UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

PLANEJAMENTO INSTRUCIONAL ADAPTATIVO USANDO *WORKFLOW* E PLANEJAMENTO GENÉTICO

ROBSON DA SILVA LOPES

Uberlândia - Minas Gerais
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ROBSON DA SILVA LOPES
Orientadora: PROFA. DRA. MÁRCIA APARECIDA FERNANDES

PLANEJAMENTO INSTRUCIONAL ADAPTATIVO USANDO *WORKFLOW* E PLANEJAMENTO GENÉTICO

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Inteligência Artificial.

Uberlândia, Minas Gerais
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Os abaixo assinados, por meio deste, certificam que leram e recomendam para a Faculdade de Ciência da Computação a aceitação da dissertação intitulada "**Planejamento Instrucional Adaptativo usando *Workflow* e Planejamento Genético**" por **Robson da Silva Lopes** como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência da Computação**.

Uberlândia, 26 de Fevereiro de 2009

Orientadora: _____

Profa. Dra. Márcia Aparecida Fernandes
Universidade Federal de Uberlândia/Minas Gerais

Banca Examinadora:

_____

Prof^a. Dr^a. Clevi Elena Rapkiewicz
Escola Técnica Federal da UFRGS

_____

Prof. Dr. Carlos Roberto Lopes
Universidade Federal de Uberlândia

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Data: Fevereiro de 2009

Autor:	**Robson da Silva Lopes**
Título:	**Planejamento Instrucional Adaptativo usando *Workflow* e Planejamento Genético**
Faculdade:	**Faculdade de Ciência da Computação**
Grau:	**Mestrado**

Fica garantido à Universidade Federal de Uberlândia o direito de circulação e impressão de cópias deste documento para propósitos exclusivamente acadêmicos, desde que o autor seja devidamente informado.

Autor

O AUTOR RESERVA PARA SI QUALQUER OUTRO DIREITO DE PUBLICAÇÃO DESTE DOCUMENTO, NÃO PODENDO O MESMO SER IMPRESSO OU REPRODUZIDO, SEJA NA TOTALIDADE OU EM PARTES, SEM A PERMISSÃO ESCRITA DO AUTOR.

©Todos os direitos reservados a Robson da Silva Lopes

Dedicatória

Aos meus pais Aluisio Lopes Ricardo e Elzenice Nunes da Silva, minhas irmãs Taianne da Silva Lopes e Elaine da Silva Lopes e meus sobrinhos Luís Felipe e Luiz Paulo. Pessoas estas que formam minha família, que sempre foram meu fundamento, minha base de sustentação e minha inspiração e animo para nunca desistir dos meus sonhos.

Agradecimentos

Agradeço...

A Deus, por minha vida.

A meus pais Aluisio Lopes Ricardo e Elizenice Nunes da Silva pela dedicação, confiança, apoio, carinho e amor incondicional em todos os momentos.

A minhas irmãs Taianne da Silva Lopes e Elaine da Silva Lopes pelo carinho e amor durante toda esta etapa da minha vida.

Aos meus sobrinhos Luis Felipe e Luiz Paulo pela alegria que trouxeram a nossa família.

Aos grandes amigos Éverton Hipólito de Freitas, Vinícius Borges Pires e Marcus Vinícius que viveram comigo na República Havena durante todo o período do mestrado e compartilharam muitos momentos de alegria. Aos colegas que passaram por lá também como Wagner Ferreira, Vinícius Cristiano, Alisson e o indiano, Rajendra Kashyap.

A meus amigos do Laboratório de Inteligência Artificial que se mostraram companheiros e, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, Valquíria Aparecida Rosa Duarte, Stéfano Schwenck Borges Vale Vita. Assim como meus amigos do mestrado das outras linhas pesquisa, Eduardo Ferreira Ribeiro, Felipe Cézar de Castro Antunes, Ítalo da Cunha, Jean Carlo, Klérisson Vinícius, Liliane do Nascimento, Mirella Silva Junqueira, Núbia Rosa, Rodrigo Reis, Tauller Augusto, Victor Sobreira, Douglas Farias, Marcos Roberto.

A meus amigos que ficaram em minha cidades me incentivando, Glaúcia Magareth Oliviere e Família, Jorge Neves e Alessandra, Lucenildo Elias da Silva, Warlen Ferreira, Flairon Gomes Lima e Lamastine. A Laura Vivian Barbosa que, aqui em Uberlândia, foi uma pessoa que pude contar várias vezes.

Aos professores Carlos Lopes, Gina Maira, Rita Julia, João Nunes e Sandra De Amo pelo conhecimento compartilhado durante as disciplinas. Também a secretária da Pós-graduação Maria Helena pela gentileza, carinho e amizade com que nos atendia.

A FAPEMIG, pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento da Dissertação.

Principalmente, à Professora Márcia Aparecida Fernandes pela orientação e profissionalismo no desenvolver deste trabalho, pela confiança em orientar alguém que veio de uma região que ela não tinha nenhuma referência e no mais pelo apoio, paciência e amizade.

"Quero, um dia, dizer às pessoas que nada foi em vão...
Que o amor existe, que vale a pena se doar às amizades e às pessoas,
que a vida é bela sim e que eu sempre dei o melhor de mim...
e que valeu a pena."
(Mário Quintana)

Resumo

Muitos sistemas de educação à distância não levam em consideração características particulares do estudante, utilizam as mesmas estratégias pedagógicas e seqüencias de conteúdo para todos os estudante. No entanto, ambiente de educação à distância devem introduzir adaptatividade como uma das suas principais características. Para que isto seja possível, deve-se considerar os problemas de planejamento instrucional e definição modelo do estudante. O primeiro problema permite gerar uma sequência de conteúdo específica para cada estudante e o segundo problema prove informações necessárias para lidar com adaptatividade. Técnicas de planejamento em Inteligência Artificial têm sido utilizada para determinar a sequência de ações instrucionais. A tecnologia de *Workflow* têm sido utilizada para gerenciar estes sistemas. Por tanto, este trabalho apresentar um sequenciador de conteúdo adaptativo, que utiliza algoritmos genéticos e um modelo do estudante baseado taxionomia do objetivos educacionais e em estilos de aprendizagem.

Palavras chave: Inteligência Artificial, Algoritmos Genéticos, Planejamento instrucional, Tecnologia de Workflow

Abstract

The course in distance learning can be customized taking in to account the specific characteristic of each student. This means that the learning environment has adaptativity. So, in order to develop adaptative systems of distance learning, it is necessary to consider the problems: instructional planning and the student model. The first problem allows to generate a specific sequence of content for each student and the second one provides the necessary information to cope with adaptativity. Planning techniques in Artificial Intelligence have been successfully used for determining the sequence of instructional actions. The Workflow technology has been used for the management of these systems. Then, this work presents an adaptative instructional planning and a student model based on Taxonomy of Educational Objectives and learning styles.

Keywords: Artificial Intelligence, Genetic Algorithm, Instructional Planning, Workflow technology

Sumário

Lista de Figuras **xi**

Lista de Tabelas **xiii**

1 Introdução **1**

1.1 Objetivos 4

1.2 Estrutura da dissertação 5

2 Teorias de Ensino e Aprendizagem **6**

2.1 Taxionomia de Bloom 6

2.1.1 Taxionomia dos Objetivos Educacionais 7

2.1.2 Aplicação da Taxionomia de Bloom 9

2.1.3 Taxionomia de Bloom em EAD 14

2.2 Estilos de Aprendizagem 16

2.2.1 Modelos 17

2.2.2 Modelo de Felder-Silverman 21

2.2.3 Estilos de Aprendizagem em EAD 25

2.3 Considerações Finais 26

3 Fundamentos Teóricos e Técnicas utilizadas **28**

3.1 Planejamento em IA 29

3.1.1 Planejamento Clássico 31

3.1.2 Planejamento Não-Clássico 35

3.1.3 Planejamento Instrucional 37

3.2 Computação Evolutiva 40

3.2.1 Algoritmos Genéticos 40

3.2.2 Representação e Geração da População Inicial 42

3.2.3 Função de Avaliação ou Aptidão 42

3.2.4 Mecanismos de seleção 43

3.2.5 Operadores Genéticos 45

3.2.6 Planejamento Genético 48

3.3 Tecnologia de *Workflow* 49

3.3.1 Conceitos Básicos em *Workflow* 50
3.3.2 Modelo de Referência da WfMC 51
3.3.3 Workflow em EAD 56
3.4 Planejamento Instrucional e *Workflow* em EAD 59
3.5 Considerações Finais 61

4 Planejamento Instrucional Adaptativo 62
4.1 Planejador de Conteúdo 63
4.1.1 Mapas Conceituais 64
4.1.2 Conversor 66
4.1.3 Planejador Genético de Conteúdo 68
4.2 Planejador de Estratégias Pedagógicas 71
4.2.1 Modelo do Estudante 72
4.2.2 Planejador Genético de Estratégias Pedagógicas 73
4.3 Experimentos e Resultados 86
4.3.1 Estudo de Caso 86
4.4 Considerações 94

5 Integração do Sequenciador de Conteúdo ao SIMEDUC 96
5.1 Sistema Gerenciador de Curso 96
5.2 Sistema Inteligente Multiagente 98
5.2.1 Modelo do Estudante 100
5.3 Nova arquitetura do SIMEDUC 100

6 Conclusão e Perspectivas Futuras 104

Referências Bibliográficas 107

A Ações instrucionais na Base de Dados Pedagógicos 114

B Ações instrucionais no Formato PDDL 117

C Índice de Estilos de Aprendizagem – ILS de Felder e Soloman 120

Lista de Figuras

2.1 Operadores primitivos da taxionomia de Bloom[60] 15
2.2 Ciclo de aprendizagem no Modelo de Kolb. 19
2.3 Estilos de Aprendizagem, no Modelo de Felder e Silverman. 21
2.4 Exemplo de cálculo do ILS 24

3.1 Ciclo básico de execução de um AG 41
3.2 Método de Seleção por Roleta 43
3.3 Método de Seleção por Amostragem Estocástica 45
3.4 Método de Seleção por Torneio Estocástico 45
3.5 Cruzamento Simples 46
3.6 Cruzamento Múltiplos 46
3.7 Cruzamento Uniforme 47
3.8 Aplicação de Mutação 47
3.9 Representação de um indivíduo[47] 49
3.10 Modelo de Referência WfMC 51
3.11 Símbolos da representação gráfica de um *workflow*[71] 53
3.12 Exemplo de *Workflow*[71] 54
3.13 Representações das abordagens RET e RIT [1] 55
3.14 Regras [13] 57
3.15 Arquitetura do *Flex-eL* [64] 58
3.16 Arquitetura do Sistema de EAD proposto por Freitas[18] 60

