVEIRA

**SUPORTE AO APRENDIZADO APOIADO POR
MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES EXTERNAS ATRAVÉS
DA ANÁLISE E REMEDIAÇÃO DE ERROS**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel
Departamento de Informática, UFPR

Prof. Dr. Alexandre Ibrahim Direne
Departamento de Informática, UFPR

Prof. Dr. João Alberto Fabro
Departamento de Informática, UTFPR

Curitiba, 25 de agosto de 2011

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Problema	1
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo Geral	2
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Organização do Documento	3
2 RESENHA LITERÁRIA	5
2.1 Sistemas Tutores Inteligentes	5
2.1.1 STI Shell e STI Sistema de Autoria	6
2.1.2 Arquitetura de um STI	8
2.2 Teorias de Aprendizagem	9
2.2.1 Regras de Produção	10
2.2.2 Teoria ACT	11
2.2.3 Teoria Repair	13
2.3 Representação Externa	14
2.3.1 Múltiplas Representações Externas	16
2.3.2 Funções das MRES	17
2.3.2.1 Papéis Complementares	18

2.3.2.2	Restringir Interpretação	19
2.3.2.3	Construir uma Compreensão mais Aprofundada	20
2.3.3	Complexidade na Aprendizagem de Conceitos Científicos por MREs	21
2.4	Conclusão	22
3	CONCEITOS METODOLÓGICOS	24
3.1	Classificação dos Erros Sobre o Processo Indutivo Humano	24
3.2	Classificação das MREs Conforme Classificação de Erros e suas Vantagens	25
3.3	Processo de Remediação de Erros com Apoio de MREs	27
3.3.1	Coleta dos Dados sobre Erros Conceituais	27
3.3.2	Análise dos Dados Coletados	29
3.3.3	Correlação Entre os Erros Classificados e as Funções de MREs . . .	29
3.3.4	Escolher MREs de Acordo com Processo de Aprendizagem do As- sunto Abordado	30
3.3.5	Escolher a Metodologia Utilizada para Remediação do Erro	30
3.4	Conclusão	30
4	ARQUITETURA FUNCIONALISTA	32
4.1	Descrição Geral	32
4.2	Organização da Arquitetura Funcionalista	33
4.2.1	Módulo de Análise dos Dados	34
4.2.2	Módulo de Classificação do Tipo de Erro	34
4.2.3	Módulo de Controle de MREs	35
4.2.4	Base de Regras sobre Erros	36
4.2.5	Base de Regras sobre MREs	37
4.2.6	Template de Autoria de Regras sobre MREs	38
4.2.6.1	Função que exerce a MRE	39
4.2.6.2	Complexidade que apresenta a MRE	40
4.2.6.3	Nível de Compatibilidade da MRE sobre Várias Situações	42
4.2.7	Modelo de MRE	42

4.2.8	Base de MREs	44
4.3	Conclusão	45
5	DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA	46
5.1	Interação com o sistema	46
5.2	Primeira Situação	47
5.3	Segunda Situação	49
5.4	Conclusão	50
6	CONCLUSÃO	52
6.1	Reafirmação da contribuição	52
6.2	Trabalhos futuros	53
A	MODELOS DE MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES EXTERNAS EN- CONTRADAS NA PESQUISA	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE FIGURAS

2.1	Domínio de um sistema STI [19]	6
2.2	Estrutura de um STI de arquitetura tradicional [25]	9
2.3	Funções da MREs Traduzido de [1]	18
3.1	Processo de Remediação Adotado	28
4.1	Arquitetura Funcionalista	33
4.2	Modelo de MRE	43
5.1	Tela da situação 1	47
5.2	MRE para remediação do erro de Sub-Generalização	48
5.3	Tela da situação 2	49
5.4	MRE para remediação do erro de Super-Generalização	50
A.1	Tabela de Comparação entre Juros Simples e Composto	55
A.2	Progressão dos Juros Composto	55
A.3	Juros Simples	56
A.4	Diferença entre Desconto e Aumento	56
A.5	Juros Compostos	57
A.6	Porcentagem	57
A.7	Aumento	58
A.8	Aumento	58
A.9	Aumento	59
A.10	Gráfico Juros Simples e Compostos	59
A.11	Comparação Juros Simples x Juros Composto em função dos anos	60
A.12	Fórmula da Porcentagem	60
A.13	Fórmula Juros Compostos	60
A.14	Comparação de uma dívida com juros simples e composto	61

A.15 Desconto	62
A.16 Desconto	62
A.17 Gráfico Juros Simples x Juros Composto	63
A.18 Gráfico Juros Simples x Juros Composto	63

LISTA DE TABELAS

2.1	Regra de Produção	10
3.1	Classificação Erros X Classificação MREs	26
4.1	Formato da Regra sobre MREs	39
4.2	Regra Função de Construção	40
4.3	Regra Função de Restrição	40
4.4	Regra Função de Complementar	40
4.5	Regra 1 Complexidade	41
4.6	Regra 2 Complexidade	41
4.7	Regra 3 Complexidade	41
4.8	Regra 1 Situação	42
4.9	Base de MREs	45
5.1	Regra de Produção Exemplo 1	48
5.2	Regra de Produção Exemplo 2	50

RESUMO

Neste trabalho são apresentados vários aspectos que justificam a necessidade da utilização das múltiplas representações externas como parte fundamental no processo de remediação realizado por ferramentas de diagnóstico automático de erros cometidos pelo aprendiz. Portanto foi estruturado um estudo sobre a relação entre as funções que as múltiplas representações externas podem desempenhar se comparadas diretamente com os tipos de erros cometidos conforme uma classificação. Como resultado foi desenvolvida uma abordagem de remediação de erro apoiado por múltiplas representações externas. Além disso foi desenvolvido um protótipo baseado nessa abordagem construído e aplicado ao domínio de matemática financeira. Ao final são apresentadas as perspectivas da abordagem e da ferramenta e suas limitações bem como futuras pesquisas.

ABSTRACT

This paper presents several aspects that justify the need to use multiple external representations as a fundamental part in the process of remediation carried out by automatic diagnostic tools to mistakes made by the learner. So it was a structured study based on the relationship between the multiple functions with external representations can be directly compared with different types of mistakes within a relevant classification. As a result we developed a remediation error to approach based on support of multiple external representations. Its was also developed a prototype built and based on this approach applied to the field of financial mathematics. At the end we present the perspectives of the approach and the tool and its limitations and future research.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma visão geral desta dissertação através da apresentação do tema, do contexto no qual este está inserido, assim como seus principais problemas abordados. O capítulo apresenta também o objetivo geral deste trabalho e os objetivos específicos a serem realizados, bem como a justificativa e motivação para seu desenvolvimento.

1.1 Problema

Com o crescimento da sociedade e a evolução da tecnologia desencadeou-se uma busca por modos de tornar a aprendizagem mais rápida e eficaz. A partir disso surgiram modos alternativos para retratar, descrever, simbolizar e representar os assuntos a serem transmitidos dando origem às múltiplas formas de representação, também chamadas de Múltiplas Representações Externas (MRE) [1]. Logo surgiram as primeiras pesquisas sobre a aprendizagem com MREs que foram inicialmente concentradas sobre as formas em que as figuras apresentadas ao longo de textos secundários podem melhorar a compreensão e a memória dos leitores sobre o texto [11]. Em seguida houve um aumento explosivo dos ambientes de aprendizagem multimídia e um grande debate sobre a inclusão de combinações de representações tais como esquemas, equações, tabelas, textos, gráficos, animações, som, vídeo e simulações dinâmicas. Além disso, segundo [1] ” um grande número de teóricos da educação começaram a discutir a importância dos MREs e sua real influência no aprendizado de novas ideias complexas”.

No entanto, ao mesmo tempo em que foi constatado que MREs podem trazer benefícios exclusivos, também surgiram provas consideráveis [2] que mostravam que os aprendizes muitas vezes não conseguiam explorar essas vantagens, e nos piores casos, combinações inadequadas de representações podiam chegar até a inibir a aprendizagem. Então surgiram as questões: ”Como obter o maior proveito das MREs se cada pessoa aprende de maneira

mais eficaz de modos totalmente diferentes?” , ”O que fazer se uma representação externa pode não ser útil para todos os perfis de aprendizes?”. A resposta constitui em tentar elaborar ambientes de aprendizagem capazes de se adaptar ao aprendiz baseando-se no seu perfil. O espaço de contribuição deste trabalho para isso se dá por meio da profunda análise dos erros do aprendiz e da aplicação das MREs de modo que possam melhor apoiar o processo de aprendizagem.

1.2 Justificativa

Há várias evidências [2] mostrando as vantagens que as múltiplas representações externas podem desempenhar no apoio à aprendizagem e provas consideráveis que mostram que os aprendizes muitas vezes não conseguem explorar essas vantagens. Várias pesquisas têm mostrado que a adequação do tipo de representação externa utilizada às demandas da situação de aprendizagem pode melhorar o desempenho e a compreensão significativamente [1]. Este estudo elaborado tende a contribuir como um apoio para a utilização das múltiplas representações externas visando tornar seu emprego cada vez mais eficaz, diminuindo assim o esforço cognitivo necessário para o aprendiz tirar proveito das vantagens das MREs, trazendo benefícios às pessoas que estão aprendendo novas ideias complexas. O desenvolvimento de uma abordagem para o uso de MREs baseado na remediação do tipo de erro cometido, trará possibilidade de adaptar o ambiente de aprendizado ao aprendiz. Com isto tenta-se acabar com as dificuldades do aprendiz e ao mesmo tempo apoiar a construção de uma compreensão mais profunda, tornando possível ao aprendiz atingir outras percepções através do uso das múltiplas representações externas com a incorporação da abordagem de remediação de erros aqui proposta.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma abordagem alternativa para o uso das múltiplas representações externas com foco na sua possível adaptação ao perfil do

aprendiz. Para isso, toma-se como base o conjunto de possíveis erros que o aprendiz poderia cometer, que serão avaliados e classificados de modo que se possam descobrir as dificuldades encontradas pelo aprendiz, assim como a forma de minimizar as mesmas por meio da remediação dos erros usando as MREs.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos associados são apresentados a seguir.

- Consolidar um conjunto de conceitos sobre as metodologias de classificação de erros existentes por meio da apuração de estudos sobre teorias gerais e aplicadas em áreas específicas (como matemática);
- Analisar os processos de avaliação e classificação dos tipos de erros existentes;
- Reunir um conjunto de conceitos sobre metodologias de classificação de MREs por meio da apuração de estudos sobre o assunto;
- Criar uma relação sobre as categorias de tipos de erro em comparação com as funções desempenhadas pelas MREs;
- Definir conjunto de MREs que atuem como mediadoras para o tratamento dos tipos específicos de erro classificados;
- Estruturar um processo de remedição que possa se adaptar ao aprendiz por meio de seu perfil e de suas dificuldades, sendo capaz de dar apoio de forma eficiente;
- Criar um modelo que possa ser usado como o apoio na tomada de decisão para criação de objetos de aprendizagem que utilizem MREs.

1.4 Organização do Documento

Esta dissertação apresenta o trabalho de mestrado realizado no programa de Pós-graduação em Informática (PPGInf) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Esta dissertação está organizada em 6 capítulos.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica deste trabalho: uma introdução sobre a definição e a construção de sistema tutores inteligentes, um estudo abordando as teorias de aprendizagem ACT e Repair e uma discussão sobre Múltiplas Representações Externas (MREs) e as funções que elas podem desempenhar e também a complexidade na aprendizagem de conceitos científicos por MREs.

O capítulo 3 apresenta uma análise sobre a classificação dos erros e sobre o processo indutivo humano e um estudo sobre as vantagens que as MREs podem desempenhar baseado na classificação do erro. Em seguida é apresentado um modelo de processo de remediação de erros com apoio de MREs.

O capítulo 4 descreve a arquitetura desenvolvida para a consolidação da abordagem proposta no capítulo 3 que tem o objetivo de incorporar desde o processo de detecção e classificação dos erros até sua remediação com uso de MREs.

O capítulo 5 apresenta uma descrição sobre o funcionamento da ferramenta, constituindo desde do processo de classificação do erro até a etapa da escolha da MRE que será utilizada na remediação.

O capítulo 6 apresenta as conclusões da dissertação e perspectivas de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

RESENHA LITERÁRIA

Neste capítulo é apresentada a resenha literária deste trabalho abordando: uma discussão sobre sistemas tutores inteligentes, múltiplas representações externas e teorias de aprendizagem.

2.1 Sistemas Tutores Inteligentes

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) podem ser considerados uma evolução dos tradicionais sistemas IAC (Sistemas de Instrução Assistida por Computador), que foram os primeiros sistemas de informática com suporte ao ensino. Tinham como objetivo apresentar os conteúdos a serem transmitidos aos alunos de forma predeterminada e sequencial sem fazer qualquer distinção entre alunos que utilizassem o sistema, partindo da suposição de que as respostas dos alunos poderiam ser ignoradas pelo sistema baseado na teoria Comportamentalista [32].

O STIs têm como objetivos principais a modelagem e a representação do conhecimento especialista humano para auxiliar ao aluno no processo de aprendizagem de novos conceitos. Os STIs são formados pela junção de diversas disciplinas como psicologia, ciência cognitiva e inteligência artificial, para o suporte a propósitos educacionais, tornando o ensino cada vez mais personalizado. Sendo esta junção de disciplinas apresentadas na figura 2.1 [40].

Os STIs são sistemas capazes de atender às diferentes necessidades dos alunos sendo compostos por um sistema de inteligência artificial e um sistema especializado na gestão do conhecimento e na classificação dos alunos de acordo com o seu potencial de aprendizado. Um STI, portanto, é baseado na hipótese de que o processo de pensamento de

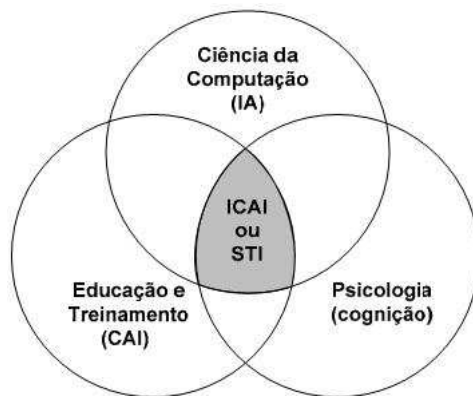


Figura 2.1: Domínio de um sistema STI [19]

um estudante pode ser modelado, rastreado e corrigido [30], tornando possível, dentro do ambiente de um STI, procurar não apenas ensinar, mas mostrar maneiras de como ensinar, descobrir os caminhos utilizados pelo aprendiz para chegar ao conhecimento desejado. Com isso os STIs têm sido apresentados como altamente eficientes para a melhoria do desempenho e motivação dos estudantes [29].

Utilizando técnicas de IA os STIs podem representar os três tipos de conhecimento indispensáveis a todo sistema que envolva processo de ensino e aprendizagem: conhecimento sobre o domínio, conhecimento sobre as estratégias pedagógicas e conhecimento sobre o aprendiz [9]. Nesse contexto, a IA é utilizada de forma a possibilitar um aumento do potencial de aprendizagem por meio de técnicas cognitivas e de simulação do pensamento humano. O STI deve ter a capacidade de compreender, aprender, raciocinar e resolver problemas que vem do termo "inteligente", referente à habilidade que o sistema deve ter de saber o que ensinar, quando ensinar e como ensinar. Além disso, deve identificar os pontos fracos e fortes do estudante e usar uma estratégia pedagógica baseada nesse conhecimento para tentar minimizar possíveis dificuldades dos alunos [13].

2.1.1 STI Shell e STI Sistema de Autoria

Um "shell" para STI é um framework generalizado que serve como base para a construção de STIs, enquanto um "sistema de autoria" (ou ferramenta de autoria) é um shell para STI, junto com uma interface para usuário que permite que pessoas sem conhecimento

de programação possam visualizar e formalizar seus conhecimentos , para que estes sejam inseridos no sistema [23].