4.1 Arquitetura do Planejador de Conteúdo 63
4.2 Mapa Conceitual de um Curso de Java 65
4.3 Arquivo PDDL 66
4.4 Representação do Indivíduo 69
4.5 *Workflow* Gerado 71
4.6 Representação do Indivíduo 74
4.7 Divisão do plano cartesiano em níveis cognitivos. 76
4.8 Função Gaussiana. 77
4.9 Aplicação da Função Gaussiana 4.7. 78

4.10 Indivíduos pais selecionados 83
4.11 Indivíduos Filhos resultantes 83
4.12 *Screenshot* do Mapa Conceitual de um Curso de Java feito no *CmapTools* . 87
4.13 Amostra do arquivo XML gerado 88
4.14 Diagrama de Atividades 88
4.15 Descrição do domínio em PDDL gerado pelo conversor 89
4.16 *Workflow* gerado 90
4.17 Controle de Fluxo 91
4.18 Função Gaussiana *Default* 92
4.19 Caso 1 e 2 da Tabela 4.13 93

5.1 Arquitetura do SIMEDUC [23] 97
5.2 Arquitetura do Agente pedagógico[61] 99
5.3 Arquitetura do SGC alterada 101
5.4 Processo de iniciação de curso 102
5.5 Diagrama de Sequência de iniciação de curso 103

Lista de Tabelas

2.1 Taxionomia de Bloom no Domínio Cognitivo 8
2.2 Estrutura de Meta-Níveis da Taxionomia de Bloom 9
2.3 Plano de curso através da Taxionomia de Bloom 10
2.4 Plano de curso (Tradicional) 11
2.5 Tabela Bidimensional da Taxionomia 13
2.6 *framework* da taxionomia de Bloom-Vincenti 15
2.7 Comparação entre os Modelos de Estilos de Aprendizagem[22] 23
2.8 Trabalhos que utilizam estilos de aprendizagem[31] 26

3.1 Grau de aptidão para o Torneio 44
3.2 Mapeamento entre Planejamento e *workflow* [1] 59

4.1 Códigos dos conceitos do mapa conceitual da Figura 4.2 67
4.2 Modelo do estudante com estilos de aprendizagem 72
4.3 Cálculo do estilo de aprendizagem 73
4.4 Ações instrucionais Ba base de Dados Pedagógicos 74
4.5 Exemplo - Estilo de Aprendizagem 75
4.6 Distancias para as Ações da Tabela 4.4 75
4.7 Alturas dos Níveis Cognitivos 79
4.8 Porcentagem ideal de cada nível cognitivo para o estudante. 81
4.9 Conceitos e identificadores 86
4.11 Exemplo da aplicação ILS estudante A 91
4.12 Valores *Default* 91
4.13 Evolução 93
4.14 Funções Gaussiana 93
4.15 Sequências de Apresentação 95

5.1 Modelo do estudante original[23] 101

A.1 Atividades instrucionais presentes na Base de Dados Pedagógicos 115
A.2 Atividades instrucionais presentes na base de dados pedagógicos 116

Lista de Abreviaturas e Siglas

ADL	*Action Description Language*
AG	Algoritmo Genético
EAD	Ensino à Distância
EADW	Educação a Distância apoiada em Web
FF	*Fast Forward Planner*
HTN	*Hierarquical Task Network*
ILS	*Index of Learning Styles*
LOM	*Learning Object Metadata*
LSI	*Learning Style Inventory*
MBTI	Myers-Briggs *Type Indicator*
MLP	*Multi-Layer Perceptrons*
OA	Objetos de Aprendizagem
PDDL	*Planning Domain Definition Language*
PG	Programação Genética
POND	*Partially Observable Non-Deterministic planner*
RET	Representação Explícita de Transições
RIT	Representação Implícita de Transições
SMA	Sistema Multiagente
STRIPS	*Stanford Research Institute Problem-Solver*
SUS	*Stochastic Universal Sampling*

WAPI	*Workflow Application Programming Interface*
WfMC	*Workflow Management Coalition*
WfMS	*Workflow Management system*
WWW	*World Wide Web*
XML	*Extensible Markup Language*
XPDL	*XML Processing Description language*

Capítulo 1

Introdução

A educação é um componente de fundamental importância para vida social moderna, tanto na concepção do desenvolvimento de habilidade e competências que o mercado exige, quanto na formação de cidadãos e seres humanos saciáveis. A educação à distância (EAD) aparece neste contexto como uma forma de aumentar a oferta de educação à população, uma vez que, nessa modalidade de ensino, as relações de tempo e espaço são transformadas, pois o estudante faz o curso no tempo que lhe é disponível.

São características essenciais da EAD, segundo Sizilio[66]: a) atendimento a uma população estudantil dispersa geograficamente; b) Utilização de mecanismos de comunicação múltipla; c) Elaboração de materiais didáticos realizada por especialistas de cada área; d) Desenvolvimento, no estudante, de habilidades para o trabalho independente e para um esforço auto-responsável; e) Formalização de vias de comunicação bidirecionais e frequentes; f) Garantia de permanência do estudante em seu meio cultural e natural; g) Combinação da centralização da produção com a descentralização do processo de aprendizagem;

Dentre os mais diversificados instrumentos que viabilizam a EAD sejam eles escritos ou audiovisuais, verifica-se que a *World Wide Web* (*WWW*), também chamada *web*, tem um potencial enorme em fornecer materiais ricos em conhecimento. Este recurso tecnológico permite a integração de texto, imagem, som e vídeo em documentos que podem ser disponibilizados em qualquer lugar, a qualquer hora e com atualização automática. Isto traz novas possibilidades à tecnologia da educação, principalmente no que se refere à criação de materiais didáticos mais eficientes e à personalização do ensino [7].

Outro destaque da *web* é a capacidade de promover a bilateralidade em EAD. Significa que, além de colocar materiais instrucionais à disposição dos estudantes localizados em espaços físicos diversos, possibilita que este tenha um acompanhamento e orientação pedagógica de um especialista através de comunicação síncrona ou assíncrona.

A partir do momento que se percebeu na *web* uma plataforma poderosa para democratização do conhecimento, o número de pesquisas e o desenvolvimento em EAD aumentaram substancialmente, surgindo sistemas para educação à distância apoiada em *Web*(EADW) e/ou mediado por computador reforçado pelo questionamento da eficiência

pedagógica do sistema educacional convencional.

As atividades proporcionadas pelo uso de comunicação mediada pelo computador permitem ao estudante uma compreensão mais imediata e profunda do mundo em que vive, enriquecendo a formação de conhecimento em várias áreas de estudo[54].

No entanto, segundo Sizilio[66] constata-se que os sistemas de educação à distância têm estruturas estáticas e pré-definidas, não levando em consideração que cada estudante tem limites individuais. Este modelo está sendo substituído por ambientes flexíveis, capazes de oferecer caminho próprio para cada perfil pessoal do estudante. No entanto, para que isto ocorra, existe a necessidade de que o tutor, seja este computacional ou humano, possa monitorar os dados do estudante e direcionar atividades de acordo com tais dados.

Segundo Sizilio[66], o conjunto individual de dados a ser acompanhado de cada estudante deve abranger: (i) todas as atividades executadas pelo estudante, (ii) o resultado de todos os exercícios praticados; e (iii) as informações temporais associadas a cada atividade e a cada exercício. Um outro dado de fundamental importância nesta observação é a avaliação. A partir desta, pode-se selecionar diferentes conteúdos. Assim, visando auxiliar o desempenho do estudante no curso e, conseqüentemente, o melhor aprendizado são definidas estratégias mais adequadas de desenvolvimento de atividades.

Um desafio nesta área de pesquisa é o desenvolvimento de aplicações educacionais avançadas e apoiadas na *web*, que possam oferecer algum grau de inteligência e adaptatividade por considerar os dados mencionados acima e também dados relativos ao conteúdo, à forma de apresentação do conteúdo e à estratégia de ensino empregada. A adaptatividade em ambientes de EAD deve ocorrer não apenas através das interações entre o ambiente e o estudante, mas principalmente, através da consideração das características particulares de cada estudante em relação ao processo de ensino/aprendizagem propriamente dito. Então, entende-se por adaptatividade o processo de ajustamento do ambiente de ensino ao estudante considerando todas estas características. Na maioria dos ambientes de EAD, a organização do conteúdo é estática e pré-definida, realizada antes mesmo de conhecer os estudantes, no sentido de que a sequência e a apresentação do conteúdo são as mesmas para todos os estudantes, pois a introdução de adaptatividade é uma tarefa difícil.

O conteúdo, em geral, é organizado de forma manual por algum especialista no domínio do conteúdo. Entretanto, para se obter ambientes adaptativos no sentido acima, o conteúdo e sua apresentação devem ser determinados para cada estudante individualmente, devendo portanto, ser uma tarefa automática. Na verdade, deve-se planejar o conteúdo e sua apresentação de forma personalizada para cada estudante. As pesquisas na área de planejamento instrucional têm contribuído fortemente para o desenvolvimento de ambientes de EAD adaptativos, pois o principal objetivo destas tem sido propor ferramentas (planejadores) capazes de produzir seqüências de conteúdo e de apresentação de conteúdo, que considerem diferentes aspectos do estudante e do processo de ensino/aprendizagem.

O desenvolvimento destas ferramentas está baseado, em geral, nas técnicas de plane-

jamento em Inteligência Artificial(IA). Desta maneira, uma sequência de conteúdo é vista como uma sequência de ações (atividades) instrucionais . Além disso, quando estas seqüências são adaptadas a cada estudante em particular tem-se o planejamento instrucional adaptativo. Um planejador instrucional adaptativo em EAD supõe, principalmente, um modelo do estudante e um conjunto de ações instrucionais, além do conteúdo e do material didático digital associado ao conteúdo. No contexto deste trabalho, o termo "ações instrucionais"é interpretado como uma estratégia pedagógica a ser empregada com estudante.

O modelo do estudante é um instrumento que contém e formaliza dados do estudante considerados relevantes para o processo ensino/aprendizagem. Como mencionado anteriormente, em geral, tem-se considerado apenas dados sobre atividades do estudante, resultados obtidos em exercícios e avaliação. Entretanto, observa-se que existem outros dados mais significativos como as preferências do estudante em relação ao material didático (definições, exemplos, exercícios, etc.), à forma de apresentação do material (visual, textual, gráfica, etc.) e a capacidade cognitiva do estudante em relação ao conteúdo a ser aprendido. A consideração destes outros aspectos permite propor um ambiente de ensino mais próximo ao estudante e, conseqüentemente, resultados mais promissores.

Entretanto, tais dados envolvem também aspectos psicológicos. Por isso, tem sido tão difícil propor teorias e ferramentas definitivas que possam definir e determinar tais aspectos para cada estudante. Além disso, são aspectos dinâmicos, isto é, podem ser alterados à medida que o estudante avança (ou não) em níveis cognitivos e outros. A teoria de estilos de aprendizagem tem sido utilizada como um modelo para identificar a forma como um estudante prefere aprender[29]. Nesta teoria, tipos de estilo de aprendizagem podem ser identificados através de um questionário a ser respondido pelo estudante. Assim, preferências relativas ao tipo e forma do conteúdo podem ser identificados, entre outras.

A Taxionomia dos Objetivos Educacionais, comumente denominada de Taxionomia de Bloom, tentam identificar ações relacionadas ao contexto educacional (ações instrucionais) que melhor se adequem a certas capacidades cognitivas. De acordo com esta teoria, esta capacidade cognitiva é hierárquica e dividida em níveis que ocorrem durante um processo de aprendizagem. Assim, seria possível definir as ações instrucionais mais adequadas para cada nível. Desta maneira, identificado o nível cognitivo do estudante, seriam utilizadas apenas ações relativas a este nível até que fosse possível seguir para um próximo nível que envolveria um grau de dificuldade maior, mas para o qual o estudante estaria apto.

A aplicação da taxionomia de Bloom em planejamento instrucional adaptativo deve considerar a possibilidade de selecionar material didático adequado às ações instrucionais. Esta não é uma tarefa fácil uma vez que os autores de curso ou conteúdo para EAD não adotam uma forma padronizada para a construção de materiais didáticos digitais.

Tanto os estilos de aprendizagem quanto a taxionomia de Bloom têm sido largamente

questionadas[28, 43, 55], sendo que os estilos de aprendizagem para muitos pesquisadores não são considerados comprovados[30], entretanto, também têm sido utilizadas em ambientes de ensino tradicional e em EAD. Mas, ressalta-se a possibilidade de introduzir adaptatividade em ambientes de EAD através do uso destas teorias, pois contêm informações relevantes sobre o processo de ensino/aprendizagem que permitem definir um modelo de estudante consistente e um conjunto de ações instrucionais abrangente.

Assim, o planejamento instrucional adaptativo tem como finalidade a determinação de seqüências adaptativas de conteúdo, utilizando um modelo de estudante e um conjunto de ações instrucionais. Então, para cada estudante, o planejador instrucional adaptativo deveria propor a sequência de ações instrucionais mais adequada ao estudante.

Diferentes técnicas e tecnologias têm sido utilizadas no desenvolvimento destes planejadores. Como já mencionado planejamento em Inteligência Artificial é uma das técnicas utilizadas em várias propostas de planejamento instrucional[60]. Desde que o resultado do planejador é uma sequência (plano) de ações e esta pode ser entendida como um processo de *Workflow*, esta tecnologia se mostra apropriada para definição, execução e gerenciamento desta sequência. Na verdade, recentemente esta tecnologia tem sido proposta para definição e administração de todo ambiente de EAD[66, 21]. Assim, devido às similaridades entre planejamento e *Workflow*, é possível desenvolver planejadores que já contam com uma ferramenta para execução do plano.

Um outro aspecto a ser ressaltado é que o problema de planejamento envolve um grande número de ações, há uma grande combinação destas e, portanto, um grande espaço de busca. Sendo assim, a utilização de planejamento genético pode melhorar a busca por esta sequência, pois utiliza o paradigma de algoritmos genéticos que é considerado adequado para este tipo de busca.

1.1 Objetivos

Assim, esta pesquisa propõe um planejador instrucional adaptativo que utiliza os níveis cognitivos e as ações instrucionais propostos na taxionomia de Bloom e um modelo de estudante baseado na teoria de estilos de aprendizagem Felder-Silverman. Técnicas de Planejamento em Inteligência Artificial, Algoritmos Genéticos e a tecnologia de *Workflow* são empregados no desenvolvimento da proposta.

Cita-se como objetivos específicos deste trabalho:

- A definição de um modelo de estudante;
- Proposta e desenvolvimento de uma nova arquitetura para o ambiente de EAD SIMEDUC[23] através das integrações do planejador proposto e do modelo do estudante;

1.2 Estrutura da dissertação

No segundo capítulo, são apresentadas as teorias sobre aprendizagem que servem de base para a definição do modelo do estudante e também do conjunto de ações instrucionais. Assim, descreve a Taxionomia de Bloom ou Taxionomia dos Objetivos Educacionais e algumas aplicações desta em ambientes de EAD. Em seguida, apresenta-se a teoria sobre Estilos de Aprendizagem, alguns dos principais modelos desta teoria e também o uso em EAD.

O terceiro capítulo apresenta os fundamentos teóricos e técnicas utilizadas no desenvolvimento do planejador instrucional adaptativo, Planejamento em Inteligência Artificial, Planejamento Instrucional, Planejamento Genético e *Workflow*, bem como a aplicação destas no desenvolvimento de planejadores e ambientes de EAD.

O quarto capítulo descreve o planejador instrucional adaptativo proposto, que foi dividido em duas partes planejador de conteúdo e planejador de estratégias pedagógicas. A primeira parte contém o módulo de conversão das relações dos conceitos do conteúdo (mapa conceitual) em *Workflow* e a segunda contém o modelo do estudante e o planejador genético que determina a sequência de apresentação, ou seja, neste trabalho chamada de sequência de estratégias pedagógicas. Também são apresentados os experimentos e testes realizados.

A integração do planejador proposto e do modelo do estudante definido ao ambiente de EAD SIMEDUC é apresentada no quinto capítulo, onde se define uma nova arquitetura para esta ambiente. Finalmente, no sexto capítulo apresentam-se as conclusões deste trabalho, limitações, dificuldades e as propostas de novos trabalhos futuros.

Capítulo 2

Teorias de Ensino e Aprendizagem

Neste capítulo, são descritas as correntes teóricas de ensino aprendizagem que serviram de base para definição do modelo do estudante e das atividades instrucionais a serem aplicadas ao estudante de acordo com o seu perfil. A função primordial desta revisão bibliográfica é proporcionar uma reflexão sobre estratégias de aprendizagem bem como de estilos de aprendizagem, que acredita-se serem de relevante importância no processo de adaptação do conteúdo às características do estudante.

A seção 2.1 apresenta uma descrição sobre Taxionomia dos Objetivos Educacionais, também conhecida como Taxionomia de Bloom, e o seu uso no planejamento de aulas e cursos. Na seção 2.2 são apresentados os estilos de aprendizagem, definições e modelos. Nesta seção foi dada maior ênfase ao Modelo de Felder e Silverman, por ser o modelo utilizado neste trabalho.

2.1 Taxionomia de Bloom

Durante a Convenção da Associação Americana de Psicologia em 1948, foi formado um grupo, composto por educadores nos Estados Unidos, liderado por Benjamin Bloom, que eventualmente tomaram para si a tarefa de classificar os objetivos educacionais. Bloom[8] descreve objetivos educacionais como uma formulação explícita das mudanças que, se espera, ocorram nos estudantes mediante processos educacionais. A intenção do grupo era desenvolver um quadro teórico de referência, que facilitasse a comunicação entre examinadores, oportunizando a troca de idéias e materiais sobre avaliação e estimular a pesquisa na área. Para tal, a forma mais eficaz para o desenvolvimento deste quadro seria através de um sistema de classificação de objetivos.

Bloom[8] ressalta que a taxionomia destina-se a ser uma classificação dos comportamentos esperado do estudante - modo em que os estudantes devem agir, pensar, ou sentir como resultado de sua participação em alguma unidade de ensino - e não uma classificação de metodologias de ensino, modos de relacionamentos de professores com estudantes ou diferentes tipos de ensino empregados.

2.1.1 Taxionomia dos Objetivos Educacionais

O estudo, realizado pelo grupo liderado por Bloom, teve seu início por volta de 1948 através de reuniões. O campo de estudo foi dividido em três domínios: o cognitivo, o afetivo e o psicomotor[8].

- Cognitivo - Inclui aqueles objetivos vinculados à memória ou a recognição e ao desenvolvimento de capacidades e habilidades intelectuais;
- Afetivo - Inclui objetivos que descrevem mudanças de interesse, atitudes, valores, desenvolvimento de apreciações e ajustamento adequado;
- Psicomotor - Domínio baseado nas habilidades, ligada às ações físicas .

Em 1956 um trabalho mais completo sobre o domínio cognitivo foi finalizado, propondo uma classificação de vários níveis do domínio cognitivo que podem ser alcançados pelo estudante. Essa classificação deu origem a Taxionomia dos Objetivos Educacionais como um suporte para classificação do que é esperado ou planejado que o estudante aprenda como resultado de uma atividade educacional.

De acordo com o grupo, estes objetivos trabalham como norteadores em sala de aula, influenciando o trabalho do professor em relação ao que se propõe ensinar aos estudantes. Normalmente, o termo mais utilizado para a Taxionomia do Objetivos Educacionais é Taxionomia de Bloom, por Benjamin Bloom ser o autor mais conhecido.

O termo Taxionomia, no Dicionário da Língua Portuguesa Michaelis, significa "Estudo dos princípios gerais da classificação científica"(i.e, classificação do seres vivos na biologia, classificação das palavras na gramática, etc). Este, ainda, apresenta como variantes os termos "*taxonomia*"e "*taxinomia*". No trabalho de Bloom, o objeto de classificação correspondeu aos objetivos educacionais[67].

O domínio cognitivo inclui aqueles objetivos vinculados à memória ou recognição e ao desenvolvimento de capacidades e habilidades intelectuais [8]. Seis níveis foram identificados para o domínio Cognitivo, conforme pode ser visto na Tabela 2.1 .

Dos seis níveis do domínio cognitivo, apenas aplicação não é dividido em subcategorias. Os níveis da Taxionomia de Bloom apresentam estrutura cumulativa e hierárquica. Hierárquica por que as classes de objetivos são arranjados na ordem de aumento de complexidade, ou seja, partindo do mais simples (conhecimento) ao mais complexo (avaliação). Cumulativa, pois cada nível utiliza as capacidades adquiridas nos níveis anteriores. Com isto, é assumido que o domínio de uma categoria mais simples é pré-requisito para uma mais complexa[3].

Uma das principais críticas à Taxionomia de Bloom se dá quanto ao uso da palavra "hierarquia". Segundo Kreitzer[44] os objetivos de conhecimento não formam uma hierarquia, visto que, por exemplo, certas demandas para o nível conhecimento são mais

Tabela 2.1: Taxionomia de Bloom no Domínio Cognitivo

Taxionomia de Bloom Área Cognitiva		
Níveis	**Objetivos**	**capacidades a adquirir**
Conhecimento	lembrar informações sobre: fatos, datas, palavras,teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos etc.	definir, descrever, distinguir, rotular, listar, memorizar, identificar,ordenar reconhecer, reproduzir etc.
Compreensão	entender a informação ou o fato, captar seu significado, utilizá-la em contextos diferentes.	classificar, converter, descrever, discutir, explicar, generalizar, identificar, inferir, interpretar, prever, reconhecer, redefinir, selecionar, situar, traduzir etc.
Aplicação	aplicar o conhecimento em situações concretas	aplicar, construir, demonstrar, escrever, ilustrar, interpretar, operar, praticar, preparar, programar, resolver, usar etc.
Análise	identificar as partes e suas inter-relações	analisar, calcular, comparar, discriminar, distinguir, examinar, experimentar, testar, esquematizar, questionar etc.
Síntese	combinar partes não organizadas para formar um todo	compor, construir, criar, desenvolver, estruturar, formular, modificar, montar, organizar, planejar, projetar, etc.
Avaliação	julgar o valor do conhecimento	avaliar, criticar, comparar, defender, detectar, escolher, estimar, explicar, julgar, selecionar etc.

complexas que certas demandas para análise e avaliação. Assim como, avaliação não é mais complexa que síntese, pois síntese envolve avaliação.