STI sistemas de autoria têm sido utilizados para construir tutores em um ampla variedade de domínios, incluindo o atendimento ao cliente, matemática, manutenção, equipamentos e políticas públicas. Esses tutores foram utilizados para orientar uma ampla gama de alunos, crianças em idade escolar e estagiários em empresas [23].

De forma resumida, sistemas de autoria são ferramentas na qual o autor não precisa usar nenhum tipo de programação através de comandos para ajudar na construção da ferramenta, e esta ajuda o autor a construir aplicações específicas com recursos gráficos. Sendo ela responsável por traduzir as escolhas do autor referentes ao conteúdo sem saber detalhes de programação ao invés de um usuário de programação tomar todas as decisões e gerar o código linha por linha [20]. Alguns exemplos de ferramentas de autoria com base na criação de STI, são RUI [15] [35], SIMQUEST [37].

O RUI (*Representation for Understanding Images*) é um arcabouço independente do domínio para descrever conhecimento sobre conceitos visuais. De modo que o autor necessite apenas de uma introdução sobre sentenças lógicas, logo a ferramenta ajuda o autor a construir um aplicação destinada a ensinar conceitos visuais especializados. A arquitetura do ambiente RUI é organizada em três camadas de comunicação, duas de autoria e uma de ensino. Mesmo apresentando facilidade no uso por parte de radiologistas, foram constatadas algumas dificuldades pela necessidade do conhecimento sobre introdução de sentenças lógicas de predicados de primeira ordem para seu uso.

O SIMQUEST é um sistema de autoria para a criação de simulações de computador baseado no ambiente educacional. Seu foco principal é de ser uma ferramenta que possibilita ao aluno criar atividades expressivas, gerando simulações. Este sistema não necessita de nenhum conhecimento de programação para produzir as simulações que atendam as

demandas particulares dos alunos.

O processo de aprendizagem com o SimQuest está baseado em três fatores [21]:

- quem controla o processo é o aluno;
- o estudante trabalha como um cientista;
- o aluno constrói seu próprio conhecimento.

2.1.2 Arquitetura de um STI

Nos sistemas IAC todos os componentes necessários utilizados para o ensino encontravam-se combinados em uma única estrutura. Não existia uma divisão ou separação por níveis e por funções desempenhadas, o que causava diversos problemas no sistema quando era necessário fazer alterações em diferentes níveis do mesmo. Surgiu então a necessidade de criar um modelo [10] que separasse as diferentes formas de atuação do STI baseado nos elementos que influenciam a sua contribuição no ensino :

- O conhecimento a ser ensinado;
- O módulo de ensino;
- Um mecanismo para modelar o aluno;
- O método de comunicação.

A partir desse momento vários autores, tais como [10],[8], argumentavam que um STI devia conter quatro módulos ligados entre si, dando origem à arquitetura clássica que também é conhecida como "arquitetura tradicional" ou "funcional tripartida" que se refere aos módulos aluno, domínio, tutor e suas associações. Esta proposta trouxe grandes avanços aos ambientes de ensino, possibilitando que as estratégias do tutor fossem vinculadas em função das informações do aluno, tornado o STI um sistema baseado em 4 módulos distintos: módulo Aluno, módulo Tutor, módulo Domínio e Interface. Como ilustrado na figura 2.2.

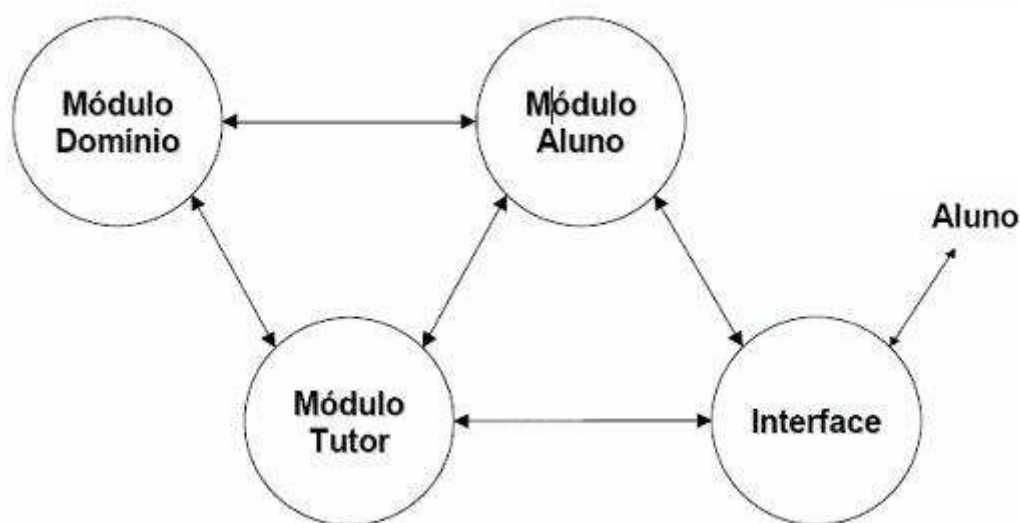


Figura 2.2: Estrutura de um STI de arquitetura tradicional [25]

- O módulo Aluno é responsável por armazenar informações específicas de forma individual sobre cada aluno e de manter um histórico de como o estudante está trabalhando o material ensinado, do estado de conhecimento deste. Portanto, este modelo contém informações do estado mental do aluno e representações do nível de conhecimento deste, informações sobre suas preferências e seus objetivos;
- O módulo Tutor é responsável por determinar as estratégias e as táticas de ensino. Também é responsável por definir qual informação deve ser apresentada, como e quando;
- O módulo Domínio é responsável por armazenar as informações que o tutor está ensinando. Logo, o modelo de conhecimento utilizado é de grande responsabilidade no sucesso do sistema, e deve estar preparado para o crescimento do domínio;
- A Interface é responsável pela interação entre o STI e o aluno.

2.2 Teorias de Aprendizagem

Nesta seção serão abordados alguns conceitos sobre teorias de aprendizagem com o foco no mapeamento de como as pessoas organizam o conhecimento e como produzem compor-

tamentos inteligentes. Serão discutidas duas teorias, o ACT que tem o foco em manter o aprendiz em uma linha de aprendizado ideal enquanto o REPAIR usa os erros cometidos para mapear o processo de aprendizagem.

2.2.1 Regras de Produção

As regras de produção têm sua origem em pesquisas lógico-matemáticas sobre a possibilidade de escrever procedimentos através de uma sequência de regras [22]. Elas são pequenas unidades de conhecimento, que apesar de trabalharem em conjunto com outras regras, são relativamente independentes. Essa propriedade permite que o conhecimento possa ser construído de forma incremental [34].

Os sistemas de produção consistem num conjunto de produções, formado por regras para a solução de um problema. Um regra de produção típica consiste em [5] :

- uma meta;
- alguns testes de aplicação e;
- uma ação.

Condição	Se a meta for dirigir um carro padrão e o carro está na primeira marcha e o carro está a mais de 16km/h	Estabelecimento da meta
Ação	Então passe para a segunda marcha	Aplicação e ação

Tabela 2.1: Regra de Produção

Anderson [5] descreve as principais características de uma regra de produção com sendo condicionalidade, modularidade, subdivisão de metas, abstração.

- Condicionabilidade: cada regra de produção consiste numa condição que descreve quando ela deve se aplicar e uma ação que descreve o que fazer naquela situação.

- Modularidade: a competência global da resolução de problemas é subdividida em algumas produções, uma para cada operador.
- Subdivisão de metas: cada produção é relevante para uma determinada meta.
- Abstração: cada regra se aplica a uma classe de situações.

2.2.2 Teoria ACT

ACT (*Adaptive Control of Thought*) é uma teoria geral de cognição desenvolvida por John Anderson e colaboradores que focaliza os processos de memória. Tendo sido chamada de ACT* e, mais recentemente, de ACT-R (*Adaptive Control of Thought-Rational*) é uma arquitetura cognitiva: uma teoria para simular e entender a cognição humana. A teoria do ACT-R se esforça para entender como as pessoas organizam o conhecimento e como produzem comportamentos inteligentes. Essa teoria se fundamenta em manter o aprendiz em uma linha de aprendizagem ideal baseado em 3 princípios apresentados [12], [3] :

1. Existem dois tipos básicos de conhecimento: o conhecimento Procedural e o conhecimento Declarativo;
2. Conhecimentos necessários para realizar tarefas complexas podem ser descritos como o conjunto de conhecimentos;
3. O conhecimento é reforçado pelo seu uso.

No primeiro princípio o ACT-R sugere que existem dois tipos básicos de conhecimento: o conhecimento Procedural e o conhecimento Declarativo.

Conhecimento Procedural: é o conhecimento que exibimos por meio de nosso comportamento, mas do qual não somos conscientes. Esse conhecimento procedimental consiste na compreensão de como fazer as coisas. Todas as tarefas envolvem uma combinação dos dois tipos de conhecimento, porque tudo que nós aprendemos começa com o conhecimento declarativo, o que se torna procedimental por meio da prática desse conhecimento.

Elementos do conhecimento procedural são referidos como "regras" ou "produções", porque as condições em que são aplicáveis e as ações (incluindo alterações do estado mental) resultam da sua própria aplicação.

Conhecimento Declarativo: consistem em coisas de que somos consciente que sabemos e que podemos usualmente descrever para outras pessoas. O conhecimento declarativo tende a ser mais flexível e mais amplamente aplicável do que o conhecimento procedural. Por isso muitas vezes os autores se referem a elementos do conhecimento declarativo como "fatos".

No segundo princípio, os conhecimentos necessários para realizar tarefas complexas podem ser descritas como o conjunto de componentes de conhecimentos declarativos e processuais relevantes para a tarefa. Pelo terceiro princípio, tanto o conhecimento declarativo como o procedimental é reforçado pelo uso (e enfraquecido pela sua falta de uso). O forte conhecimento pode ser lembrado e chamará a atenção de forma rápida. Pode ser que a recuperação do conhecimento fraco seja demorada, esforçada, ou impossível. Diferentes componentes do conhecimento podem representar diferentes estratégias e métodos para a realização de uma tarefa (incluindo um fato incorreto). A força relativa desses componentes ajuda a determinar qual a estratégia que deve ser utilizada. Isto mostra que aprender envolve o desenvolvimento e o fortalecimento dos componentes do conhecimento correto, eficiente e adequado.

Na matemática, por exemplo, pode-se utilizar o procedimento ACT para a solução de uma equação linear, um modelo ACT-R do exemplo citado consistiria em muitas produções e fatos. Mesmo uma tarefa simples como a adição de inteiros pode consistir de inúmeras produções, incluindo aquelas associadas à apresentação de fatos aritméticos, à execução de ações de contagem, e assim por diante.

O ACT apoia o fato também que habilidades cognitivas possam ser modeladas de forma independente das regras de produção que estejam sendo associadas aos estados objetivos do problema ou aos estados da resolução do mesmo, tendo função de mapear e acompanhar o aluno, assim como monitorar seu crescimentos e definir objetivos não alcançados. Existem dois modelos definidos apoiados neste fato, são eles: "modelo de rastreamento" e "modelo do conhecimento rastreado" [4].

O Modelo de rastreamento é um modelo cognitivo que aborda cada aluno de forma individual em seu caminho na solução dos problemas que lhe são apresentados, interpretando cada ação e respondendo de forma apropriada. Se em algum momento o tutor não aceitar a resposta ou o passo do aluno, esse modelo tem o objetivo de oferecer ajuda para as diferentes etapas da resolução do problema. Caso alguma regra aplicável seja identificada ou associada, mensagens, assim como mudanças da interface e representações usadas pelo tutor, podem ser alteradas.

O Modelo do conhecimento rastreado é responsável por traçar o caminho da solução para cada problema do aluno, O tutor cria inferências relativas ao conhecimento do estudante sobre cada regra de produção criada. Toda vez que o estudante tem a oportunidade de aplicar a regra de produção na resolução do problema, o tutor faz uma estimativa do conhecimento do aluno no uso da regra conhecida.

2.2.3 Teoria Repair

A teoria Repair [38], [39] é uma tentativa de explicar como as pessoas adquirem habilidades processuais, com uma particular atenção ao modo de como e por que se cometem "bugs" (ou seja, erros). A teoria sugere que quando um procedimento não pode ser executado, um impasse ocorre e o indivíduo aplica várias estratégias para superá-lo. Estas estratégias (meta-ações) são chamadas de "repair" (reparos), dando origem ao nome da teoria. Alguns reparos surtem resultados corretos, enquanto outros geram resultados incorretos e, portanto, são chamados de procedimentos "buggy" pelo autor [38].

A teoria pressupõe que as pessoas em primeiro lugar aprendem tarefas processuais por indução e que os erros ocorrem por causa de pré-conceitos que são introduzidos nos exemplos fornecidos ou no feedback recebido durante a prática (em oposição a erros na memorização de fórmulas ou instruções). Portanto, a implicação da teoria da reparação é que os conjuntos de problemas devem ser escolhidos para eliminar qualquer dúvida, que possa futuramente causar erros específicos. Outra implicação é que os erros são mais frequentes quando os alunos tentam estender os procedimentos correntes para além dos primeiros exemplos fornecidos.

Um exemplo seria se um aluno aprendesse subtração com números de dois dígitos e, em seguida, lhe fosse apresentado o seguinte problema: $365-109=?$, que deve gerar uma nova regra para "empréstimos" na coluna da esquerda. Ao contrário de um problema de dois dígitos, mais uma coluna à esquerda é criada, tornando os problemas diferentes, criando um impasse. Para resolver-lo, o aluno precisa parar e reparar o seu domínio corrente (estender a regra "emprestar" sempre da esquerda), tornando-a sempre "emprestar" à esquerda adjacente. Alternativamente, o aluno pode pular o "empréstimo" completamente, gerando um bug diferente chamado "empréstimo sem decremento".

2.3 Representação Externa

Representação Externa (RE) [7] é o termo usado para descrever o uso de técnicas para representar e organizar o conhecimento. Existe uma grande variedade de REs que são divididas em modalidades gráficas e linguísticas e, também, em uma modalidade de representações intermediárias que são a combinação de elementos gráficos e textuais em uma mesma representação. São exemplos de RE: sentença em linguagem natural, sentenças em linguagens formais (como lógica de primeira-ordem), tabelas, listas, grafos, mapas, projetos, diagramas, animações.

As REs são um fenômeno do nosso cotidiano, estão presentes nos esboços de mão

livre que são inestimáveis para criatividade em aulas de design e arquitetura ou quando precisamos fazer um mapa para mostrar o caminho a um amigo e até quando usamos uma lista de compras para ir ao mercado, todos esses são exemplos do uso de REs na resolução de problemas ou atividades relacionadas.

Segundo [26] uma representação externa consiste em:

- o mundo representado;
- o mundo representante;
- aspectos do mundo representado estão sendo representados;
- aspectos do mundo representante estão fazendo parte da modelagem;
- a correspondência entre os dois mundos;

Segundo Zhang [24] Muitas pessoas acreditam que o único benefício do uso RE seja facilitar o processo de memorização diminuindo a carga cognitiva utilizada para resolver um problema. Embora seja a característica mais notável, existem ainda as seguintes propriedades:

- Fornecer informações que podem ser diretamente percebidas e utilizadas sem uma formulação explícita ou interpretação;
- Fixar o comportamento cognitivo e estruturas físicas em RE restringindo um série de possíveis ações e comportamentos (algumas ações permitidas e outras proibidas);
- Modificar a natureza das tarefas, assim tornando-as potencialmente mais fáceis de serem realizadas.