Segundo Starr[68], a Taxionomia de Bloom não se destina a ser um modelo de como o ser humano aprende, no entanto, Bloom[8] diz que a classificação proposta é mais que uma ferramenta de medição, e serve como:

- Uma linguagem comum a cerca de objetivos de aprendizagem que facilite a comunicação entre pessoas, temas e níveis de ensino.
- Meio para determinar a congruência entre os objetivos educacionais, atividades e unidades de avaliação de curso ou currículo;
- Um panorama do alcance dos objetivos educacionais, tanto em largura e quanto em profundidade de um curso ou currículo;

Starr[68], apresenta uma proposta onde tenta proporcionar uma melhor compreensão e a aplicação da Taxionomia de Bloom, fazendo as seguintes observações:

- Taxionomia de Bloom pode ser vista como consistindo de três meta-níveis: (a) Memorização e Entendimento básico(Nível Iniciante); (b) Utilizar e aplicar de forma competente (Nível Intermediário); e (c) Projetar ou Criar e Criticar (Nível Avançado);
- Dentro de cada um destes Meta-níveis, são encontradas duas fases: (a) a produção de um instrumento de aprendizagem e (b) uma explicação ou análise do que é produzido, conforme descrito na Tabela 2.2;

Tabela 2.2: Estrutura de Meta-Níveis da Taxionomia de Bloom

	Fase dentro dos Meta Níveis	
Meta Nível	***Produção***	***Explicação***
Iniciante	Reconhecimento	Compreensão
Intermediário	Aplicação	Análise
Avançado	Síntese	Avaliação

Com isto, ainda segundo Starr[68], um estudante matriculado em curso prossegue através de cada um desses níveis quando introduzido em um novo conceito. Por exemplo, dado o curso de programação, na etapa de iniciante, são desenvolvidas atividades que priorize a memorização do conceito "IF", exigindo que o estudante apenas regurgite a definição e, em uma segunda etapa, explique o que é um "IF"com suas próprias palavras. No Nível intermediário, o estudante pode aplicar(reproduzir) a compreensão do conceito para especificar instâncias; Isto é seguido pela habilidade de analisar como a particular instância do conceito trabalha ou relaciona-se com experiências do mundo real em termos de características. No Nível avançado, síntese é alcançada quando o estudante é capaz de produzir uma nova instância do conceito, através da habilidade de avaliar a qualidade da instância do conceito.

2.1.2 Aplicação da Taxionomia de Bloom

Segundo Krathwohl[43], a Taxionomia de Bloom tem sido utilizada na classificação de objetivos curriculares e teste de itens para mostrar a profundidade, a falta de profundidade dos objetivos e como os objetivos se acomodam dentro dos seis níveis do domínio cognitivo. Em grande parte dos casos, a análise destes itens tem mostrado que as atividades instrucionais aplicadas ao cotidiano estão muito focadas em atividades que exigem apenas o reconhecimento e a recordação das informações, objetivos presentes no mais baixo nível do domínio cognitivo, o nível do conhecimento.

Diante disto, com a utilização da Taxionomia de Bloom tem-se buscado desenvolver atividades instrucionais que estejam presentes em todos os níveis do domínio cognitivo e

realizem a ligação entre o que está sendo ensinado na sala de aula e a forma como avaliar o que está sendo aprendido pelo estudante.

Tradicionalmente, os cursos são descritos utilizando listas de tópicos, sem prover qualquer informação sobre o nível de especialidade a ser alcançado pelo estudante durante os tópicos. Quando um tópico é apresentado com o nível cognitivo segundo a taxionomia de Bloom, permite ao professor estimar o tempo exigido e as estratégias de ensino que o ajudarão a alcançar o nível de aprendizado proposto para o tópico. Assim, por exemplo, através da especificação dos objetivos educacionais através dos níveis cognitivos pode facilitar a seleção do livro texto e também a preparação do material de aula com alta confiança e efetividade. A seguir é apresentado como a Taxionomia de Bloom pode ser utilizada no planejamento de cursos[68].

Exemplo de Aplicação da Taxionomia de Bloom

Utilizando a taxionomia de Bloom, os objetivos que descrevem as consequências de um processo de ensino/aprendizagem como resultado de uma atividade instrucional é usualmente formados por dois termos: (a) o tema do conteúdo e (b) descrição do que é para ser feito com ou para o conteúdo. Assim, a declaração de objetivos tipicamente consistem de um nome - tema do conteúdo - e um verbo - processo cognitivo.

Suponha um conjunto de tópicos de um curso de programação em Java, dado por Projeto Orientado a objetos, I/O e Ciclo Editar/Compilar/Executar. A Tabela 2.3 apresenta um conjunto de tópicos utilizando Taxionomia de Bloom para determinar os objetivos educacionais e o nível cognitivo. Claramente, esta especificação provê mais informações sobre o que será ensinado, os objetivos a serem alcançados e como avaliar.

Tabela 2.3: Plano de curso através da Taxionomia de Bloom

Ao final do curso o estudante deverá ser hábil em: 1. Explicar **Projeto Orientado a objetos** como um mecanismo para tratamento de problemas complexos, bem como, facilitar a programação em grupo e o reuso de código**[Nível de Compreensão]**; 2. Aplicar operações básica de **I/O** para diferentes tipos de dados **[Nível de Aplicação]**; 3. Analisar o **Ciclo Editar/Compilar/Executar** e aplicá-lo este no desenvolvimento de programas **[Nível de Análise]**;

A Tabela 2.4, no entanto, apresenta o mesmo conjunto de tópicos na forma tradicional de planejar um curso, não utilizando a Taxionomia de Bloom. Note que há apenas uma repetição destes tópicos, sem especificar objetivos e diretrizes para o aprendizado destes.

Segundo Starr[68], pela instituição destes níveis, o instrutor cria um documento de especificação útil, no qual pode ser utilizado para: (a) Projetar objetivos de aprendizagem que vá ao encontro às necessidades dos estudantes e das avaliações e (b) a tarefa de engajar o estudante em nível apropriado ao seu estado cognitivo.

Tabela 2.4: Plano de curso (Tradicional)

Tópicos a serem cobertos:
1. **Projeto Orientado a objetos;**
2. **I/O;**
3. **Ciclo Editar/Compilar/Executar;**

O processo desenvolvido para aplicação da Taxionomia de Bloom por Starr, segue as seguintes etapas:

- Identificar/Selecionar os tópicos a serem abrangidos e que podem ser obtidos de uma coleção de recursos.
- Para cada tópico, considerar o conhecimento e, por sua vez, decidir qual é o mais alto nível cognitivo do domínio do conhecimento que todos os estudantes devem alcançar após completar o curso.

Para determinar qual será o nível cognitivo que um dado tópico irá alcançar é levado em consideração a profundidade desejado para o tópico. Pois esta distribuição de níveis cognitivos através dos tópicos depende da complexidade de cada tópico e, provavelmente, irá exibir algum grau de variabilidade dentro do curso.

Taxionomia de Bloom Revisada

No processo de revisão da Taxionomia de Bloom[8] foi levado em consideração recentes avanços na literatura educacional e psicológica. Na época da publicação da Taxionomia de Bloom original, o processo de ensino, tanto no planejamento curricular quanto nas atividades instrucionais, era influenciado pelas Teorias de Aprendizagem Behaviorista. Desde a sua publicação, pesquisas educacionais e psicológicas têm testemunhado a introdução de algumas teorias e abordagens de aprendizagem que torna o estudante mais conhecedor e responsável pela sua própria aprendizagem, cognição e pensamento. Teorias como[43]:

- Construtivismo: onde o estudante assume ser construtor do seu próprio conhecimento;
- Aprendizagem Auto-regulada: é a capacidade para usar e desenvolver conhecimento, habilidades e atitudes em diferentes contextos.
- Meta cognição: é o conhecimento acerca dos diferentes tipos de estratégias para aprender, pensar e resolver problemas;

A mais notável mudança na Taxionomia de Bloom Revisada é a mudança de uma dimensão para duas dimensões. Como apresentado anteriormente, a declaração de objetivos instrucionais consiste tipicamente do nome - temas do conteúdo - e do verbo - descrição

do que é para ser realizado com o conteúdo, ou seja, o processo cognitivo envolvido. Como pode-se observar na Tabela 2.3, onde é utilizado a Taxionomia de Bloom Original, o domínio do conhecimento envolve tanto o tema quanto o nível cognitivo. Na taxionomia de Bloom Revisada os componentes tema e verbo são separados em duas dimensões: Dimensão do Conhecimento e Dimensão do nível cognitivo.

Dimensão do Conhecimento

Na Taxionomia revisada a dimensão do conhecimento contém quatro categorias ao invés de três como na Taxionomia de Bloom original. Três delas incluem o conteúdo da subcategoria da taxionomia original, mas foram reorganizadas. Os novos nomes para estas três categorias são: Factual, Conceitual e Procedural. A quarta nova categoria, Conhecimento Metacognitivo, fornece uma distinção que não era amplamente conhecida na época em que a taxionomia original foi desenvolvida. Conhecimento metacognitivo envolve conhecimento sobre cognição em geral, assim como, consciência e conhecimento acerca do próprio nível cognitivo. A seguir cada uma destas categorias é descrita.

1. Conhecimento Factual:
   Os elementos básicos que o estudante deve saber para se familiarizar com a disciplina e resolver um problema.
   (a) Conhecimento de Terminologias;
   (b) Conhecimento de detalhes e elementos específicos;
2. Conhecimento Conceitual:
   As relações que possibilitam os elementos básicos de uma estrutura maior funcionarem juntos.
   (a) Conhecimento de classificações e categorias;
   (b) Conhecimento de princípios e generalizações;
   (c) Conhecimento de teorias, modelos e estruturas;
3. Conhecimento Procedural:
   Como fazer alguma coisa; método de investigação e critérios para utilizar habilidades, algoritmos, técnicas e métodos.
   (a) Conhecimento de habilidades e algoritmos para temas específicos;
   (b) Conhecimento de técnicas e métodos para temas específicos;
   (c) Conhecimento de critérios para determinar quando é apropriado utilizar determinado procedimento;

4. Conhecimento Meta Cognitivo:
   Conhecimento de cognição em geral bem como consciência e conhecimento do seu próprio nível cognitivo.
   (a) Conhecimento estratégico;
   (b) Conhecimento acerca de tarefas cognitivas;
   (c) Auto-Conhecimento;

Dimensão do nível Cognitivo

O número original de categorias, seis, foi mantido, mas algumas mudanças foram introduzidas. Conhecimento, compreensão e síntese foram renomeados para Relembrar, Entender e Criar, respectivamente. Aplicação, Análise, Avaliação foram mantidas, porém em suas formas verbais: Aplicar, Analisar e Avaliar. A ordem de Síntese/Criar e Avaliação/Avaliar foi mudada.