Existem evidências [1] mostrando as vantagens que as representações externas podem desempenhar no apoio da aprendizagem, e como a adequação do tipo de RE utilizada de acordo com as demandas da situação de aprendizagem pode significativamente melhorar o desempenho e compreensão do aluno no aprendizado. Algumas das áreas que RE têm

importante atuação: Arquitetura e Design, Raciocínio lógico e analítico, Álgebra, Física, Matemática, Química, Música.

2.3.1 Múltiplas Representações Externas

Após pesquisas sobre a aprendizagem com representações externas mostrarem que quando os alunos podem interagir com representações adequadas seu desempenho é aumentado [2], a atenção tem sido centrada na aprendizagem com mais de uma representação ou com representações dinâmicas, aparentemente baseada na noção de que "duas representações são melhores do que uma". Por isso, a questão a ser respondida não é mais se as múltiplas representações externas (MREs) são eficazes, mas quais os fatores e como eles influenciam a eficácia das MREs.

As primeiras pesquisas sobre a aprendizagem com MREs foram concentradas sobre a influência que são apresentadas quando figuras são expostas juntamente com o texto podem melhorar a compreensão e a memória dos leitores sobre o texto [11]. Com o aumento explosivo dos ambientes de aprendizagem ampliou-se o debate sobre incluir combinações de representações como equações, esquemas, tabelas, gráficos, animações, som, vídeo, simulações dinâmicas. Logo começou, um grande número de teorias da educação que discutem a importância das MREs.

Como exemplo, [14] argumenta que as variabilidades de percepção (os mesmo conceitos representados de diversas formas) oferece ao aluno a oportunidade de construir abstrações sobre conceitos matemáticos. Apoiado por [17] que argumenta que a teoria da flexibilidade cognitiva, a capacidade de construir e alternar entre múltiplas perspectivas de um domínio, é fundamental para o sucesso da aprendizagem, bem como mostram pesquisas sobre o raciocínio analógico que a comparação de processos ajuda as pessoas a fazerem novas inferências [6].

Entretanto pesquisas sobre os benefícios conquistados pelos alunos através de apren-

dizagem com mais de uma representação tem produzido resultados mistos. E em muitos estudos não foram encontrados esses benefícios [33], [36] APUD [1]. Então [1] propôs o DEFT, um modelo conceitual baseado em MREs integrando várias pesquisas na aprendizagem, na ciência cognitiva das representações e nas teorias construtivas da educação.

Ainsworth [1] propõe que a eficiência das MREs podem ser mais bem entendidas considerando 3 fundamentais aspectos da aprendizagem: Os parâmetros de design que são únicos para o aprendizado com múltiplas representações externas; as funções que as múltiplas representações exercem no apoio a aprendizagem e as tarefas cognitivas que devem ser descobertas pela interação do aprendiz com as múltiplas representações. O trabalho [1] mostra que existem muitas vantagens do MRES e que estas devem ser claramente identificadas, pois muitas vezes elas têm implicações diferentes das que são esperadas atingir no projeto a ser desenvolvido.

2.3.2 Funções das MRES

Quando as pessoas estão aprendendo conceitos científicos complexos, interagindo com as múltiplas formas de representação, tais como diagramas, gráficos e equações estas podem trazer benefícios exclusivos. Existem provas consideráveis para mostrar que os alunos muitas vezes não conseguem explorar essas vantagens, e nos piores casos essas combinações inadequadas de representações podem chegar até a inibir a aprendizagem. Em outras palavras, múltiplas representações são como ferramentas poderosas, mas como todas as poderosas ferramentas elas precisam de um cuidadoso manuseio.

Foi proposto por [1],[2] uma taxonomia funcional das várias representações e proposto que estas representações podem servir a um número de funções distintas para a aprendizagem (e comunicação), e está é utilizada para ilustrar as vantagens das MREs.

As funções-chave das MREs são divididas em três:(1) Papéis complementares; (2) Restringir interpretação; (3) Construir uma compreensão mais aprofundada.

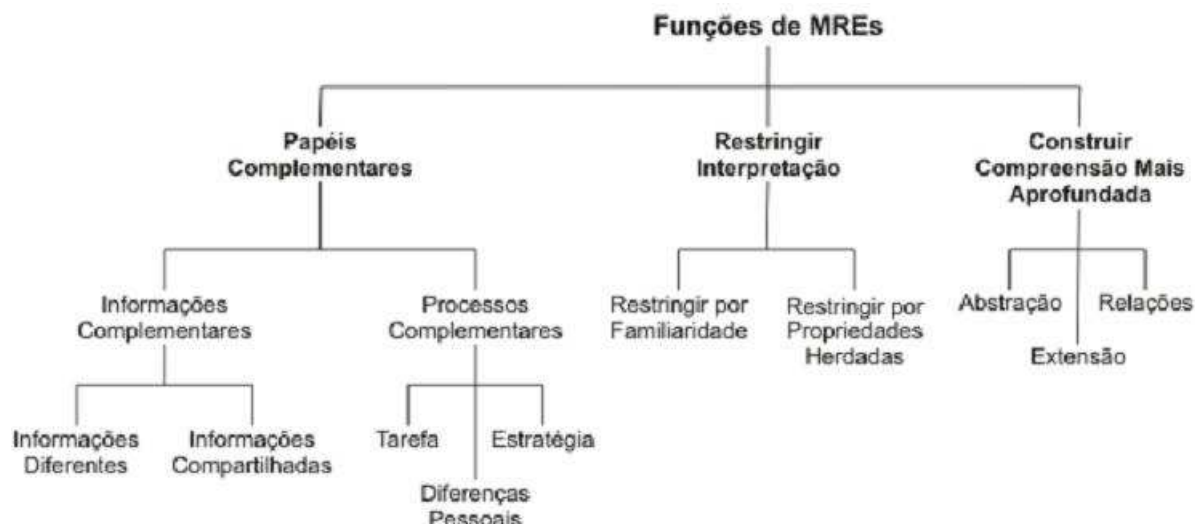


Figura 2.3: Funções da MREs Traduzido de [1]

2.3.2.1 Papéis Complementares

Definição: duas ou mais MREs apresentam funções complementares quando diferem na informação que cada uma expressa ou no processo que individualmente suportam. A função de papéis complementares pode ser dividida nas seguintes subfunções:

- **Informações complementares:** exploram-se as diferenças na informação expressa por cada RE. Ocorre quando apenas um tipo de RE pode ser insuficiente para apoiar ou transmitir toda informação necessária para o ensino de um conceito razoavelmente complexo. Divide-se em duas subclasses:
 1. **Informações diferentes:** As REs modelam aspectos únicos do domínio, logo apresentam informações distintas;
 2. **Informações compartilhadas:** São REs nas quais não existem exclusivamente uma interseção sobre as informações que elas compartilham.
- **Processos complementares:** As REs modelam as mesmas informações apresentadas por REs distintas, mesmo que estas contenham informações equivalentes, podem diferir nas inferências e processos que venham sustentar.
 1. **Diferenças pessoais:** possibilita-se ao aluno escolher, dentre um grupo de REs, dando ao aluno o poder de optar a trabalhar com a representação que

melhor se adapte às suas necessidades;

2. **Compatibilidade com a tarefa:** é o processo quando o desempenho é facilitado, pois as estruturas das informações exigidas para tarefa são correspondentes a da RE ou tem a mesma forma da que foi fornecida para sua resolução;
3. **Interação com estratégias:** São quando REs e estratégias para resolução de problemas interagem, sendo associadas entre si. Incentivando os alunos a tentar várias estratégias para resolver um problema, assim mesmo que algumas estratégias tenham deficiências e fraquezas outras podem ter pontos fortes para complementar a outras estratégias.

Uma simples ilustração de informações complementares, pode ser representado por um exemplo na qual o foco é nossa própria força e movimento, consistindo em mostrar os valores para a massa, força, atrito e velocidade. Cada representação seja um gráfico, uma equação, um display numérico, representa os diferentes aspectos de um organismo simulado. Logo apresentando informações complementares do mesmo organismo simulado.

Usar múltiplas representações para apoiar processos complementares tem base sobre a observação agora extremamente bem conhecida de que as representações, mesmo que sejam equivalentes informalmente ainda diferem em suas propriedades computacionais [31]. Por exemplo, os diagramas podem explorar os processos perceptivos, agrupando as informações relevantes para tomada de pesquisa e reconhecimento mais fácil. Tabelas tornam a informação explícita, podendo realçar as células vazias, e permitindo entendimento rápido e preciso (de valores individuais) podendo realçar os padrões e regularidades. Equações mostram compactamente a relação entre variáveis quantitativas.

2.3.2.2 Restringir Interpretação

Baseia no uso de uma RE com o objetivo de restringir a interpretação de outras REs. Isto pode ocorrer por familiaridade ou por propriedades herdadas.

1. **Familiaridade:** concerne no uso de uma RE com qual a familiaridade é usada para auxiliar a interpretação de uma RE com menos familiaridade;
2. **Propriedades herdadas:** ocorre em casos em que a interpretação de uma RE genérica pode ser restringida por uma segunda RE mais específica.

Exemplo, muitas vezes os alunos podem encontrar uma nova forma de representação complexa e interpretá-la mal. Neste caso, pode-se usar uma segunda representação, mais familiar ou de fácil interpretação, para apoiar a sua compreensão da nova representação. O papel desta representação simples é a de restringir as interpretações que os alunos fazem da nova representação. No sistema SIMQUEST¹, para restringir uma representação é usada a animação de uma motocicleta [37].

A representação utilizada se move através da tela para mostrar ao aluno a velocidade de um objeto. Este pode, então, restringir a interpretação de outras representações mais abstratas. Por exemplo, uma interpretação comum de um gráfico velocidade/tempo é que uma linha horizontal significa que o objeto está em repouso. No entanto, se o aluno pode ver a moto em movimento, ao mesmo tempo que o gráfico da velocidade/tempo, então pode ajudá-lo a compreender que uma linha horizontal significa movimento uniforme, em vez de nenhum movimento.

2.3.2.3 Construir uma Compreensão mais Aprofundada

Definição: o uso de MREs apoiam uma construção mais profunda quando proporcionam a obtenção de percepções mais profundas que seriam dificilmente alcançadas por apenas o uso de uma RE, aumentando assim a possibilidade de ser transferida para novas situações.

É dividida em 3 categorias:

1. **Abstração:** É o processo pelo qual os alunos criam entidades mentais que servem como base para novos processos e conceitos em um nível superior de organização.

¹é um ambiente de criação projetado para permitir pesquisadores e professores para criar simulações de ensino para seus alunos, nele é feito uso de diferentes representações para ajudar os alunos a compreender o tema que está sendo aprendido

podendo construir referências através MREs e então expor a estrutura subjacente do domínio representado.

2. **Extensão:** Pode ser considerada como uma forma de que MREs podem estender o conhecimento que um aluno tem de uma RE conhecida para uma RE desconhecida, mas sem fundamentalmente reorganizar a natureza desse conhecimento.
3. **Relações:** É o processo pelo qual as duas representações estão associadas novamente sem reorganização do conhecimento. O objetivo da relação entre as representações de ensino às vezes pode ser um fim em si mesmo.

Por exemplo, MREs podem apoiar a construção de um entendimento mais profundo, quando os alunos relacionam essas representações para identificar quais são características compartilhadas invariantes de um domínio e quais são as propriedades das representações individuais. Kaput [18] propõe que "a vinculação das representações cognitivas cria um todo que é mais do que a soma das suas partes". Existem várias explicações teóricas de aprendizagem que enfatizam este uso de múltiplas representações.

A teoria da flexibilidade cognitiva destaca a capacidade de construir e alternar entre múltiplas perspectivas de um domínio como fundamental para o sucesso da aprendizagem [17]. Dienes [14] argumenta que a variabilidade de percepção (os mesmos conceitos representados de diversas formas) oferece aos alunos a oportunidade de construir melhores abstrações sobre conceitos matemáticos.

2.3.3 Complexidade na Aprendizagem de Conceitos Científicos por MREs

Estas vantagens potenciais de múltiplas representações para aprender conceitos complexos só podem ser alcançadas se os alunos gerenciarem as tarefas complexas de aprendizagem associados à sua utilização. De acordo com [1] existem 4 princípios básicos que os alunos precisam saber para entender as representações, objetivando um aprendizado de sucesso. São elas:

- 1. Entender a forma da representação:** A competência mais básica que os alunos devem desenvolver é compreender a sintaxe da representação. Eles devem entender como uma representação codifica as informações presentes. Por exemplo, Preece [27] relata que entre crianças de idade 14-15 anos foram encontrados alguns alunos que tiveram problemas com a leitura e plotagem de pontos em gráficos, eles interpretavam pontos como intervalos.
- 2. Entender como selecionar uma representação adequada:** Em muitos multi-ambientes de representação, nem todas as representações estão disponíveis no mesmo tempo. Neste caso, os alunos têm de selecionar a representação mais adequada para suas necessidades. Se este for o caso, eles podem ter de considerar o objetivo que pretendem alcançar, ou que representações estão disponíveis e quais são as suas preferências individuais.
- 3. Compreender como construir uma representação adequada:** Em um exemplo os alunos foram apresentados com representações e então obrigados a interpretá-las. No entanto, também podem ser necessárias que os alunos construam representações em si e podem ser dadas instruções específicas da representação para a construção, Exemplo, "Como desenhar um gráfico velocidade/tempo de um corpo que se inicia com uma velocidade inicial de 0 m/s e depois continua a acelerar à razão de $9,8 \text{ m/s}^2$ para 30 segundos. Encontre a velocidade média ?"
- 4. Compreender como relacionar as representações:** Existe um processo que é a única forma para aprender com mais do que uma representação, é o de relacionar diferentes representações. Não há uma boa evidência de que isso possa ser extremamente difícil para os alunos, no entanto, é uma fundamental característica de especialização do aprendizado.

2.4 Conclusão

Este capítulo apresentou uma descrição sobre STIs, sua evolução, seus objetivos, mostrando que os STIs são capazes de atender às diferentes necessidades dos alunos através

de um sistema especializado na gestão de conhecimento, baseado na hipótese do mapeamento do pensamento do aluno. Também foi apresentada as diferenças entre shell para STI e STI sistema de autoria, na qual um shell para STI é um framework generalizado que serve como base para a construção de STIs, enquanto um sistema de autoria é um shell STI juntamente com uma interface para usuário.

Em teorias de aprendizagem são apresentadas formas para tentar simular e entender a cognição humana. Sendo apresentadas duas teorias, ACT e a REPAIR. A ACT foca em como as pessoas organizam o conhecimento e produzem comportamentos inteligentes, já a teoria REPAIR foca no modo e no porquê que erros são cometidos para tentar explicar como pessoas adquirem habilidades processuais.

A partir do estudo sobre STI e teorias de aprendizagem foram apresentadas as MREs, o conjunto de REs, termo usado para descrever técnicas para representar o conhecimento. Foi apresentado o conjunto de funcionalidades que as MREs podem desempenhar e os benefícios que podem apresentar, bem como a complexidade envolvida na aprendizagem de conceitos científicos por MREs.

CAPÍTULO 3

CONCEITOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta uma análise sobre a classificação dos erros sobre o processo indutivo humano e um estudo sobre as vantagens que MREs podem suprir baseado nos tipos de erros classificados. Em seguida é apresentado um modelo de processo de remediação de erros com apoio de MREs que é composto de 5 etapas: coleta de dados, análise, correlação, escolha, metodologia.

3.1 Classificação dos Erros Sobre o Processo Indutivo Humano

Aqui descreve-se brevemente a classificação de erros apresentada em [28] que foi fundamentada no estudo do processo indutivo humano. Esta classificação é composta por três tipos conceituais de erros presentes ao longo do tempo nas mais diversas disciplinas da área da educação. São eles: Sub-generalização, Super-generalização e Miscelânea; a seguir serão apresentadas suas definições:

- **Sub-generalização:** um erro conceitual é designado nessa categoria quando o aprendiz não consegue classificar determinado elemento como pertencente a classe de conceitos que ele se enquadra. Uma definição dessa classificação aborda que em algum momento o aluno esqueceu ou deixou de levar em consideração alguma hipótese ou regra que era necessária para o completo entendimento da classe conceitual estudada.
- **Super-generalização:** um erro conceitual é designado nessa categoria quando o aprendiz classifica indevidamente um determinado elemento a uma classe da qual ele não pertence, essa categoria apresenta que o aprendiz em algum momento agregou um conhecimento a uma determinada classe conceitual que não deveria ser agregado, logo causando o erro classificado em questão.

- **Miscelânea:** um erro conceitual é designado nessa categoria quando ocorre uma mistura dos dois erros apresentados anteriormente, logo apresentando uma falta de compreensão mais profunda por parte o aluno das classes conceituais necessárias para realização da tarefa. É visível nesse tipo de erro uma falta de conhecimento do aprendiz sobre as regras da classe conceitual que podem ser necessárias para resolução do problema.

3.2 Classificação das MREs Conforme Classificação de Erros e suas Vantagens

Segundo o estudo sobre classificação dos erros no processo indutivo humano apresentado na seção 3.1 foi constatado uma série de benefícios que o uso da MREs poderiam desempenhar se utilizadas como parte significativa do processo de remediação de erros cometidos pelo aprendiz. A remediação de erros é ação tomada pelo sistema tutor inteligente quando um erro é capturado pelo sistema, dando ao sistema uma oportunidade de expressar fatos e regras que possam levar o aluno a corrigir o erro, simplesmente mostrando conceitos esquecidos, ou fazendo os alunos constatarem situações em que existem exceções nos conceitos apresentados.

Uma grande parte dos STIs desenvolvidos que apresentam suporte a diagnóstico e remediação de erros, a exemplo do Sierra [39], tem geração de explicações para os erros cometidos baseado apenas pela apresentação de conceitos na forma de representação textual, apesar de eficaz pode muitas vezes não ser entendida pelo aprendiz, podendo até gerar dúvidas sobre partes de conceitos já assimilados corretamente por parte do mesmo. Com uso de MREs nas tomadas de remediação é possível fornecer ao aluno uma construção de uma compreensão mais profunda possibilitando ao aprendiz atingir percepções que seriam difíceis de conseguir com apenas um tipo representação [1].

A seguir será apresentado um modelo que tem como objetivo apresentar os tipos de

MREs e seus benefícios no ato de remediação de tipos de erros específicos conforme a classificação erros adotada para o presente estudo. Este modelo foi desenvolvido com o propósito de auxiliar na criação de objetos de aprendizagem baseado nos conceitos das MREs para o auxílio na remediação de erros. As relações entre os tipos de erros e as funções de MREs apresentadas na tabela abaixo foram obtidas com a ajuda de especialistas no ensino de matemática.

Tipo de Erro	Descrição	Função de MREs para Apoio ao Erro Apresentado
Sub-Generalização	O aluno não consegue associar o elemento ou regra como pertencente a classe de conceitos que se enquadra	Funções de construção de uma compreensão mais profunda
Super-Generalização	O aluno associa regras ou elementos a classes conceituais a qual não pertence	Funções de Restrição de Interpretação
Miscelânea	O aluno efetua uma mistura de erros formado por sub-generalização e super-generalização	Funções de Papéis Complementares

Tabela 3.1: Classificação Erros X Classificação MREs

- **A função de construção de uma compreensão mais profunda** é indicada para remediação de erro da categoria Sub-generalização, pois tem como principal característica a função de apresentar percepções mais profundas, ajudando os alunos a criarem mapas mentais, servindo de base para organização de conceitos permitindo o aluno uma identificação do elemento que ele não conseguiu associar. Esse processo vai ajudar ao aluno a reorganizar a natureza desse conhecimento, aumentando também a possibilidade de ser transferida para novas situações.
- **A função de restrição de interpretação** é indicada para remediação de erro da categoria Super-generalização, tendo como objetivo de restringir a compreensão do conhecimento do aluno a fim de ajudá-lo a identificar que a classe conceitual escolhida estava errada. Esta função possibilita a oportunidade de uma nova inter-

pretação do problema baseado nas restrições apresentadas, podendo ocorrer através da herança da remediação apresentada ou familiaridade, neste caso tornando a tarefa mais familiar ou mais fácil de interpretar para que o aprendiz possa constatar seu erro e corrigi-lo.

- **A função de papéis complementares** é indicada para remediação de erro da categoria Miscelânea, com o propósito de apresentar a mesmas informações de modos diferentes para trazer um apoio para aluno focado no maior entendimento do conceito, ou pela simplificação do conceito razoavelmente complexo através da separação das informações apresentadas em conceitos mais simples.

3.3 Processo de Remediação de Erros com Apoio de MREs

O processo de remediação abordado por este trabalho consistiu de 5 etapas, que estão apresentadas no diagrama abaixo:

- Coleta de dados sobre erros conceituais;
- Análise dos dados coletados;
- Correlação entre os erros classificados e as funções de MREs;
- Escolher MREs de acordo com processo de aprendizagem e o assunto abordado;
- Escolher a metodologia utilizada para remediação do erro.

3.3.1 Coleta dos Dados sobre Erros Conceituais

São apresentadas a seguir duas técnicas que podem ser utilizadas na etapa de coleta de dados sobre erros conceituais efetuados no decorrer do processo de aprendizagem:

- **Observação direta:** Consiste do ato de acompanhar o aprendiz e anotar basicamente toda interação do aprendiz com os problemas que serão abordados no sistema sem



Figura 3.1: Processo de Remediação Adotado

interferir no processo, podendo também questionar o aluno sobre o processo utilizado na resolução do problema bem como os fatores que levaram à escolha desse processo, muitas vezes dando a possibilidade de constatar alguns pontos ou fatores que contribuem direta ou indiretamente para o aparecimento de erros.

- Observação indireta: é um processo de coleta de erros mais prático que consiste em definir rotinas que vão capturar os eventos da interação entre o sistema e o aprendiz, criando a possibilidade da captura de um grande volume de erros se comparado com o processo de observação direta, isto permite que com um maior número de erros capturados se possa mapear vários modos de trazer o aprendiz de volta para o caminho ideal estabelecido na resolução do problema. Mas na prática isto muitas vezes

não é alcançado pela falta de detalhes sobre o processo escolhido pelo aprendiz na resolução do problema ou passos que são tomados que não estão claros na interação entre o sistema e o aluno. Um exemplo de coleta de erros cometidos através da conexão entre um Objeto de Aprendizagem e um servidor para a avaliação indireta dos erros é sugerido em [16].

3.3.2 Análise dos Dados Coletados

Esta fase consiste em 2 etapas :

- Organizar os erros identificados em categorias baseados em suas características, sendo estas separadas em grupos ou individualmente para servir de suporte para sua classificação a seguir.
- Consiste em classificar as categorias de erro da etapa anterior de acordo com a abordagem de classificação de erros do processo indutivo humano abordado anteriormente. Estas serão utilizadas na criação de regras de produção para o processo de detecção automática da classe do erro através da análise dos dados sobre o erro juntamente com as regras de produção definidas.

3.3.3 Correlação Entre os Erros Classificados e as Funções de MREs

Esta etapa tem o objetivo de identificar as funções das MREs que podem oferecer um melhor suporte ao aprendiz baseado nos erros categorizados e classificados nas etapas anteriores, proporcionando um suporte específico ao aprendiz de acordo com o tipo de erro efetuado trazendo a possibilidade de que a função escolhida traga o aluno para mais perto do modelo de resolução adotado, muitas vezes também removendo fatores de dificuldade para o entendimento e resolução do problema abordado para o aluno.

3.3.4 Escolher MREs de Acordo com Processo de Aprendizagem do Assunto Abordado

Neste momento deve-se identificar quais MREs devem ser utilizadas para remediação do erro levando em consideração o estudo feito nos passos anteriores, buscando o maior benefício para o processo de aprendizagem abordado. Deve-se levar em consideração vários fatores nessa etapa que influenciam no desempenho das MREs, como público alvo do projeto desenvolvido, idade, escolaridade, se necessariamente o usuário poderá compreender as representações que serão apresentadas afim de apoiar o entendimento do que deseja ser passado pelo sistema.

3.3.5 Escolher a Metodologia Utilizada para Remediação do Erro

Deve se escolher nessa etapa como será o processo de remediação de erro utilizado, sendo definidas questões como: se o sistema vai oferecer uma assistência personalizada para cada erro cometido pelo usuário? Ou por um conjunto de determinados erros? Ou somente em situações críticas que desviem o aprendiz do caminho ideal estabelecido para resolução do problema abordado.

3.4 Conclusão

Neste capítulo apresentou-se uma análise da classificação de erros sobre o processo indutivo humano composta por três tipos de erros conceituais: Sub-generalização, Super-generalização, Miscelânea. Sendo apresentada em seguida uma proposta de uma relação benéfica entre os tipos de erros analisados em comparação com as funções que as MREs podem desempenhar.

Por fim foi proposto um modelo para o processo de remediação de erros com o apoio de MREs, sendo o mesmo constituído de 5 etapas: coleta de dados sobre erros conceituais; análise dos dados coletados; correlação entre os erros classificados e as funções de MREs; escolher MREs de acordo com processo de aprendizagem e o assunto abordado; escolher

a metodologia utilizada para remediação do erro. Este processo serve de base para o desenvolvimento da arquitetura e da ferramenta apresentadas a seguir.

CAPÍTULO 4

ARQUITETURA FUNCIONALISTA

Neste capítulo descreve-se a arquitetura proposta para consolidação da abordagem apresentada no capítulo 3, sendo desenvolvido um sistema com o intuito de incorporar desde o processo de detecção dos erros e sua classificação até o processo de remediação do mesmo com uso de MREs.

4.1 Descrição Geral

O sistema desenvolvido foi implementado sobre um objeto de aprendizagem chamado Finance, desenvolvido pelo Condigital¹, que tem como domínio a área de matemática financeira, onde são encontrados problemas sobre o processo de compra, venda, empréstimo, financiamento. Nele são trabalhados conceitos como: juros simples, juros compostos, desconto, capital, período e montante, em situações cotidianas de uma pessoa.

Na implementação da ferramenta foi utilizada a linguagem de programação Java, seguindo os padrões do paradigma de Programação Orientada a Objetos. Os fatores que fundamentaram estas escolhas foram:

- Portabilidade, por ser uma linguagem interpretada, o Java pode ser executado em qualquer plataforma ou equipamento que possua um interpretador Java, e que tenha sido especialmente compilado para o sistema a ser utilizado, independente do hardware e do sistema operacional utilizados;
- Facilidade de integração com objetos de aprendizagens já implementados;
- Orientação a Objetos: Java é uma linguagem totalmente orientada a objetos, o que permite a herança e a reutilização de códigos de forma dinâmica e estática;

¹O projeto CONDIGITAL da UFPR/CETEPAR/UDEL foi desenvolvido sob licença GNU General Public License

- Familiaridade com a linguagem.
- Software livre com GNU General Public License.

4.2 Organização da Arquitetura Funcionalista

Conforme o diagrama apresentado na figura 5.1, A arquitetura é composta por 3 módulos principais, são eles : Módulo de Análise dos Dados, Módulo de Classificação do Tipo de Erros, e Módulo de Controle de MREs. Ainda fazem parte da arquitetura a Base de Regras sobre e Erros, Base de Regras sobre MREs e a Base de MREs. Todos esses módulos e bases serão detalhados na sequência.

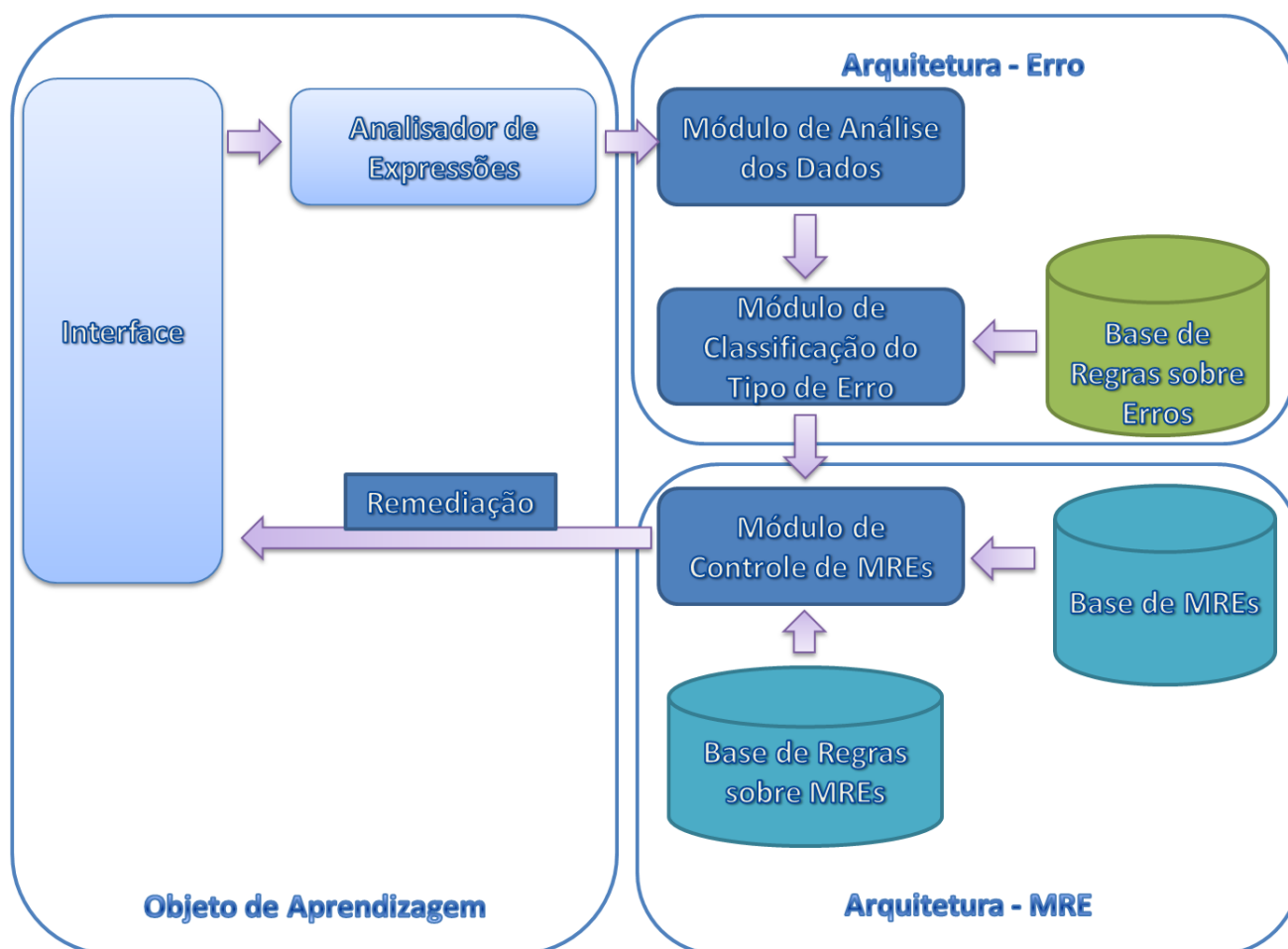


Figura 4.1: Arquitetura Funcionalista

4.2.1 Módulo de Análise dos Dados

O Módulo de Análise dos Dados está situado na divisa entre o Objeto de Aprendizagem e o sistema. Sendo este responsável pela comunicação inicial entre os mesmos, seu funcionando é responsável por receber os dados do Objeto de Aprendizagem e identificar as expressões e conceitos recebidos, e definir como esses dados serão formatados para serem utilizados em sequência pelo Módulo de Classificação do Tipo de Erro, no processo da identificação do tipo do erro efetuado pelo aprendiz.