Assim como Taxionomia de Bloom Original, a revisada também apresenta hierarquia, na percepção de que as seis categorias dos níveis cognitivos diferenciam-se pela complexidade, partindo do menos complexo para o mais complexo. Entretanto, a revisão dá mais peso à forma utilizada pelos professores, a exigência de uma hierarquia estrita tem sido flexibilizada para permitir que as categorias possam se sobrepor.

A mudança de uma dimensão para duas dimensões na Taxionomia de Bloom revisada conduziu para outra notável mudança na estrutura da taxionomia, a formação da Tabela Bidimensional da Taxionomia, como pode ser visto na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Tabela Bidimensional da Taxionomia

	Relembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Conhecimento Factual						
Conhecimento Conceitual						
Conhecimento Procedural						
Conhecimento Metacognitivo						

Segundo Krathwohl[43], a Tabela 2.5 pode ser utilizada para:

- Analisar clara e concisamente os objetivos de uma unidade ou plano de estudo;
- Auxiliar o professor a não confundir atividade com objetivos;
- Auxiliar o professor a realizar a ligação entre avaliação e atividade ensinada;
- Examinar a consistência de um currículo;

2.1.3 Taxionomia de Bloom em EAD

Na literatura vários trabalhos, como o de Starr[68] e Lister[49] , utilizaram a taxionomia de Bloom na tentativa de melhorar o desempenho dos estudantes tanto em ambientes presenciais quanto em ambientes de EAD.

No trabalho de Starr[68], a Taxionomia de Bloom foi utilizada como recurso de ligação das lacunas existentes na descrição do curso, isto é, as lacunas entre os objetivos do curso e o que é ensinado; da mesma forma, as lacunas entre o que é ensinado e a avaliação do aprendizado.

Lister e Leaney[49] perceberam que estudantes de computação de 8 universidades nos Estados Unidos e em outros 4 países não estavam alcançando seu verdadeiro potencial na disciplina de programação, tanto os estudantes com bom desempenho quanto os fracos. Tal fato, segundo os autores, ocorria devido às tarefas estarem voltadas para estudantes hipoteticamente medianos. Com isto, os estudantes "fracos"não conseguiam resolver problemas, consequentemente, não aprendiam e os estudantes "fortes"não se sentiam desafiados a resolver tais tarefas.

Para tal problema, os autores propuseram uma solução em duas partes. A primeira parte consiste em organizar as tarefas em grupos e estas estariam classificadas de acordo com as habilidades do estudante. Na segunda parte, as diferenças nas naturezas das tarefas refletiam os diferentes níveis cognitivos da taxionomia de Bloom.

Com isto, estudantes ditos fracos ou com baixo rendimento necessitariam de atividades que simplesmente demonstrassem conhecimento e compreensão. Neste caso, habilidade de ler e entender programas. Estudantes ditos medianos seriam atendidos por atividades tradicionais, enquanto os estudante ditos fortes não teriam limitações e trabalhariam com atividades nos níveis de síntese e avaliação da taxionomia de Bloom. Desta forma, os estudantes eram classificados em "A", "B"ou "C", de acordo com os níveis cogntivos que estavam. Estudantes que dominam temas no nível Reconhecer e Compreender receberam classificação "C"; Estudantes que dominam temas no nível Aplicar e Analisar receberam classificação "B"e estudantes que dominam temas no nível Avaliar e Criar receberam classificação "A".

Além dos trabalhos de Starr[68] e Lister[49] outros trabalhos como os de Azuma[4] e Fuller[41] apresentam como a taxionomia pode ser utilizada para melhorar o planejamento e alcançar os objetivos educacionais propostos. Porém, estes trabalhos demonstram a utilização da taxionomia de Bloom em ambientes educacionais presenciais. Todavia, trabalhos como os de Bhatt [6] e Queiroz[60] apresentam a utilização desta teoria, juntos com outras teorias e ferramentas em ambientes de educação à distância.

Bhatt *et al.*[6] apresentou um *framework* para organizar objetos de aprendizagem(OA) no contexto da taxionomia de Bloom junto com as Categorias de Vincenti. Vincenti categoriza o conhecimento na área de Engenharia como: Conceitos Fundamentais de

Projeto(CFP); Ferramentas Teóricas(FT); Dados Quantitativos(DQ); Critério e Especificação(CE); Considerações Práticas (CP)e projeto de auxílio(PA).

Um exemplo de objetivo de aprendizagem utilizando o *framework* da taxionomia de Bloom-Vincenti, para o curso de Sistema de Controle é dado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6: *framework* da taxionomia de Bloom-Vincenti

Domínio Cognitivo da Taxionomia de Bloom	Aplicação
Objetivo de Aprendizagem	Desenvolver um modelo matemático para um sistema
Categoria de Vincenti	FT, DQ,CP

Os metadados preparados para receber a declaração dos objetivos de aprendizagem dos objetos de aprendizagem foram criados no elemento <*classification*>. Para especificar a Taxionomia de Bloom e as Categorias de Vincenti o elemento <*taxon*> foi utilizado, o qual contém dois sub-elementos. O elemento <*id*> que descreve o identificador do elemento e o elemento <*entry*> que contém a descrição textual da taxionomia. Com definição dos objetivos de aprendizagem de cada OA, durante uma sessão de aprendizagem o STI baseado na *Web* apresentará para o estudante OAs que introduz e explica o tema escolhido. No final de sessão é apresentado para o estudante um teste para avaliá-lo. De acordo com o resultado do estudante no teste, o tutor deverá fornecer um *feedback* e se necessário a apresentação de um material suplementar.

Figura 2.1: Operadores primitivos da taxionomia de Bloom[60]

Queiroz[60] utilizou a Taxionomia de Bloom para classificar as metas de aprendizagem a serem alcançadas com os operadores primitivos. A Figura 2.1 apresenta os tipos de

operadores primitivos nos quais os operadores abstratos serão decomposto e também o tipo de material instrucional a ser utilizado.

2.2 Estilos de Aprendizagem

A forma de ensino seja ela presencial ou não, nos moldes como se encontra na atualidade tende a desenvolver um processo de ensino/aprendizagem homogeneizado com os discentes, como se todos aprendessem de forma semelhante. No entanto, assim como as pessoas apresentam características físicas diferentes, elas apresentam características psicológicas diferentes.

Vários pesquisadores, como Kolb[72], Felder[29] e Bariani[5], acreditam que haja diferenças entre as formas como as pessoas, comumente, pensam e sentem as situações com as quais se defrontam. Assim, haveria tendências diferenciadas nas formas de aprender e relacionar os dados da realidade e de elaborar conclusões. Estas diferenças são uma junção de influências herdadas, experiências vividas e moldada pelo meio que a cerca.

Em psicologia, as diferenças psicológicas apresentadas pelas pessoas é um objeto de profundo estudo, onde se busca encontrar padrões de comportamentos em tipos psicológicos que sirvam para melhor entender as diferentes formas de agir e de ser das pessoas e assim predizer de forma mais geral as ações de cada tipo. Com isso, dependendo do tipo psicológico, poder-se-ia dizer quais seriam os prováveis tipos de ação/reação, tendência e aptidões de um indivíduo.

Os tipos psicológicos são explanações da personalidade humana e os estilos de aprendizagem derivam desta explanação[19]. Dentro da comunidade acadêmica, considerável interesse tem sido dado à idéia de diferentes estilos de aprendizagem e a busca por melhores métodos de ensino para cada estilo.

No entanto, devido à desconsideração deste fato no processo de ensino/aprendizagem, através do ensino de massa que trata todos os indivíduos como se fossem iguais, têm-se muitas vezes o não alcance de todos os objetivos educacionais propostos, além de não atingir todos os estudantes. Em muitos casos, as aulas são ministradas e o material é preparado de uma forma não adequada ao estilo do estudante, tendo como consequência desmotivação e a exclusão do estudante do processo educativo. Para Rosário[22] esta diferença é a responsável, na maioria dos casos, pelas reprovações e abandono de curso.

Elaborar procedimentos metodológicos e atividades que sejam mais adequadas às preferências e características do estudante significa buscar um processo de ensino/aprendizagem centrado nas habilidades do estudante e ter como principal objetivo o desenvolvimento do caráter autônomo da aprendizagem.

Várias definições para estilos de aprendizagem são encontradas na literatura. Felder e Brent[28] definem estilos de aprendizagem como características cognitivas e comportamentos psicológicos que servem como um indicador relativamente estável de como o

estudante percebe, interage e responde aos ambientes de aprendizagem.

Para Reid[62], estilos de aprendizagem são características internas básicas utilizadas para armazenar e compreender uma nova informação que não são perceptíveis de forma consciente pelos estudantes. Geralmente, não depende do contexto educacional no qual o estudante está inserido.

Em Cerqueira[12] são apresentadas algumas definições de estilo de aprendizagem, tais como:

- Estilo de aprendizagem é uma forma consistente de responder e utilizar os estilos em contexto de aprendizagem.
- Estilos de aprendizagem consistem em comportamentos distintos que servem como indicadores da maneira como uma pessoa aprende e se adapta ao seu ambiente.
- O estilo que um indivíduo manifesta quando se confronta com uma tarefa de aprendizagem específica, afirmando que é, também, uma predisposição do estudante em adotar uma estratégia particular de aprendizagem, independentemente das exigências específicas das tarefas.
- Estilos de aprendizagem são condições das quais os indivíduos começam a concentrar-se, observar, processar e reter informações e habilidade novas ou difíceis.

Cerqueira[12] argumenta que há muita inconsistência nos muitos resultados de trabalhos empíricos e teóricos sobre estilos de aprendizagem, destacando várias deficiências metodológicas que prejudicaram a validade das pesquisas e, ainda, aponta a falta de clareza e consistência das definições de estilo de aprendizagem. Mas, o que se pode perceber, mesmo havendo certa diversidade de definições, é a concordância em certos pontos entre as várias definições no que se refere à forma como a mente humana processa a informação e como esta é influenciada.