Este módulo tem com função identificar e validar os dados e expressões, para que estes possam no passo seguinte, ter seus dados compatíveis com a Base de Regras sobre Erros para serem analisados pelo Módulo de Classificação dos Tipos de Erros.

4.2.2 Módulo de Classificação do Tipo de Erro

O Módulo de Classificação do Tipo de Erro é parte principal no processo de identificação do tipo de erro, para isso ele usa como entrada do processo os dados formatados e organizados sobre as circunstâncias do erro do aprendiz e tem acesso a Base de Regras sobre Erros, com isso o sistema classifica o tipo de erro conforme a classificação de erro escolhida no processo de desenvolvimento de acordo com as escolhas do projeto.

Esse módulo foi realizado com um apoio de um motor de inferência chamada JEOPS² desenvolvido em Java, com ele pode-se definir regras que são executadas sobre objetos Java, sendo o JEOPS responsável por analisar e definir sobre todas as regras, a mesma que se encaixa no dados descritos sobre as circunstâncias do erros repassados pelo Objeto de Aprendizagem e formatados pelo Módulo de Análise dos Dados.

O resultado do processamento das regras pelo JEOPS é um tipo de erro conceitual definido anteriormente, no caso da ferramenta realizada foi escolhida a classificação proposta por Ramos [28]. Restringindo a saída desde módulo como sendo: Sub-generalização,

²JEOPS - The Java Embedded Object Production System - <http://www.di.ufpe.br/~jeops/>

Super-generalização e Miscelânea.

4.2.3 Módulo de Controle de MREs

O Módulo de Controle de MREs é responsável por definir quais funções as MREs utilizadas terão que desempenhar para se conseguir benefícios com seu uso de acordo com o tipo do erro classificado nas etapas anteriores. Definindo também quais MREs serão utilizadas na remediação do erro constatado e já classificado.

Este Módulo tem como entrada o tipo de erro classificado pelo Módulo de Classificação do Tipo de Erro e conjunto dos dados da Base de Regras sobre MREs, assim como no Módulo de Classificação do Tipo de Erro este também utiliza o JEOPS para análise dos dados e interpretação dos dados usando as regras definidas e o tipo de erro encontrado.

O Módulo de Controle de MREs se baseia em duas premissas definidas para escolha do tipo de MREs:

- De acordo com as funções que estas podem desempenhar na situação;
- e através da análise da sequencia lógica ou padrões definidos pelo autor na regras de escolha das MREs.

Logo a análise é dividida em duas partes: a Primeira parte é definida por uma análise de qual função que deve ser desempenhada pela MREs que irá fazer parte do processo de remediação final da ferramenta. Esse processo é definido de acordo com o estudo realizado na seção 3.2, onde foram apresentadas as funções das MREs em correspondência aos tipos de erros que estão sendo remediados.

A segunda etapa é de definição de qual MRE será usada na remediação, sendo já escolhida sua função na etapa anterior, viu-se a necessidade de escolher uma MRE entre as várias que exercem esta mesma função na remediação. Para isso foi criada um base

de regras responsáveis por definir qual MRE será utilizada, levando em consideração os critérios como:

- Números de vezes que o alunos cometeu o mesmo erro;
- Ordem das MREs baseado na sequências dos tipos de erros identificados;
- Alternar a MRE para mesmo tipo de erro em situações distintas que o aluno não teve sucesso na interação passada;
- Manter a MRE para o mesmo tipo de erro em situações distintas que o aluno teve sucesso na interação passada.

Esses critérios foram definidos para esse estudo, mas podem ser modificados de acordo com o conteúdo que deverá ser remediado futuramente ou simplesmente pelo desejo da pessoa responsável pela escolhas das MREs que irão fazer parte do sistema que será projetado.

4.2.4 Base de Regras sobre Erros

A Base de Regras sobre erros é composta por um conjuntos de regras de produção que tem o objetivos de identificar as características dos erros do aprendiz em um certo nível de granularidade para fazer parte do processo de classificação do erro cometido por parte do aprendiz.

A seguir são apresentados alguns exemplos de regras implementadas no contexto do sistema desenvolvido. Estas regras servem para exemplificar o uso da arquitetura funcionalista e foram desenvolvidas com o auxílio de um especialista.

Regra Regra de Produção

Situação Contexto

Regra1 Se (RespostaDoAluno == Aumento(); E TipoProblema(); == Desconto) Então

Situação1 O aluno calculou um desconto no lugar de um aumento

Regra2 Se (RespostaDoAluno == Aumento(); E TipoProblema(); == Desconto) Então

Situação2 O aluno calculou um desconto no lugar de um aumento

Regra3 Se (RespostaDoAluno == JurosComposto E TipoProblema(); == JurosSimples) Então

Situação3 O aluno calculou juros composto no lugar de juros simples

Regra4 Se (RespostaDoAluno == JurosSimples E TipoProblema(); == JurosComposto) Então

Situação4 O aluno calculou juros simples no lugar do juros composto

Regra5 Se (RespostaDoAluno == DescontoSimbolico();) Então

Situação5 O aluno calculou um desconto com o valor simbólico da porcentagem

Regra6 Se (RespostaDoAluno == AumentoSimbolico();) Então

Situação6 O aluno calculou um aumento com o valor simbólico da porcentagem

4.2.5 Base de Regras sobre MREs

A Base de Regras sobre MREs é composta por um conjunto de regras de produção que tem o objetivo de identificar as características e objetivos em um certo nível de granularidade para fazer escolha de um tipo específico de MRE dentro de um conjunto de várias MREs que apresentam uma função específica.

A seguir são apresentados alguns exemplos de regras implementadas no contexto do sistema desenvolvido:

- Caso o tipo de erro cometido seja X use a a MRE "Gráfico 1";
- Sempre usar o "Equação 1" como primeira remediação do Tipo de Erro Y;
- Caso o tipo de erro seja Y não use a MRE "Gráfico 1";
- Caso o tipo de erro seja X cometido 3 vezes use a MRE "Vídeo 1";
- Se Erro já foi cometido e houve sucesso após a remediação use a mesma MRE utilizada;
- Se Erro já foi cometido e houve falha após a remediação use uma MRE diferente da utilizada;

4.2.6 Template de Autoria de Regras sobre MREs

Com o desenvolvimento do sistema foi encontrada a necessidade de dar uma liberdade maior sobre controle de escolha das MREs que serão utilizadas no objeto de aprendizagem, para o especialista que está preparando o conteúdo que será utilizado no suporte ao ensino.

Desse modo foi definido um modelo de regras sobre MREs para suprir essa necessidade, que traz consigo uma maior liberdade no controle das MREs que serão utilizadas na remediação do tipo de erro classificado. Incorporando ao sistema não apenas a possibilidade de escolha pelo autor das melhores MREs para cada tipo de erro classificado, mas também para cada situação que o mesmo julgue de importância que MREs diferentes ou específicas sejam necessárias para que se possa ter um resposta melhor do aprendiz na interação com o sistema.

Esse template tem como base inicial as regras de produção apresentadas na seção 3.2, seguindo mesmo formato e características, permitindo que as regras sejam relativamente independentes, e ao mesmo tempo que o conhecimento possa ser construído de forma

incremental.

A seguir é apresentado a composição das regras sobre MREs que foram definidas nesse estudo:

Condição	É composta pela sequência de fatos ou regras lógicas que possam identificar uma situação , condição ou meta	Estabelecimento da meta
Ação	Tem a função de definir qual MRE ou conjunto MREs que podem ser escolhidas para remedição na situação definida pela condição	Aplicação e ação

Tabela 4.1: Formato da Regra sobre MREs

Para o uso das regras de produção sobre MREs baseado no estudo realizado, foram desenvolvidos alguns parâmetros que devem ser seguidos no momento da definição da criação das regras de produção sobre MREs, são estas:

- Função que exerce a MRE
- Complexidade que exerce a MRE
- Nível de compatibilidade da MRE sobre várias situações (MREs Gerais ou MREs Específicas) EX: Tabela, Figura

4.2.6.1 Função que exerce a MRE

Baseia-se no uso de uma MRE com o objetivo de proporcionar um suporte ao tipo de erro analisado, conforme sua classificação, assim sendo utilizada no processo de remediação uma MRE com uma função que apresente uma série de benefícios sobre o tipo de erro classificado, que foram abordados previamente na seção 3.2. A seguir é dado um exemplo de regras sobre MRE baseado na função exercida.

Exemplo da regra1 sobre MRE com a função de construir uma compreensão mais aprofundada:

Condição	Se (TipoDeErro == Sub-Generalização)
Ação	Então MostraMREsFunção(ConstruçãoDe-Compreensão)

Tabela 4.2: Regra Função de Construção

Exemplo da regra2 sobre MRE com a função de restringir a interpretação:

Condição	Se (TipoDeErro == Super-Generalização)
Ação	Então MostraMREsFunção(RestriçãoInterpretação)

Tabela 4.3: Regra Função de Restrição

Exemplo da regra3 sobre MRE com a função de Papéis Complementares :

Condição	Se (TipoDeErro == Miscelânea)
Ação	Então MostraMREsFunção(PapeisComplementares)

Tabela 4.4: Regra Função de Complementar

4.2.6.2 Complexidade que apresenta a MRE

Baseia-se na escolha da MRE para remediação, segundo sua complexidade, pois foi apresentado na seção 2.3.3 que existem 4 princípios básicos que os alunos precisam saber afim de entender e utilizar as MREs corretamente, Logo o autor do sistema deve classificar as representações que foram escolhidas por ele para fazer parte do objeto de aprendizagem conforme sua complexidade de entendimento por parte do aluno.

Seguindo esse conceito o autor pode também classificá-las de acordo com critérios próprios, com por exemplo níveis de suporte, sendo que a MRE apresentada ofereça o mínimo

de suporte, mas esse suporte cresce a cada vez que o aluno insiste no mesmo tipo de erro e fica estagnado na mesma situação ou números de tentativas erradas no mesmo exercício. A seguir é dado um exemplo de regras sobre MRE baseado na complexidade apresentada pela MRE.

O Exemplo das regra1 e regra2, demonstra um controle sobre as MREs baseado no número de tentativas sem sucesso do aprendiz na interação com o tipo de erro, mas também pode ser utilizada no contexto de número de quantidade de erros na mesma situação ou problema :

Condição	Se (TipoDeErro == Sub-Generalização E QuantidadeDeVezes == 0)
Ação	Então MostraMREsNivel(0)

Tabela 4.5: Regra 1 Complexidade

Condição	Se (TipoDeErro == Sub-Generalização E QuantidadeDeVezes == 1)
Ação	Então MostraMREsNivel(1)

Tabela 4.6: Regra 2 Complexidade

O exemplo da regra3 ilustra um número N de tentativas sem sucesso por parte do aprendiz na interação com o sistema, logo o autor decide que pode ser necessário tentar utilizar outra função de MREs além da estabelecida como padrão.

Condição	Se (TipoDeErro == Sub-Generalização E QuantidadeDeVezes > N)
Ação	Então AlternarEntreFunçãoMRE()

Tabela 4.7: Regra 3 Complexidade

4.2.6.3 Nível de Compatibilidade da MRE sobre Várias Situações

Baseia-se na de escolha de MRE para remediação conforme sua compatibilidade em diversas situações e seu poder de reutilização. Por exemplo considere uma MRE no formato de uma figura que apresenta a função de restrição de compreensão em um contexto do sistema. Necessariamente, isso não quer dizer que ela pode ser utilizada em exercícios diferentes mesmo que estejam no mesmo objeto de aprendizagem. Pois ela pode apresentar funções diferentes ou nem tratar do assunto abordado pelo exercício.

Contudo uma MRE que é uma tabela, que por exemplo, apresenta um formato mais genérico de representação dos dados, poderia ser utilizada de forma coerente em outras partes do sistema e até em exercícios diferentes. A seguir é dado um exemplo de regras sobre MRE baseado no seu nível de compatibilidade.

O exemplo da regra1 ilustra uma regra utilizada em uma situação específica, sendo a mesma utilizada apenas nessa situação e contexto.

Condição	Se (TipoDeErro == Sub-Generalização E Situação == X)
Ação	Então MostraMREsEspecificasSituação(X)

Tabela 4.8: Regra 1 Situação

4.2.7 Modelo de MRE

Para facilitar o controle e a manipulação das MREs pelo sistema, foi definido um modelo para criação de MRE para esse trabalho. Com o objetivo de prover a arquitetura a possibilidade de controlar distintos tipos de MREs, permitindo a aplicação do "Template" de autoria de regras sobre MREs descrito anteriormente.

Desse modo o especialista poderá preparar vários de tipos de MREs para uma mesma situação, ou criar MREs genéricas que possam ser usadas não apenas para um situação ou erro específico, mas para diversos contexto mesmo sobre assuntos não relacionados. Um exemplo seria um MRE que formata os dados que são repassados para ela em formato de tabela, possibilitando sua utilização em inúmeras situações em que uma tabela é requerida como parte de uma remediação de um tipo de erro. A figura 4.2 mostra com é fundamentado o modelo de MRE adotado para esse estudo.

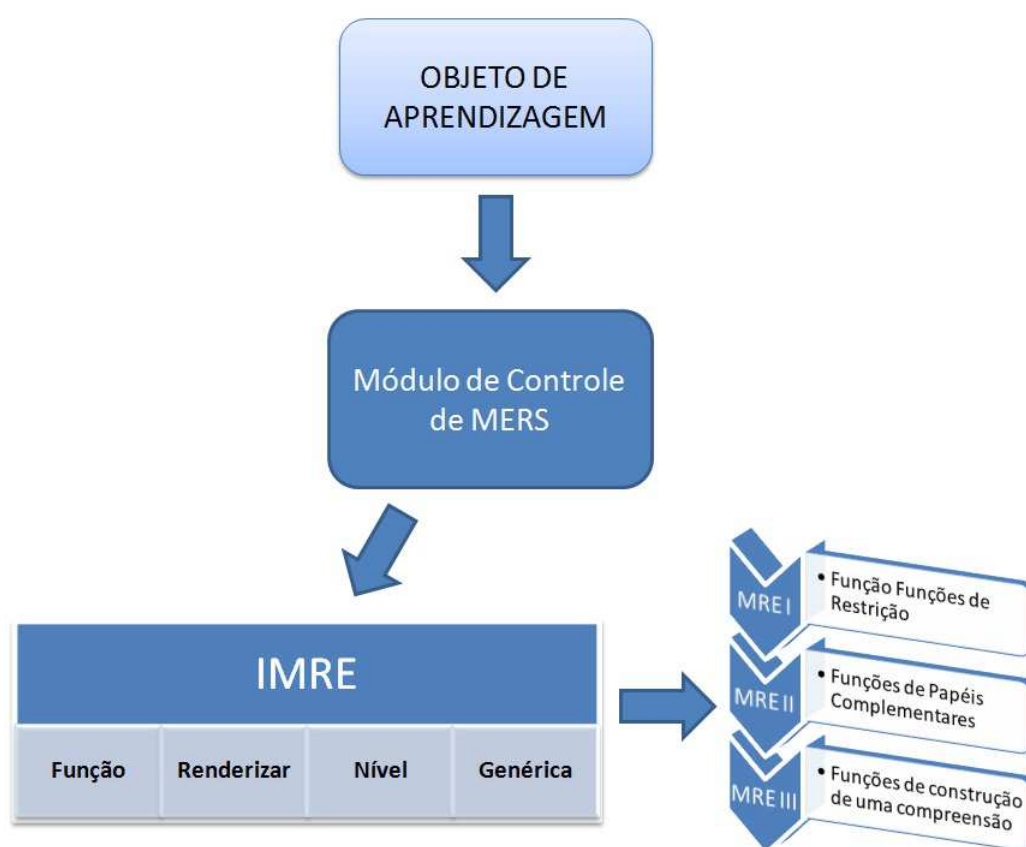


Figura 4.2: Modelo de MRE

O modelo de MRE é composto uma interface chamada IMRE, na qual toda MRE do sistema é tratada como IMRE pelo módulo de controle de MERS. A IMRE segue quatro premissas como base da representação das MREs armazenadas na base de MREs. São elas:

- Toda MRE deve conter a sua função classificada previamente e contida na variável função como : Restrição, Papéis Complementares, Construção de Compreensão.

Sendo esta usada pela módulo de controle de MREs na momento da escolha da MRE que irá remediar o tipo de erro classificado, ou seguir o modelo de autoria de MREs caso seja necessário.

- Toda MRE deve conter uma função chamada "renderizar" que será responsável por sua apresentação no momento da remediação de um erro classificado. Servindo de modelo para sua apresentação mesmo que na MRE existam diversas funções, todas devem interagir, mas a que será procurada pelo sistema no momento do processo de remediação será a "renderizar".
- Toda MRE deve ter seu nível definido em uma variável. Caso a haja a necessidade usar a remediação baseado na complexidade que uma MRE apresenta, este item será necessário.
- Toda MRE deve ter uma variável do tipo lógica que é responsável pela verificação se a MRE é genérica ou não. É necessária caso for implantado uma remediação por nível de compatibilidade como apresentando no "template" de autoria.

Foram adotados apenas 4 premissas para o modelo de MRE para tentar não remover a liberdade de criação das MREs, e mesmo assim padronizar o necessário para que o módulo de controle possa analisar as MREs e poder fazer a sua apresentação quando necessária na remediação de algum erro que foi previamente classificado pelo classificador de erros.

4.2.8 Base de MREs

Na Base de MREs é o local na qual ficam armazenadas as MREs que serão usadas na remediação de erros no sistema. Elas estão separadas conforme a função que possa desempenhar no contexto utilizado. A seguir será apresentado um exemplo de uma Base de Dados de MREs seguindo o modelo necessário pelo sistema na tabela 4.9. Segue no apêndice A algumas das MREs apresentadas nessa tabela.

MREs	Função
Formula 1	Papéis Complementares
Formula 2	Construir uma Compreensão mais Aprofundada
Imagem 1	Restringir Interpretação
Imagem 2	Restringir Interpretação
Imagem 3	Papéis Complementares
Video 1	Construir uma Compreensão mais Aprofundada
Video 2	Construir uma Compreensão mais Aprofundada
Gráfico 1	Restringir Interpretação
Gráfico 2	Papéis Complementares
Animação	Construir uma Compreensão mais Aprofundada

Tabela 4.9: Base de MREs

4.3 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a arquitetura funcionalista definida que tem o objetivo de incorporar desde o processo de detecção de erros e sua classificação até o processo de remediação do mesmos com uso de MREs. A arquitetura é composta por 3 módulos principais, são eles: Módulo de Análise dos Dados, Módulo de Classificação do Tipo de Erros, Módulo de Controle de MREs. Ainda fazem partes da arquitetura a Base de Regras sobre e Erros, Base de Regras sobre MREs e a Base de MREs.

Depois do desenvolvimento da abordagem foi encontrada a necessidade de dar uma liberdade maior sobre o controle de escolha das MREs que serão utilizadas no objeto de aprendizagem, para o especialista que está preparando o conteúdo que será utilizado no suporte ao ensino. Sendo definido o template de autoria de regras sobre MREs seguindo quatro parâmetros base para isso: função que exerce a MRE, complexidade que exerce a MRE e o nível de compatibilidade da MRE sobre várias situações.

CAPÍTULO 5

DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA

Este capítulo apresenta uma descrição sobre funcionamento da ferramenta, que constitui desde o processo de classificação do erro até a etapa de escolha da MREs que serão utilizadas na remediação. Também são apresentados alguns passos da interação do aluno com a ferramenta na resolução de problemas, para ilustrar o processo proposto nesse trabalho.

5.1 Interação com o sistema

Para consolidar os fundamentos adotados neste projeto de pesquisa foi desenvolvida uma ferramenta classificada como sendo um diagnosticador e remediador de erros apoiado no uso de MREs no suporte à remediação. Portanto sua função é gerar um diagnóstico imediato dos erros que venham a ser cometidos pelo aprendiz no processo de interação entre o aluno e o sistema na etapa de resolução de problemas.

Diagnosticado o erro o sistema deve fornecer apoio imediato ao aprendiz na forma de MREs que podem ser sentenças de linguagem natural, tabelas, listas, figuras, simulações, diagramas, mapas entre outros. As MREs serão selecionadas de acordo com o tipo de erro classificado pelo sistema com a função de auxiliar o aprendiz de forma mais explicativa e pessoal levando em consideração o tipo de erro cometido e a dificuldade encontrada na resolução do problema descrito.

Logo em seguida será apresentada uma descrição da ação da ferramenta em algumas situações em que o sistema constatou um erro cometido pelo aprendiz, demonstrando também uma visão geral de como ocorre o processo de remediação pela ferramenta.

5.2 Primeira Situação



Figura 5.1: Tela da situação 1

Exemplo 1: O enunciado diz: Você pretende comprar um rádio cujo valor é R\$378,00. No entanto, você tem R\$ 240,00 para dar entrada. Você decide pedir um desconto para pagamento à vista e acaba ganhando um desconto de 30 %. Qual é o preço do rádio a vista? Você conseguirá pagar o rádio com o dinheiro que já tem ou faltará dinheiro para isso?

Situação: O aprendiz apresenta a resposta : R\$ 491.40

O sistema detecta o erro e o classifica de acordo com a metodologia escolhida, nesse caso o erro foi classificado como Sub-Generalização através da análise das regras de produção pela máquina de inferência, baseado na regra de produção, apresentada na tabela 5.1.

Logo o sistema seleciona a função da MRE de acordo com o tipo de erro que foi classificado seguindo os critérios apresentados na seção 3.2, sendo selecionada a função de

Condição	Se for calculado um aumento no lugar de um desconto ou o contrário	Estabelecimento da meta
Ação	Então o Tipo de Erro é definido como Sub-Generalização	Aplicação e ação

Tabela 5.1: Regra de Produção Exemplo 1

Construir uma Compreensão mais Aprofundada para a MRE que é utilizada.

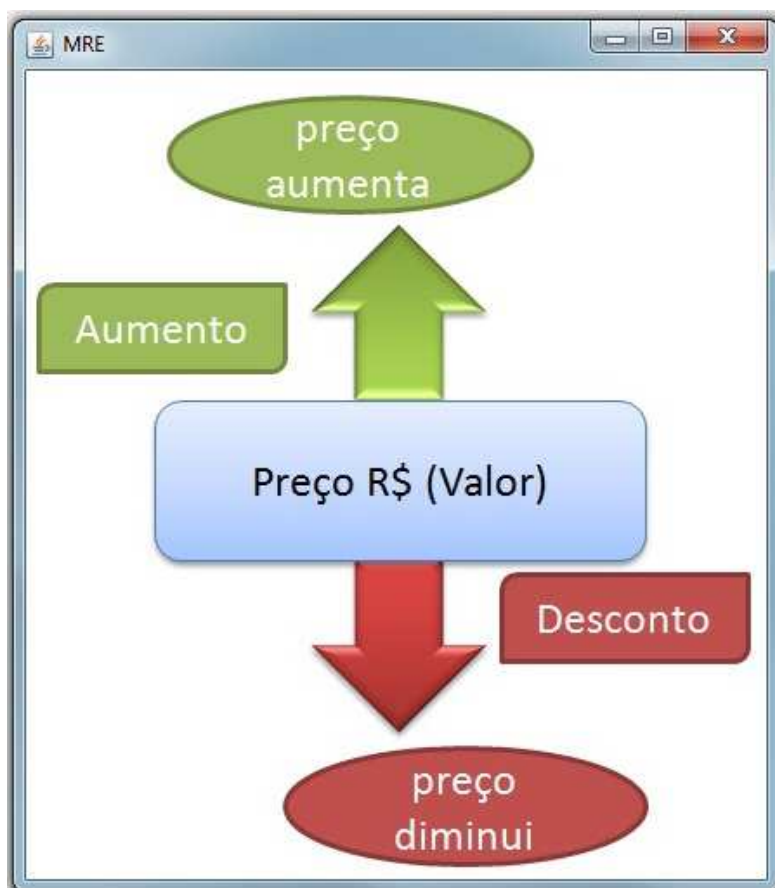


Figura 5.2: MRE para remediação do erro de Sub-Generalização

O próximo passo é escolher a representação para suporte de acordo com a função escolhida, para este exemplo é escolhido destacar parte importantes no enunciado e dar destaque além de mostrar seu significado de uma forma simples (Desconto: diminuir ou reduzir o valor) e também apresentar um barra que mostre visualmente para o aluno o conceito de desconto e aumento, para que o aluno perceba que o cálculo efetuado tem um aumento no valor e não um desconto.

5.3 Segunda Situação

Exemplo 2: O enunciado diz: Você possui R\$338,00 para investir durante 3 meses. Na instituição Rende mais é oferecido um juros simples de 2% ao mês ao dinheiro aplicado nele. Quanto você terá no fim do terceiro mês se aplicar todo seu dinheiro no banco rende mais ?

Situação: O aprendiz apresenta a resposta : R\$ 358,68



Figura 5.3: Tela da situação 2

Do mesmo modo que no exemplo anterior o sistema detecta o erro e o classifica de acordo com a metodologia escolhida, nesse caso o erro foi classificado como Super-Generalização através da análise das regras de produção pela máquina de inferência, baseado na regra de produção, apresentada na tabela 5.2.

Logo o sistema seleciona a função da MRE de acordo com o tipo de erro que foi classificado seguindo os critérios apresentados na seção 3.2, sendo selecionada a função de Restrição de Interpretação para a MRE que é utilizada. A RE selecionada como remediação para este exemplo é apresentada na figura 5.4.

Condição	Se for calculado sobre o valor da resposta juros composto no lugar de juros simples	Estabelecimento da meta
Ação	Então o Tipo de Erro é definido como Super-Generalização	Aplicação e ação

Tabela 5.2: Regra de Produção Exemplo 2

O próximo passo é escolher a representação para suporte de acordo com a função escolhida, para este exemplo é escolhido mostrar uma MRE que restrinja os conceitos do aluno sobre juros composto e simples, fazendo uma comparação entre eles, mostrando através da sequências de valores e barras como se comportam os juros compostos e simples e destacando a diferença dos mesmos através de uma marcação no período de três meses.

Comparação entre o juros composto e simples

Valor = 100.00
Juros = 10%

Juros Simples				Juros Compostos			
Meses	Valor Base p/ Juros	Juros	Dívida	Meses	Valor Base p/ Juros	Juros	Dívida
1	100.00	10.00	110.00	1	100.00	10.00	110.00
2	100.00	10.00	120.00	2	110.00	11.00	121.00
3	100.00	10.00	130.00	3	121.00	12.10	133.10
4	100.00	10.00	140.00	4	133.10	13.31	146.41
5	100.00	10.00	150.00	5	146.41	14.64	161.05
6	100.00	10.00	160.00	6	161.05	16.11	177.16
7	100.00	10.00	170.00	7	177.16	17.72	194.87
8	100.00	10.00	180.00	8	194.87	19.49	214.36
9	100.00	10.00	190.00	9	214.36	21.44	235.79
10	100.00	10.00	200.00	10	235.79	23.58	259.37

Figura 5.4: MRE para remediação do erro de Super-Generalização

5.4 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada uma descrição da ferramenta desenvolvida, através da análise de situações de interação entre o sistema e o aprendiz, mostrando passo a passo como o sistema detecta e classifica o erro de acordo com a análise das regras de produção

pela máquina de inferência e logo em seguida seleciona a função que a MRE tem que desempenhar de acordo com o tipo de erro que foi classificado e apresentando a MRE específica escolhida ao aprendiz pelo sistema desempenhando a função escolhida.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

6.1 Reafirmação da contribuição

Neste trabalho foram apresentadas tanto a necessidade e a importância da criação de abordagens meta-cognitivas com o uso de múltiplas representações externas para o suporte e aquisição de conhecimento através da intervenção e auxílio na remediação de erros cometidos pelos aprendizes em varias áreas de ensino.

Foram realizados estudos na revisão bibliográfica afim de consolidar um conjunto de conceitos e metodologias sobre a processo de classificação de erros, abordagens cognitivas baseadas em MREs visando um estudo na apresentação de um processo de remediação de erros que possa tentar se adaptar para transpor dificuldades encontradas pelo aprendiz no processo de interação com o objeto de aprendizagem. Com base nisso foi apresentado uma relação benéfica que pode ser alcançada sobre a relação apresentada entre as categorias de tipos de erros indutivos humanos com as funções que podem ser desempenhadas pelas MREs. Em seguida foi desenvolvida uma abordagem de remediação de erros com o apoio de MREs que constituiu-se de 5 etapas:

- Coleta de dados sobre erros conceituais;
- Análise dos dados coletados;
- Correlação entre os erros classificados e as funções das MREs;
- Escolher MREs de acordo com processo de aprendizagem e o assunto abordado;
- Escolher a metodologia utilizada para remediação do erro.

Foi desenvolvido um arcabouço para aplicação da abordagem proposta com base na classificação do erro e na categorização das MREs de acordo com sua função para a remediação do erro cometido pelo aprendiz. Este arcabouço é baseado na separação do processo de identificação do erro cometido do processo de escolha da RE adequada. Isto dá modularidade a arquitetura gerada e facilita a autoria de um objeto de aprendizagem baseado nesta proposta.

6.2 Trabalhos futuros

Nesta seção são apresentados alguns pontos identificados como oportunidades de evolução do estudo da dissertação realizada. Tendo alguns tópicos o objetivos de tornar o trabalho mais completo, explorando a escassez de trabalhos sobre alguns pontos e complementando a pesquisa realizada.

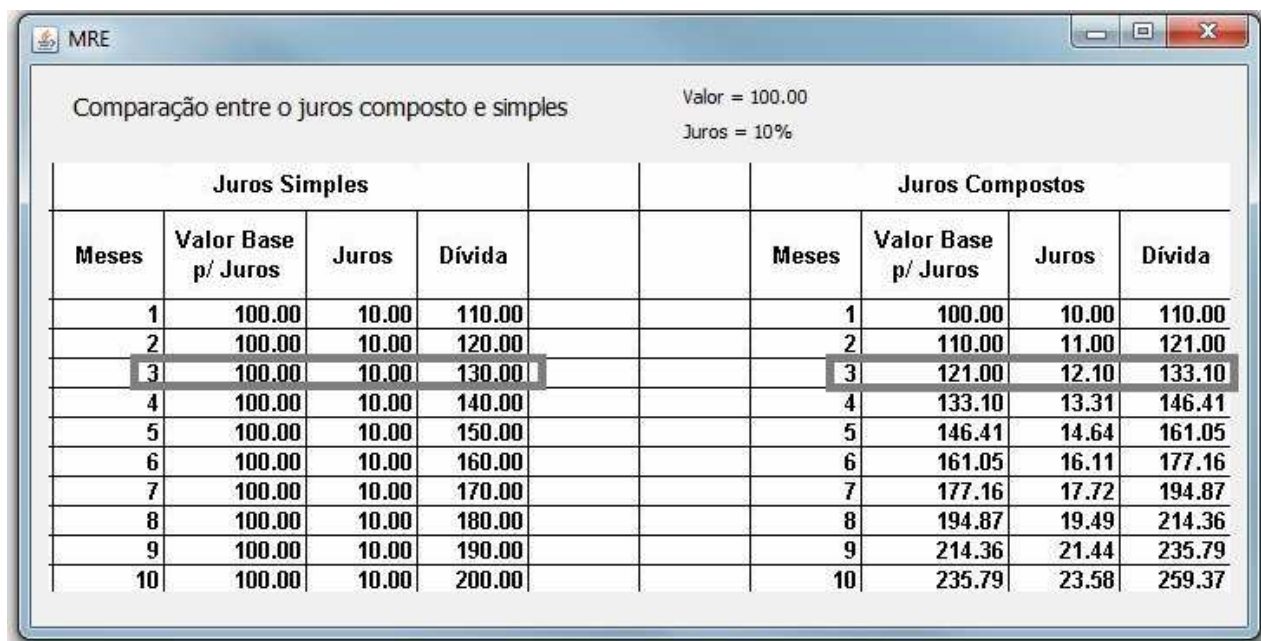
Uma proposta promissora de trabalho futuro é a evolução da abordagem e arquitetura proposta nessa dissertação através da aplicação e estudo de novas classificações de erro como base para o processo classificação e remediação, assim como verificar as vantagens que podem ser proporcionadas ao relacionar MREs com essas novas classificações de erros.