A seguir, são apresentados de forma mais detalhada os modelos de estilos de aprendizagem utilizados em vários trabalhos, que buscaram provar a validade e confiabilidade destes modelos [15],[22],[25] ,[28],[30],[31] e [53].

2.2.1 Modelos

Na literatura sobre estilos de aprendizagem são encontrados vários modelos de estilos de aprendizagem, que visam apresentar diferentes formas de se aprender, de receber e processar a informação para gerar conhecimento. Um dos modelos mais conhecidos é o Tipo Psicológico de Jung, que teve maior desenvolvimento com Isabel Myers e Katheryn Briggs através do Indicador de Tipos de Myers-Briggs (MBTI : *Myers-Briggs Type Indicator*) [19, 46]. Outros modelos que têm sido aplicados em várias pesquisas junto a estudantes, são o modelo de Kolb[12, 72] e o Modelo de Felder- Soloman[22, 28, 15, 46].

No entanto, antes ressalta-se que apesar dos modelos de estilos de aprendizagem serem recursos utilizados em vários trabalhos, Felder[28] lembra que eles não são universalmente aceitos.

Indicador de Tipos de Myers-Briggs

Katherine Briggs e Isabel Myers, criaram, na década de 1940, o MBTI , um instrumento elaborado na forma de um questionário, para identificar os tipos psicológicos, sendo considerado um dos primeiros instrumentos desenvolvidos e utilizados para identificar os tipos psicológicos[19].

Myers e Briggs estudaram a teoria dos tipos psicológicos de Carl Jung. Por esta teoria, a personalidade está estruturada pelas quatro preferências do uso das funções de percepção e de julgamento. Este modelo classifica os estudantes de acordo com suas preferências em escalas derivadas da teoria dos tipos psicológicos. Os estudantes podem ser: extrovertidos (E) ou introvertidos (I); sensoriais (S) ou intuitivos (N); pensadores (T) ou empáticos (F); julgadores (J) ou perceptivos (P)[1]. Myers e Briggs incluíram uma nova dimensão que foi denominada como atitude ou estilo adotado em relação ao exterior por meio da Percepção ou do Julgamento[73].

- E - I : **Extroversão**(voltado para o mundo exterior, focado no mundo das pessoas e necessita de estímulos externos) e **Introversão**(voltado para o mundo interior, idéia e necessita de tempo para expressar-se);

- S - N : **Sensação**(prático, orientado a detalhes, focado em fatos e procedimentos) e **Intuição**(imaginativo, orientado a conceitos, focado em possibilidades e significados);

- T - F : **Pensamento** (disciplina, ansioso, tende a fazer decisões baseado na lógica e regras) e **Sentimento**(compreensivo, tende a fazer decisões baseadas em valores e na avaliação subjetiva);

- J - P : **Julgamento**(estilo de vida planejado, organizado, bem controlado, rígido e intolerante com a ambiguidade) e **Percepção**(flexível, espontâneo, preferindo propostas e opções abertas, aceita facilmente mudanças e novas experiências);

Segundo Melo[19] a definição de um tipo está na combinação de quatro letras, uma de cada dimensão, resultando em 16 possíveis associações. Cada um dos 16 tipos está relacionado a certas características comportamentais únicas.

O MBTI é atualmente utilizado para auto-conhecimento e auto-desenvolvimento, desenvolvimento e exploração de carreiras, aconselhamento sobre relacionamentos, aconselhamento acadêmico, desenvolvimento organizacional, formação de equipes, solução de problemas, treinamento gerencial, desenvolvimento educacional e profissional[46].

[1] As letras são as inicias da palavras em inglês.

Modelo de Aprendizagem Experimental de Kolb

O modelo de Kolb[72] é baseado em trabalhos sobre desenvolvimento do conhecimento e pensamento. Segundo este modelo, processo de aprendizagem é realizado através de um ciclo, como mostrado na Figura 2.2, passando por quatro etapas: Experimentação Concreta(EC), Observação Reflexiva(OR), Conceitualização Abstrata(CA) e Experimentação Ativa(EA).

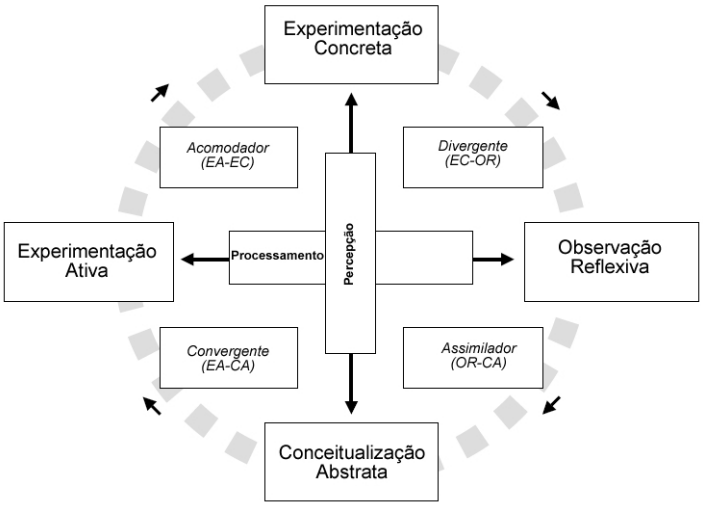


Figura 2.2: Ciclo de aprendizagem no Modelo de Kolb.

Neste ciclo de aprendizagem duas dimensões distintas de aprendizagem foram identificadas: Percepção e Processamento. Percepção refere-se à forma como a pessoa percebe a informação, podendo ser esta através da experimentação concreta(tocar, ver e ouvir) ou através da Experimentação abstrata(Conceitos mentais ou visuais). Nesta dimensão tem-se a oposição entre o concreto e o abstrato. Processamento diz respeito à forma como a pessoa processa a informação, onde umas pessoas processam melhor a informação através da experimentação ativa(fazendo) e outras através da observação reflexiva(pensando). Ação versus Reflexão é o sistema oposto nesta dimensão[53].

Na combinação destas duas dimensões foram identificadas quatro categorias de estilos de aprendizagem, onde cada um dos estilos foi caracterizado por uma questão preferencial: 1) Por quê?, 2) O que?, 3) Como? e 4) O que acontece se? [28]. Os estilos são apresentados a seguir:

- Tipo 1 - **Divergente** : é o estudante que responde bem a explanações de como o material do curso relaciona-se a suas experiências, interesses e com sua carreira futura. Pergunta típica é "Por quê". Prefere aprender pela experiência concreta e observação reflexiva(EC - OR).

- Tipo 2 - **Assimilador** : é o estudante que responde bem a informação apresentada de forma organizada e lógica e beneficia-se, caso tenham tempo para refletir.

Pergunta típica é "O que?". Prefere aprender pela observação reflexiva e conceitualização abstrata(OR - CA).

- Tipo 3 - **Convergente** : é o estudante que responde muito bem quando tem a oportunidade de trabalhar ativamente em atividades bem definidas e aprender em ambientes que proporciona utilizar a estratégia "tentativa e erro"de forma segura. Pergunta típica é "Como?". Prefere aprender através da Conceitualização abstrata e Experiência Concreta(CA - EA).

- Tipo 4 - **Acomodador** : é o estudante que gosta de aplicar o material do curso na solução de problemas reais de novas situações. A pergunta típica é "O que acontece se?". O estudante com este estilo prefere aprendizagem baseada na experimentação ativa e na experiência concreta (EA - EC), fazendo coisas e enfrentando desafios.

O estudante prefere perceber e processar a informação de acordo com o estilo, definido por Kolb como, dominante. No entanto, Kolb *apud* Terry[72] ressalta em seu trabalho a importância de desenvolver no estudante estilos que não sejam dominantes.

Com o objetivo de alcançar todos os outros estilos não dominantes, o professor deve explicar a relevância de cada tópico novo (Tipo 1 - Divergente), apresentar a informação básica e métodos relacionados com o tópico (Tipo 2 - Assimilador), propiciar oportunidades práticas (Tipo 3 - Convergente) e encorajar a exploração de aplicações (Tipo 4 - Acomodador). Portanto, o termo "aprendizagem cíclica", baseada neste modelo descreve bem esta forma de ensinar[53, 72].

Para determinar os estilos de aprendizagem segundo este modelo, foi desenvolvido um instrumento de medida, denominado Inventário de Estilos de Aprendizagem (LSI - *Learning Style Inventory*), cuja primeira versão é de 1976 e constava de nove itens. Em 1985, foi apresentada uma segunda versão com 12 itens. Cada item é composto de quatro opções que deverá receber um valor crescente em uma classificação de um a quatro, segundo a maior e menor identificação pessoal com cada opção. A partir dos valores atribuídos, são obtidas as pontuações que determinam o estilo de aprendizagem[12].

Segundo Terry[72] é possível classificar atividades instrucionais, pertencentes aos níveis cognitivos da Taxionomia de Bloom, que seriam mais propícias a serem trabalhadas em cada estilo de aprendizagem do Modelo Kolb.

Para isto, Terry classificou que tipos de atividades de ensino são mais adequadas a cada estilo de aprendizagem do modelo de Kolb. Por exemplo, simulações e histórias são adequadas a estudantes com o estilo de aprendizagem Divergente e, com isto, relacionou os estilos de aprendizagem aos níveis cognitivo da taxionomia de Bloom. Diante disto, torna-se possível escolher atividades instrucionais de acordo com o estilo de aprendizagem do estudante.

2.2.2 Modelo de Felder-Silverman

Em 1988, Felder e Silverman[29] escreveram um material sugerindo um modelo de estilo de aprendizagem com os objetivos de capturar os mais diversos tipos de estilos de aprendizagem e de prover uma boa base de abordagens de ensino destinada às necessidades do estudante.

Segundo Felder e Spurlin[30], os estudantes apresentam fortes tendência e preferência a determinadas dimensões, que definem as formas de receber, processar, perceber e organizar a informação. Com isto, de acordo com o modelo de Felder e Silverman[29], apresentado na Figura 2.3, o estilo de aprendizagem do estudante pode ser definido pelas respostas a quatro questões:

1. Dimensão de Percepção - Qual o tipo de informação o estudante prefere receber? Sensorial(fatos, dados experimentais) ou Intuitiva(teorias, informação simbólica, modelos matemáticos);

2. Dimensão de Entrada - Qual o tipo de informação sensorial é mais efetivamente percebida? Visual(figuras, diagramas, gráficos,etc.) ou verbal (explicação escrita e/ou falada);

3. Dimensão de Processamento - Como o estudante prefere processar a informação? Ativamente(engajamento físico em atividades, discussões) ou Reflexivamente(através da introspecção);

4. Dimensão de Organização - Como o estudante prefere progredir dentro do curso? Sequencialmente(progressão lógica e linear do conteúdo) ou Globalmente(visão geral do todo e grandes saltos);

Figura 2.3: Estilos de Aprendizagem, no Modelo de Felder e Silverman.