Outra perspectiva para trabalhos futuros é aplicação da abordagem desenvolvidas com funções de MREs diferentes das estudadas nessa dissertação. Dessa forma seria possível chegar ao outras vantagens na relação que podem desempenhar as MREs com as teorias de classificação de erros.

Uma proposta de trabalho futuro seria a construção de um sistema de autoria com suporte ao diagnóstico de erros e remediação baseado em MREs. Esse sistema ofereceria ao autor a modelagem a correção dos conceitos, sem o autor precisar de nenhum tipo de conhecimento avançado sobre programação, assim a ferramenta ajudaria o autor a construir a aplicação destinada a ensinar conceitos especializados.

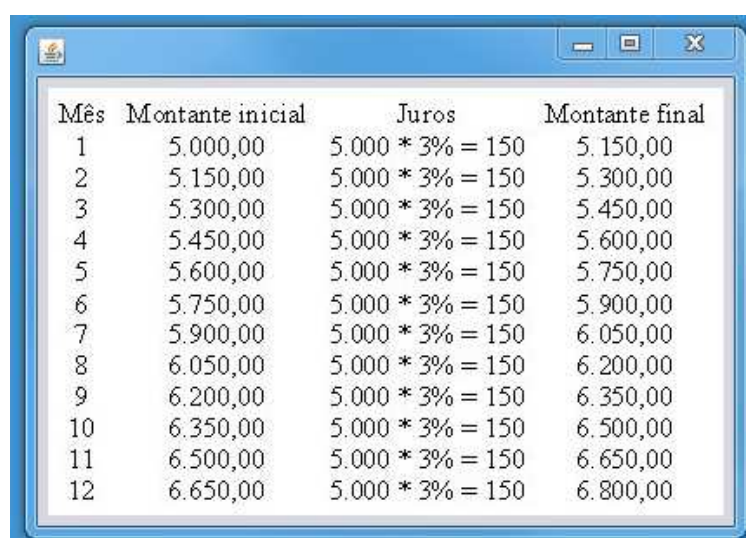
APÊNDICE A

MODELOS DE MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES EXTERNAS ENCONTRADAS NA PESQUISA



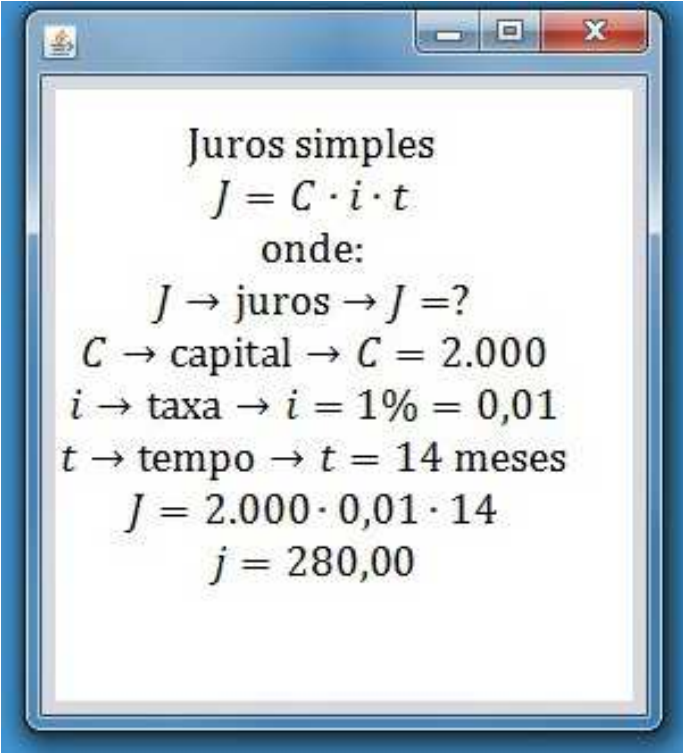
Juros Simples				Juros Compostos			
Meses	Valor Base p/ Juros	Juros	Dívida	Meses	Valor Base p/ Juros	Juros	Dívida
1	100.00	10.00	110.00	1	100.00	10.00	110.00
2	100.00	10.00	120.00	2	110.00	11.00	121.00
3	100.00	10.00	130.00	3	121.00	12.10	133.10
4	100.00	10.00	140.00	4	133.10	13.31	146.41
5	100.00	10.00	150.00	5	146.41	14.64	161.05
6	100.00	10.00	160.00	6	161.05	16.11	177.16
7	100.00	10.00	170.00	7	177.16	17.72	194.87
8	100.00	10.00	180.00	8	194.87	19.49	214.36
9	100.00	10.00	190.00	9	214.36	21.44	235.79
10	100.00	10.00	200.00	10	235.79	23.58	259.37

Figura A.1: Tabela de Comparação entre Juros Simples e Composto



Mês	Montante inicial	Juros	Montante final
1	5.000,00	$5.000 * 3\% = 150$	5.150,00
2	5.150,00	$5.000 * 3\% = 150$	5.300,00
3	5.300,00	$5.000 * 3\% = 150$	5.450,00
4	5.450,00	$5.000 * 3\% = 150$	5.600,00
5	5.600,00	$5.000 * 3\% = 150$	5.750,00
6	5.750,00	$5.000 * 3\% = 150$	5.900,00
7	5.900,00	$5.000 * 3\% = 150$	6.050,00
8	6.050,00	$5.000 * 3\% = 150$	6.200,00
9	6.200,00	$5.000 * 3\% = 150$	6.350,00
10	6.350,00	$5.000 * 3\% = 150$	6.500,00
11	6.500,00	$5.000 * 3\% = 150$	6.650,00
12	6.650,00	$5.000 * 3\% = 150$	6.800,00

Figura A.2: Progressão dos Juros Composto



Juros simples
 $J = C \cdot i \cdot t$
onde:
 $J \rightarrow$ juros $\rightarrow J = ?$
 $C \rightarrow$ capital $\rightarrow C = 2.000$
 $i \rightarrow$ taxa $\rightarrow i = 1\% = 0,01$
 $t \rightarrow$ tempo $\rightarrow t = 14$ meses
 $J = 2.000 \cdot 0,01 \cdot 14$
 $j = 280,00$

Figura A.3: Juros Simples

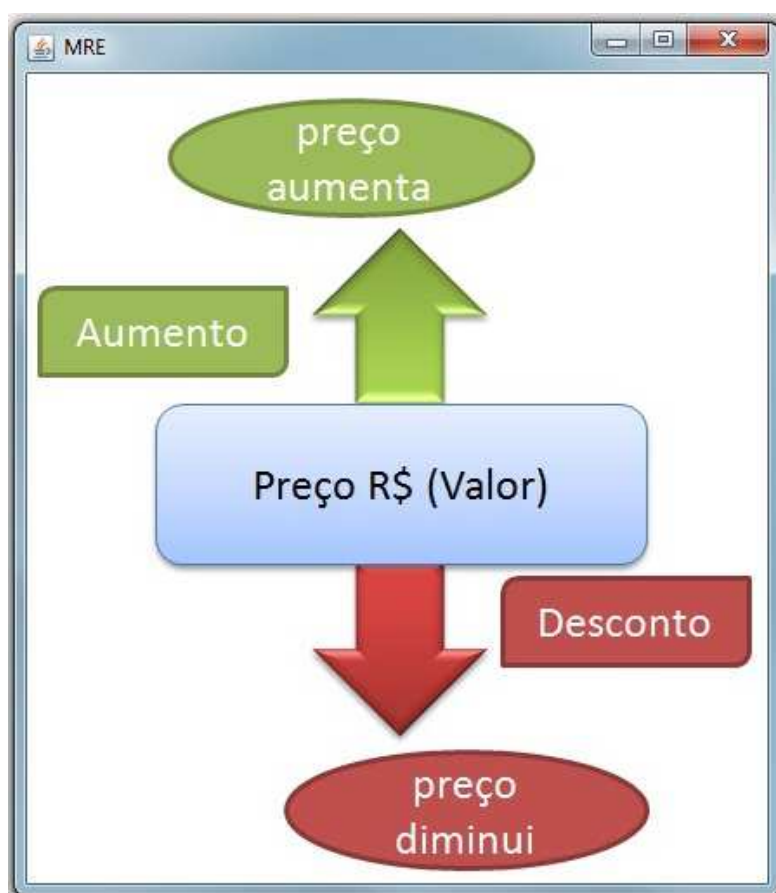
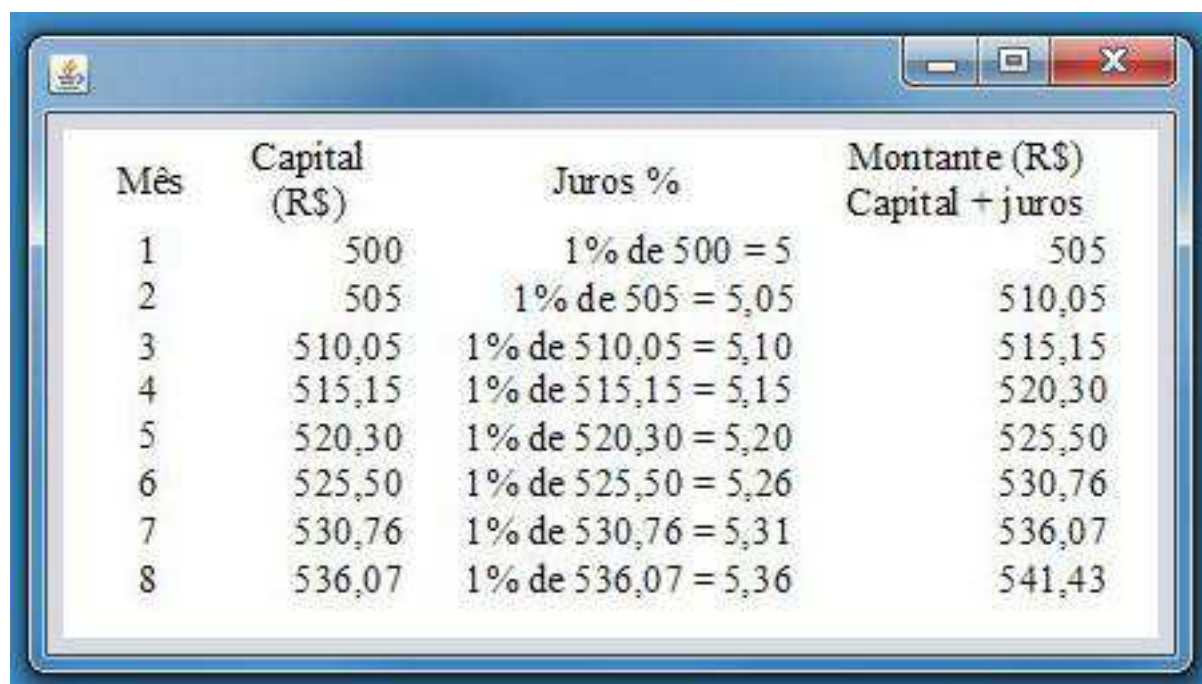


Figura A.4: Diferença entre Desconto e Aumento



Mês	Capital (R\$)	Juros %	Montante (R\$) Capital + juros
1	500	1% de 500 = 5	505
2	505	1% de 505 = 5,05	510,05
3	510,05	1% de 510,05 = 5,10	515,15
4	515,15	1% de 515,15 = 5,15	520,30
5	520,30	1% de 520,30 = 5,20	525,50
6	525,50	1% de 525,50 = 5,26	530,76
7	530,76	1% de 530,76 = 5,31	536,07
8	536,07	1% de 536,07 = 5,36	541,43

Figura A.5: Juros Compostos

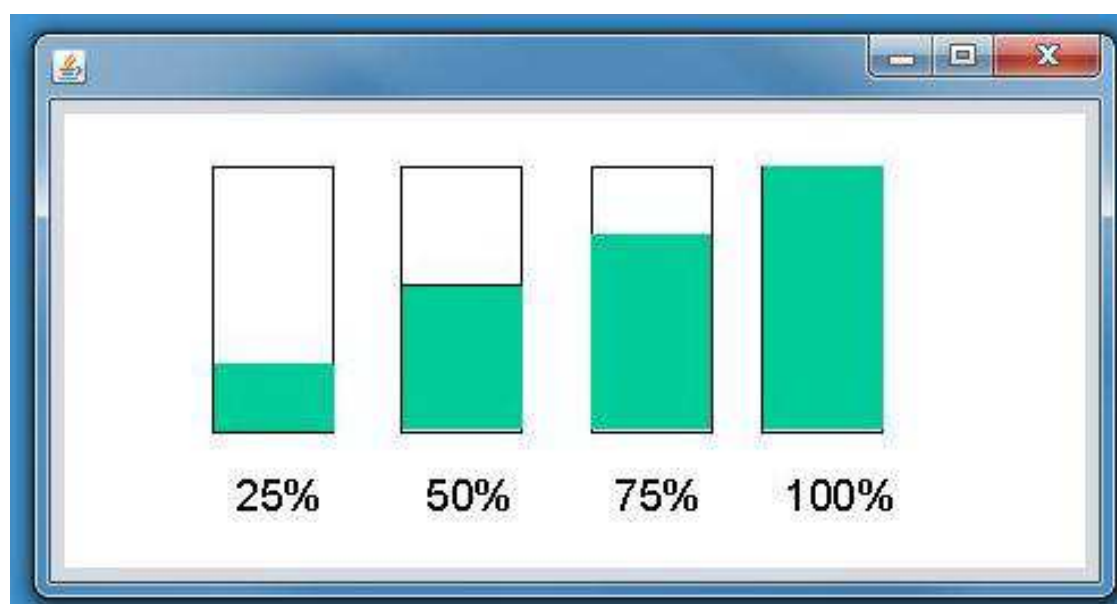


Figura A.6: Porcentagem



Figura A.7: Aumento

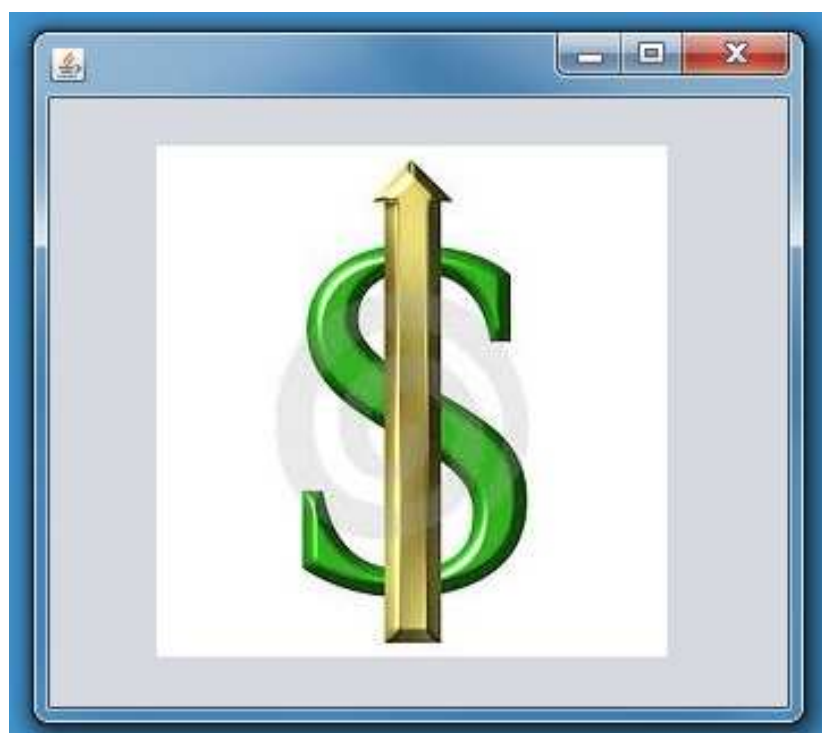


Figura A.8: Aumento



Figura A.9: Aumento

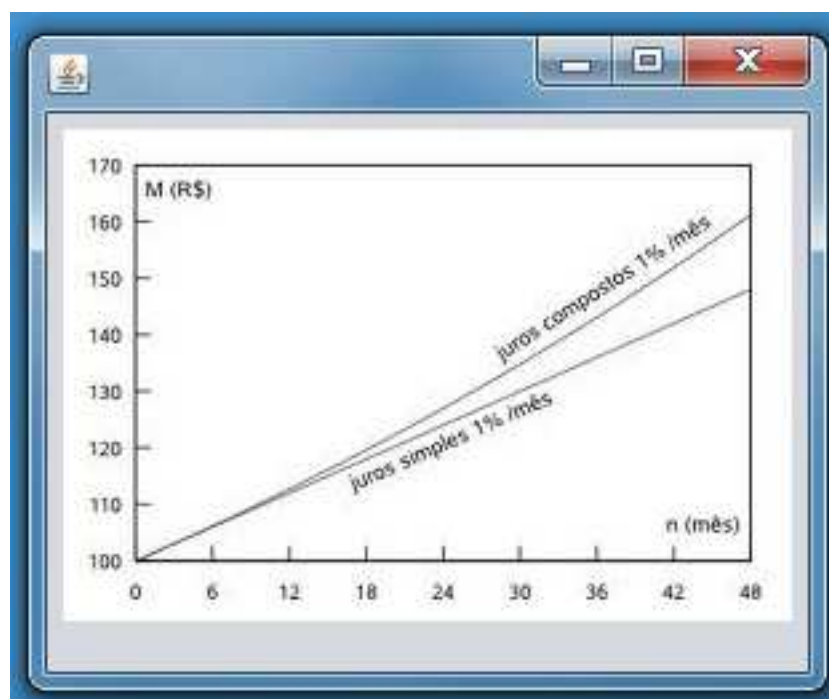


Figura A.10: Gráfico Juros Simples e Compostos

Juros simples	Juros compostos
R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
1 ano =>R\$ 1.150	1 ano => R\$ 1.150
10 anos =>R\$ 2.500	10 anos => R\$ 4.046
30 anos =>R\$ 5.500	30 anos => R\$ 66.212
50 anos =>R\$ 8.500	50 anos =>R\$ 1.083.657
70 anos =>R\$ 11.500	70 anos =>R\$ 17.735.720
Taxa: 15% a.a. (ao ano)	Taxa: 15% a.a. (ao ano)

Figura A.11: Comparação Juros Simples x Juros Composto em função dos anos

$$30\% = \frac{30}{100}$$

$$P = (30\%)300$$

$$P = \frac{30 \cdot 300}{100}$$

$$P = \frac{9000}{100}$$

$$P = 90$$

Figura A.12: Fórmula da Porcentagem

Juros compostos

$$M = C \cdot (1 + i)^t$$

$$M = C + j$$

onde:

$M \rightarrow$ montante acumulado $\rightarrow M = ?$

$C \rightarrow$ capital (investido ou tomado) $\rightarrow C = 2.000$

$j \rightarrow$ juros $\rightarrow j = ?$

$i \rightarrow$ taxa $\rightarrow i = 1\% = 0,01$

$t \rightarrow$ tempo transcorrido $\rightarrow t = 14$ meses

$$M = C \cdot (1 + i)^t$$

$$M = 2.000 \cdot (1 + 0,01)^{14} \rightarrow M = 2.000 \cdot (1,01)^{14}$$

$$M = 2.000 \cdot 1,49474 \rightarrow \boxed{M = 2.298,95}$$

$$M = C + j$$

$$2.298,95 = 2.000,00 + j$$

$$2.298,95 - 2.000,00 = j$$

$$j = 298,95$$

Figura A.13: Fórmula Juros Compostos



Figura A.14: Comparação de uma dívida com juros simples e composto

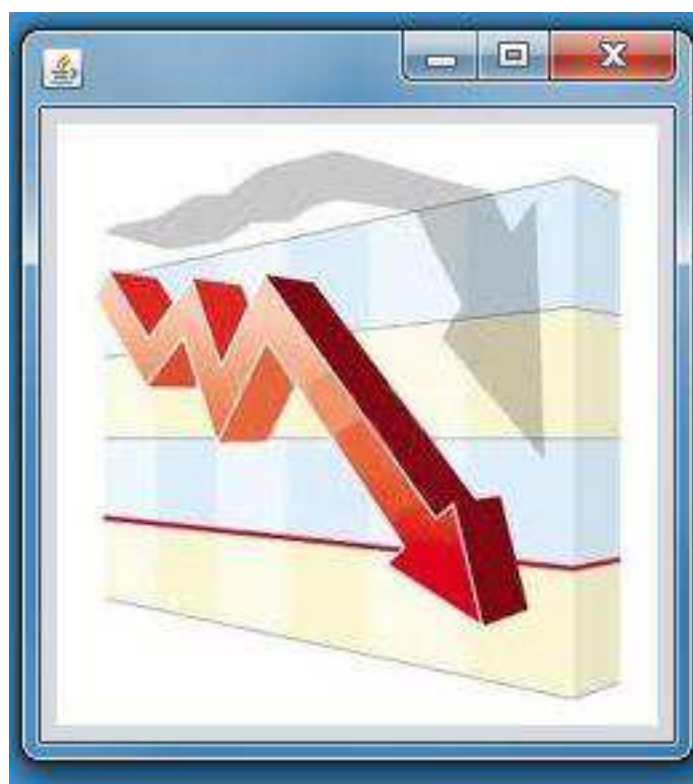


Figura A.15: Desconto



Figura A.16: Desconto

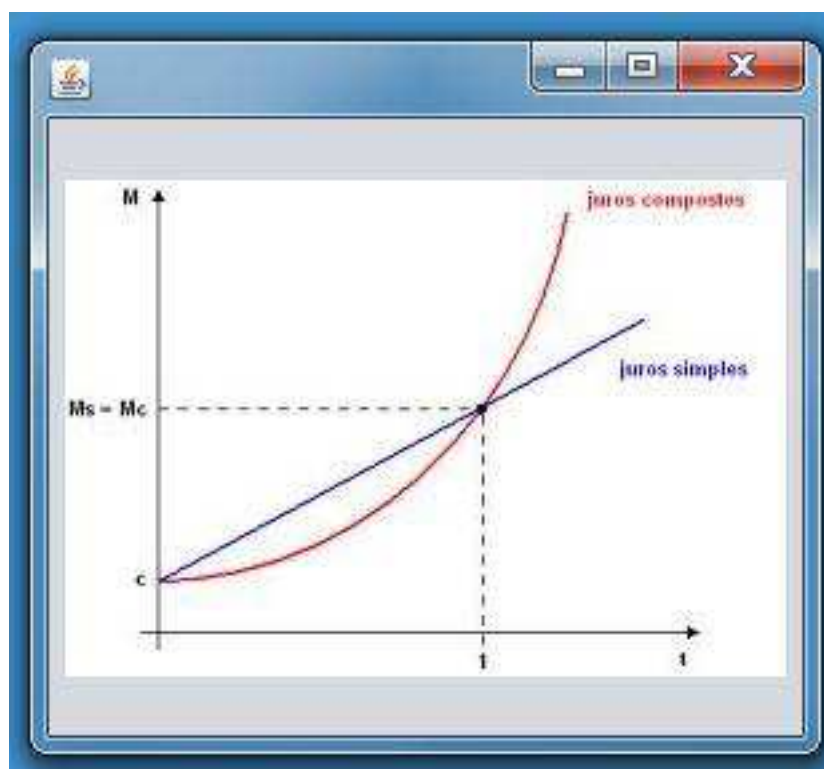


Figura A.17: Gráfico Juros Simples x Juros Composto

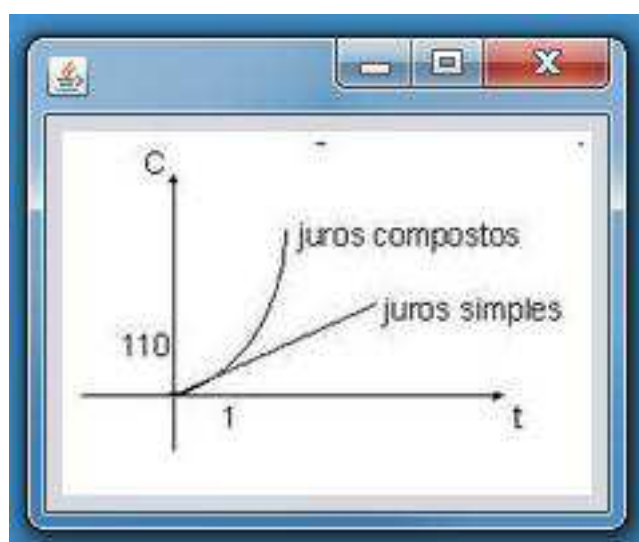


Figura A.18: Gráfico Juros Simples x Juros Composto

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Ainsworth. Deft: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *learning and instruction*. 2006.
- [2] S. Ainsworth. The educational value of multiple representations when learning complex scientific concepts. *Theory and Practice in Science Education*, páginas 191–208, 2008.
- [3] J. Anderson. The architecture of cognition. *Cambridge, MA: Harvard University Press*, 1983.
- [4] J. Anderson. Rules of the mind. *Hillsdale, NJ: Erlbaum*, 1993.
- [5] J. R. Anderson. *Psicologia Cognitiva e Suas Implicações Experimentais*. LTC, 2004.
- [6] D. Gentner ; A. B. Markman. Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52:45–56, 1997.
- [7] R. Cox ; P. Brna. Supporting the use of external representations in problem solving: The need for flexible learning environments. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 6:239–302, 1995.
- [8] D. H. Sleeman ; J. S. Brown. Intelligent tutoring systems. *New York: Academic Press*, 1982.
- [9] E. Bruillard. Enseignement sur mesure, aspects historiques eaq, tuteurs, micromondes, hepertextes. 1999.
- [10] H. L. Burns ; C. G. Capps. Intelligent tutoring systems. *Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ*, 1988.
- [11] J. R. Levin ; G. J. Anglin ; R. N. Carney. On empirically validating functions of pictures in prose. *The psychology of illustration: I. Basic research*, páginas 51–85, 1987.

- [12] S. Ritter ; J. R. Anderson ; K R. Koedinger ; A. Corbett. Cognitive tutor: Applied research in mathematics education. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14 (2):249–255, 2007.
- [13] R. L. S. Dazzi. *Metodologia Para Adaptação De Interface E Estratégia Pedagógica Em Sistemas Tutores Inteligentes*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis, 2007.
- [14] Z. Dienes. The six stages in the process of learning mathematics. *GB: Windsor Berks, NFER Publishing Company Ltd*, 1973.
- [15] A.I. Direne. Designing intelligent systems for teaching visual concepts. *IJAIED*, 8:44–70, 1997.
- [16] D. Marczal ; A. I. Direne. Um arcabouço que enfatiza a retroação a contextos de erro na solução de problemas. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 19:1a, 2011.
- [17] R. J. Spiro ; J. Jehng. Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for nonlinear and multi-dimensional traversal o complex subject matter. *Cognition, Education, and Multimedia. Hillsdale, NJ: Erlbaum*, 1990.
- [18] J. J. Kaput. Linking representations in the symbol systems of algebra. *Research Issues in the Learning and Teaching of Algebra*, páginas 167–194, 1989.
- [19] G. P. Kearsley. *Artificial intelligence and instruction: Applications and methods*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1987.
- [20] D. Marczal. Um arcabouço que enfatiza a retroação a contextos de erro durante o acesso a conteúdos educacionais. Dissertação de Mestrado, PPGInf - Universidade Federal do Paraná, 2010.

- [21] J. R. Silva; J. S.E. Germano ; R. S. Mariano. Simquest - ferramenta de modelagem computacional para o ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33:1508, 2011.
- [22] L. A. Munárriz. *Fundamentos da Inteligência Artificial*. Universidad de Murcia, 1994.
- [23] T. Murray. Authoring knowledge based tutors: tools for content, instructional strategy, student model, and interface design. *Jnl. of the Learning Sciences*, 7(1):5–64, 1998.
- [24] J. J.Zhang ; D. A. Norman. Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18:87–122, 1994.
- [25] H. Nwana. Intelligent tutoring systems: An overview. *Artificial Intelligent*, 4:251–277., 1990.
- [26] S. E. Palmer. Fundamental aspects of cognitive representation. *Cognition and categorization*. Hillsdale, 1977.
- [27] J. Preece. Graphs are not straightforward. *The psychology of computer use London: Academic Press*, páginas 41–56, 1993.
- [28] G. S. Ramos. Detecção e remediação de erros na generalização de conceitos matemáticos por meio de sistemas tutores inteligentes. Dissertação de Mestrado, PPGInf - Universidade Federal do Paraná, 2010.
- [29] D. R. Lima ; M. C. Rosatelli. Um sistema tutor inteligente para um ambiente virtual de ensino aprendizagem. *Congresso da Sociedade Brasileira da Computação*, 23, 2003.
- [30] J. A. Self. The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: Its care, precisely. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10:350–364, 1999.
- [31] J. H. Larkin ; H. A. Simon. Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11:65–69, 1987.

- [32] B. F. Skinner. Teaching machines. *Science*, 1958.
- [33] P. Chandler ; J. Sweller. The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62:233–246, 1992.
- [34] A. N. Taatgen. Learning rules and productions. *Encyclopedia of Cognitive Science*, 2:822–830, 2003.
- [35] L. Batista; A. Direne; J. Trindade; I. Gimenes; O. Taha. Autoria de diretrizes pedagógicas destinadas ao treinamento das múltipla capacidades da perícia em conceitos visuais. *SBIE2003 - Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 573–582, 2003.
- [36] M.W. van Someren ; P. Reimann ; H.P.A. Boshuizen ; T. de Jong. *Learning with Multiple Representations (Advances in Learning and Instruction)*. 1998.
- [37] W. R. Joolingen van; T Jong de. (2003). . pp. 1-31. *SimQuest, authoring educational simulations*. In: T. Murray, S. Blessing, S. Ainsworth.: authoring educational simulations. In: T. Murray, S. Blessing, S. Ainsworth: Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments: Toward cost-effective adaptive, interactive, and intelligent educational software., 2003.
- [38] J. S. Brown ; K. VanLehn. Repair theory: A generative theory of bugs in procedural skills. *Cognitive Science*, 4:379–426, 1980.
- [39] K. VanLehn. *Mind bugs: The origins of procedural misconceptions*. Cambridge, MA: M. I. T. Press, 1990.
- [40] P. Hall ; P. Wood. Intelligent tutoring systems: A review for beginners. *Canadian Journal of Educational Communication*, 19:107–123, 1990.

FÁBIO DUARTE DE OLIVEIRA

**SUPORTE AO APRENDIZADO APOIADO POR
MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES EXTERNAS ATRAVÉS
DA ANÁLISE E REMEDIAÇÃO DE ERROS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel

CURITIBA

2011