Traços típicos apresentados por representantes de cada estilo são descritos por Felder[29].

- **Sensitivos**: São pessoas que gostam de aprender através de fatos, datas e experimentações. Solucionam problemas através de métodos padrões e da observação dos detalhes e não demonstram aptidão para surpresas e complicações. São bons em memorização de fatos, sentem-se confortáveis com cursos que apresentam ligação com o mundo real.

- **Intuitivos**: São pessoas que preferem aprender através de princípios e teorias, sentem-se confortáveis em lidar com símbolos e abstrações. Diferentemente dos sensitivos, gostam de inovação e de complicação, porém não gostam de repetição e se perdem nos detalhes. São rápidos nos trabalhos.

- **Visuais**: São pessoas que relembram melhor quando a informação é apresentada através de figuras, diagramas, gráficos, linhas de tempo, filmes e demonstrações;

- **Verbais**: Aprendem melhor quando a informação é apresentada de forma verbal. Recordando com maior facilidade as informações que lêem e escutam.

- **Ativos**: São pessoas que se sentem mais confortáveis com experimentação ativa, não aprendem em situações que exigem passividade, pois compreendem melhor a informação fazendo, discutindo, aplicando ou explicando. Trabalham muito bem em grupo e tendem a ser experimentalistas.

- **Reflexivos**: São pessoas que processam melhor a informação através da observação reflexiva, com isso não se dão bem em situações que não proporcionam oportunidade de pensar sobre a informação. Preferem desenvolver trabalhos individualmente e tendem a ser teóricos.

- **Sequenciais**: São pessoas que tendem a seguir uma linha/sequência para a solução de um problema, conseguem trabalhar com um material quando o compreendem em partes ou superficialmente. São bons em convergir pensamentos e análises. Aprendem melhor quando o material é apresentado em uma progressão cuidadosa de complexidade e dificuldade.

- **Global**: Aprendem quase que aleatoriamente em saltos grandes. Podem ser hábeis em resolver rapidamente problemas complexos ou unir coisas, mas têm dificuldade de explicar como fizeram. Têm dificuldade de trabalhar com material quando o entendem parcialmente ou superficialmente. São muitas vezes bons sintetizadores.

Os estilos propostos neste modelo foram, em sua maioria, derivados de outros modelos e teorias já existentes que, combinados e adaptados deram origem a este modelo [29], como pode ser visto na Tabela 2.7.

Os estilos ativos e reflexivos, referentes ao processamento da informação foram derivados dos estilos Experimentação Ativa e Observação Reflexiva do Modelo de Kolb[22, 29].

Felder em [30] coloca que estudantes ativos e reflexivos estão respectivamente relacionados ao tipo extrovertido e introvertido no MBTI. A dimensão referente a forma de percepção da informação teve como origem o MBTI[19] e contrapartida nos estilos concreto/abstrato do modelo de Kolb[22, 29]. Os estilos visual/verbal e sequencial/global, referentes às dimensões de entrada e organização das informações são as contribuições de maior relevância do modelo de Felder-Silverman. Os grupos visual e verbal têm como origem trabalhos da área da ciência cognitiva sobre programação neuro-linguística[22, 30, 29]. A dimensão de organização, Sequenciais/Globais, originou-se do trabalho de Silverman[29] sobre o estudante Visual-Espacial[22].

Tabela 2.7: Comparação entre os Modelos de Estilos de Aprendizagem[22]

Felder e Silverman	Kolb	Myers-Briggs
Ativos	Experimentação Ativa	X
Reflexivos	Observação Reflexiva	X
Sensoriais	Experimentação Concreta	Sensação
Intuitivos	Conceitualização Abstrata	Intuição
Visuais	X	X
Verbais	X	X
Sequenciais	X	X
Globais	X	X

Índice de Estilos de Aprendizagem

O Inventário de estilos de aprendizagem (ILS - *Index of Learning Styles*) é um instrumento desenvolvido por Felder e Soloman[28] para avaliar as preferências nas quatro escalas do modelo de Felder-Silverman. O ILS é composto de 44 perguntas, 11 para cada dimensão do estilo de aprendizagem. Cada pergunta contém duas opções, e a pessoa que responde deve optar por uma das opções e escolhendo a que mais se enquadra com a realidade ou a que ocorre com mais frequência. A combinação das respostas determina o estilo de aprendizagem[22, 30].

Dado a tabela de respostas ao ILS, exemplo Figura 2.4, onde Q representa cada questão e A-B as opções para cada dimensão. Soma-se a quantidade de respostas, representadas por X, em A e B para cada dimensão. Na dimensão processamento, A representa o estilo Ativo e B o estilo Reflexivo. Na dimensão percepção, Sensitivo é representado por A e Intuitivo por B. Na dimensão entrada, A representa Visual e B Verbal. Para finalizar, na dimensão Organização, A representa Sequencial e B global.

Em seguida, é realizada uma subtração do maior valor pelo menor de cada dimensão, obtendo-se a diferença e a alternativa mais escolhida. Para o exemplo da Figura 2.4, é obtido 5A, 1B, 5A e 9A para as dimensões processamento, percepção, entrada e organização, respectivamente. Pontuações entre 1 e 3, na escala, correspondem à preferência leve

Processamento			Percepção			Entrada			Organização		
Q	A	B	Q	A	B	Q	A	B	Q	A	B
1	X		2		X	3	X		4		X
5	X		6	X		7	X		8	X	
9		X	10	X		11	X		12	X	
13	X		14		X	15	X		16	X	
17	X		18	X		19	x		20	X	
21		X	22		X	23		X	24	X	
25	X		26		X	27	X		28	X	
29		X	30	X		31	x		32	X	
33	X		34		X	35		X	36	X	
37	X		38	X		39		X	40	X	
41	X		42		X	43	X		44	X	
Soma total das colunas											
ATI-REF			SEN-INT			VIS-VER			SEQ-GLO		
A	B		A	B		A	B		A	B	
8	3		5	6		8	3		10	1	

Figura 2.4: Exemplo de cálculo do ILS

por ambas as dimensões; entre 5 e 7, preferência moderada por uma delas; e valores entre 9 e 11 indicam forte inclinação para uma das dimensões.

Com isso, um estudante com as respostas iguais às obtidas no exemplo da Figura 2.4, apresentaria uma preferência moderada para o processamento da informação de forma ativa, leve preferência para a percepção das informações para estilo intuitivo, mas podendo, em certos momentos, preferir o estilo sensitivo. Ainda, apresentaria uma preferência moderada para entrada de informação Visual e uma forte inclinação para a organização da informação de forma sequencial.

Estes valores podem variar com o tempo, não podendo ser consideradas características estáticas, pois são medidas de uma dimensão intrínseca às pessoas. Estas podem sofrer alterações ao longo do tempo, influenciadas por estratégias instrucionais vivenciadas, conteúdo das disciplinas e do próprio ambiente educacional no qual está inserido. Portanto, os estilos de aprendizagem são quantidades contínuas e não categorias únicas.

Lopes[53], ainda lembra que o estilo de aprendizagem apresentado por um estudante não reflete a sua adequação ou inadequação para uma determinada disciplina, curso ou profissão, mas ajuda a melhorar a aprendizagem, na medida em que o professor proponha, não só atividades que vão ao encontro do estilo preferencial de suas turmas, como também escolha métodos instrutivos incompatíveis, a fim de poder estimular e fortalecer as habilidades menos desenvolvidas.

Portanto, os estilos de aprendizagem apresentados pelos estudantes servem como um indicador das atitudes a serem tomadas com os estudantes e como um indicador dos prováveis pontos fortes e possíveis tendências ou hábitos que poderiam estar conduzindo a dificuldades na vida acadêmica. Com isto, tornando o professor mais capaz, de em um primeiro instante, proporcionar um ensino mais voltado às necessidade dos estudantes e com tempo ir desenvolvendo no estudante outras habilidades que não fazem parte do estilo preferencial. Tudo isto com o objetivo de desenvolver a destreza mental que precisam para

alcançar seu potencial para realização escolar e profissional.

2.2.3 Estilos de Aprendizagem em EAD

Com o objetivo de proporcionar ambientes de EAD com capacidade de adaptar o conteúdo, o ambiente e a sequência de atividades às características dos estudantes, vários trabalhos apresentam propostas de utilização dos estilos de aprendizagem na composição do modelo do estudante em EAD. Dentre estes trabalhos podem-se citar os trabalhos de Franzoni[31] e Vasilyeva[74].

Vasilyeva *et al.*[74] utilizaram estilos de aprendizagem, baseados no modelo de Felder-Silvermam, para determinar o tipo de resposta[2] a ser fornecido ao estudante em ambientes de EADW. Segundo os autores, o principal papel da resposta é informar e motivar o usuário, neste caso o estudante, a aumentar seus esforços e atenção. Com isto, a personalização da resposta, através da especificação de tipos de respostas de acordo com o estilo de aprendizagem oferece possibilidades de adaptação dos mesmos de forma mais apropriada às potencialidades e habilidades cognitivas do estudante.

O trabalho de Franzoni *et al.*[31] descreve a taxionomia de integração entre estilos de aprendizagem e estratégias de ensino. Propõem o desenvolvimento de um meio eletrônico para facilitar a personalização dos processos de aprendizagem, com objetivo de possibilitar ao estudante uma melhor assimilação do conhecimento. Para isto, descrevem a combinação de recursos eletrônicos de ensino adequados a determinados estilos de aprendizagem que proporcionaram resultados mais eficientes em EAD.

Esta taxionomia é baseada nas quatro Dimensões dos Estilos de Aprendizagem(DEA) do Modelo de Felder-Silverman, DEA={TEA_1,TEA_2,TEA_3,TEA_4}, onde TEA significa Tipos de Estilos de Aprendizagem. TEA_1 representa a dimensão de percepção, TEA_2 representa a dimensão de entrada, TEA_3 representa a dimensão de processamento e TEA_4 representa a dimensão de organização. Com isto, tem-se que TEA_1={(S,I)} onde S é o estilo sensitivo e I o estilo Intuitivo, TEA_2={(Vi,Ve)} onde Vi é o estilo visual e Ve o estilo verbal, TEA_3={(A,R)} onde A é o estilo ativo e R o estilo reflexivo e TEA_4={(Seq,G)} onde Seq é o estilo sequencial e G o estilo global. As quatro dimensões resultam em 24 tipos, possíveis, de combinações de estilos de aprendizagem (CEA): CEA_{24}={(S,Vi,A,Seq), (S,Vi,A,G), (S,Vi,R,Seq), (S,Vi,R,G), (S,Ve,A,Seq), (S,Ve,A,G), (S,Ve,R,Seq), (S,Ve,R,G), (I,Vi,A,Seq), (I,Vi,A,G), (I,Vi,R,Seq), (I,Vi,R,G), (I,Ve,A,Seq), (I,Ve,A,G), (I,Ve,R,Seq), (I,Ve,R,G)}. Para cada estilo de aprendizagem, existe uma ou mais estratégias de ensino que podem ser representadas por um ou mais meios eletrônicos.

A aplicação da taxionomia é realizada em três fases. A primeira consiste da aplicação do questionário (ILS) que determina o estilo de aprendizagem segundo o modelo de Felder-Silverman. Na segunda fase, o plano de estudo é revisto para especificar os objetivos do

[2] *tradução para Feedback*

curso. A taxionomia de Bloom é utilizada nesta segunda etapa para ajudar a selecionar os objetivos pela associação de verbos ao nível cognitivo desejado, também permite classificar as informações do curso baseadas em suas categorias bem como contribui na elaboração de avaliações. Na terceira fase, as seleções das estratégias de ensino e recursos eletrônicos são feitas, de acordo com a Taxionomia de ensino adaptativo e baseado nos estilos de aprendizagem resultantes da aplicação do questionário.

Além destes trabalhos vários outros utilizam estilos de aprendizagem no processo de adaptação de ambientes educacionais. A Tabela 2.8 apresenta alguns destes de forma sucinta.

Tabela 2.8: Trabalhos que utilizam estilos de aprendizagem[31]

Identificação	Estilos de Aprendizagem
CS388[11]	Estilos de aprendizagem do modelo de Felder-Silverman.
INSPIRE[34]	Honey e Mumford utilizaram os estilos de aprendizagem segundo o modelo de Kolb.
Curso de PHP[39]	Utiliza as quatro dimensões do modelo de Felder-Silverman
Tangow[58]	Utiliza a dimensão de percepção do modelo de Felder-Silverman

A proposta de planejamento instrucional feita neste trabalho baseia-se no modelo de Felder-Silvermam[29], pois foi utilizado em trabalhos anteriores que visavam proporcionar a adaptação de conteúdo em ambiente eletrônico [31, 74, 69]. Ainda, vários trabalhos foram desenvolvidos na tentativa de provar a sua confiança e viabilidade [22, 53, 30], sendo que a sua utilização é amigável e os resultados de fácil interpretação, além disso, este tem como base vários outros modelos[22, 29].

2.3 Considerações Finais

Neste capítulo foram mostrados alguns fundamentos teóricos relacionados às áreas da Psicologia Cognitiva e comportamental utilizados na Educação. Foi apresentada a Taxionomia dos objetivos educacionais, conhecida como Taxionomia de Bloom, que representa os resultados educacionais através de uma classificação de comportamentos educacionais. Segundo Bloom, o domínio cognitivo está relacionado à memória ou recognição e ao desenvolvimento de capacidades e habilidades intelectuais, tendo sido dividido em seis níveis cognitivos. Estes níveis estão organizados de forma hierárquica e cumulativa. Em cada um destes níveis existem vários termos que podem descrever os objetivos a serem alcançados ao se propor uma atividade instrucional.

Os três primeiros níveis verificam somente se o estudante aprendeu o que foi transmitido pelo professor, o que não provoca muitas mudanças em seu comportamento. No entanto, os três últimos níveis cognitivos são ditos superiores, pois desenvolvem no estudante raciocínio crítico não ficando limitado à repetição do que foi transmitido.

Ainda foi apresentados neste capítulo, a definição de estilos de aprendizagem e como estes são de fundamental importância no processo de personalização de aulas às características específicas de cada estudante ou grupos de estudantes. Foram apresentados alguns dos principais modelos de estilos de aprendizagem, como o Indicador de Tipos de Myers-Briggs, o Modelo de Aprendizagem Experimental de Kolb e o Modelo de Felder-Silverman.

Devido o modelo de Felder-Silverman apresentar trabalhos que procuraram utilizar este modelo na adaptação de conteúdo em ambiente educacional [31, 74, 69] e trabalhos desenvolvidos na tentativa de provar a sua confiança e viabilidade [22, 53, 30]; Além disto, dispor de uma utilização amigável, com resultados de fácil interpretação e ter como base vários outros modelos[22, 29], percebeu-se que este modelo constituía a fundamentação teórica mais apropriada para os objetivos visados por esta proposta. Objetivos que consistem em considerar o estilo de aprendizagem do estudante e então proporcionar um ambiente de EAD que apresente conteúdo de acordo com as preferências do estudante. Por esta, razão foi apresentado com maiores detalhes o instrumento desenvolvido por Richard Felder e Barbara Soloman para avaliar as preferências nas quatro dimensões do modelo de Felder-Silverman, chamada de inventário de estilos de aprendizagem.

Também foram apresentados alguns trabalhos que fazem uso da Taxionomia de Bloom e dos estilos de aprendizagem em EAD. O trabalho proposto por Queiroz[60] apresenta um planejador instrucional que gera uma sequência de conteúdo baseado no conhecimento do estudante, não levando em consideração o estilo de aprendizagem.

Assim, neste trabalho, busca-se conhecer o nível cognitivo em que se encontra o estudante, para que a partir de então possa gerar automaticamente uma sequência de atividades instrucionais que esteja de acordo com tal nível. Além das atividades estarem voltadas para o nível cognitivo do estudante, isto é, ao nível cognitivo que o estudante se encontra de acordo com a Taxionomia de Bloom, buscou-se também conhecer o estilo de aprendizagem de cada estudante. O estilo de aprendizagem, bem como, o nível cognitivo irão compor o modelo do estudante.

Capítulo 3

Fundamentos Teóricos e Técnicas utilizadas

Para o desenvolvimento de ambientes de EAD, diferentes técnicas, teorias e tecnologias têm sido propostas e utilizadas. Nestes ambientes podem ser identificados muitos problemas a serem resolvidos e, por isso, diferentes ferramentas e teorias devem ser utilizadas afim de obter sistemas eficientes.

As teorias, técnicas e paradigmas de IA e IA distribuída vêm sendo aplicadas na tentativa de propor procedimentos que sejam capazes de lidar com a divesidade e quantidade de variárveis e restrições presentes nestes problemas e, assim, propor soluções viáveis[23]. Como exemplos, pode-se citar os sistemas inteligentes multiagentes, que foram e têm sido utilizados, principalmente, para promover comunicação eficiente entre os diferentes componentes e participantes de um ambiente de EAD[**?**].

Também técnicas de planejamento em IA vêm sendo utilizadas, por exemplo, para o problema de planejamento instrucional em EAD. Na verdade, tais técnicas são a base para o desenvolvimento de planejadores instrucionais. Além destas, cita-se também o paradigma de Computação Evolutiva, considerado adequado para problemas de difícil tratamento, como os vistos em IA, pois é capaz de lidar com grande quantidade de restrições e variáveis de maneira a encontrar uma solução ótima global.

A tecnologia de *workflow*, embora não seja uma abordagem com origem em IA, tem profunda similaridade com planejamento em IA e vem sendo, recentemente, utilizada na solução de problemas de EAD. Devido, principalmente ao grande poder para modelar e gerenciar ambientes que envolvam diferentes situações e participantes, como é o caso de um ambiente de EAD.

Particularmente, em relação ao problema de planejamento instrucional, estas três abordagens podem ser utilizadas, dado que contêm elementos e características para lidar com cada aspecto deste problema. Como já mencionado, planejamento em IA é a base para propostas de solução deste problema. AG's, principais representantes da área de Computação Evolutiva, são capazes de lidar com as restrições e variáveis de forma global e

a tecnologia de *workflow* pode, além de modelar, executar e gerenciar a execução das soluções geradas por um planejador instrucional. Sendo assim, uma proposta baseada na combinação destas três abordagens se mosta promissora para a solução do problema de planejamento instrucional em EAD.

Portanto, neste capítulo são descritas estas três abordagens e apresentados alguns trabalhos que fizeram uso destas para solução de problemas em EAD. Na seção 3.1 são apresentados a definição de planejamento em IA, principais características e classificação, mencionados exemplos de planejadores e também discutido o planejamento instrucional. Na seção 3.2 são definidos os algoritmos genéticos e os principais elementos deste paradigma. Finalizando esta seção apresenta-se a técnica de planejamento genético, que foi aplicada nesta proposta com o objetivo de obter planos de ações instrucionais. A seção 3.4 descreve a tecnologia de *workflow*, apresentando a definição, os conceitos básicos, uma arquitetura padrão de referência e o funcionamento desta tecnologia.

3.1 Planejamento em IA

Ao longo dos anos vários pesquisadores vêm se esforçando no complexo desafio de desenvolver solucionadores genéricos de problemas que sejam independentes de domínio, onde seus algoritmos e heurísticas possam ser reutilizados sem a necessidade de uma reimplementação, utilizando meramente uma descrição em alto nível do ambiente em questão.

Planejamento é o aspecto da ação que envolve raciocínio, onde agentes inteligentes devem ser capazes de montar planos de ação antes do início de sua execução, a fim de evitar situações irreversíveis que levem à falha da tarefa como um todo. Portanto, planejamento parte da idéia de enumerar as ações adotadas para alcançar um conjunto de objetivos previamente definidos, ou seja, é a tarefa de descobrir uma sequência de ações correta, que ao ser seguida permita atingir uma solução para um objetivo determinado.

De acordo com Martins[17] os principais conceitos envolvidos em planejamento em IA são *fluents*, estados, operadores, domínio e plano.

- ***fluents***: Em planejamento informações são associadas a instantes de tempo, ou seja, o que é válido em um momento pode não ser válido no momento seguinte. Essa não-monotonicidade é identificada nos problemas de planejamento pelo termo *fluent*, ou seja, um *fluent* é uma proposição cujo valor verdade é dado em função do tempo;

- **Estados**: Sendo L uma linguagem da Lógica Clássica de 1ª ordem, um estado S_t é um conjunto finito de *fluents* pertencentes a L e que são verdadeiros (visíveis) no instante de tempo t. Essa definição assume a hipótese de mundo-fechado. É considerada a hipótese de mundo-fechado qualquer condição que não seja mencionada

em um estado é assumida como falsa, ou seja, todo fluente $f \notin S_t$ é considerado falso no instante de tempo t.

- **Operadores**: Também chamados de ações, são esquemas que representam regras de inferência não instanciadas. Uma ação é representada em termos das pré-condições que tenham que assegurar ser verdadeira antes que possam ser executadas e dos efeitos que resultam de sua execução.

- **Domínio**: O domínio é composto pela enumeração dos predicados e do conjunto de operadores aplicáveis a um determinado ambiente.

- **Plano**: É a lista ordenada de operadores instanciados por um planejador e que permite a transição do estado atual ao estado objetivo de um problema.

Baseado nestes conceitos, um problema de planejamento em IA consiste em, dado um estado inicial que reflete a situação atual do problema, determinar uma sequência de operadores (ações) que, quando aplicada a partir deste estado inicial, encontre o estado final desejado. Formalmente, pode-se colocar o problema de planejamento de acordo com a Definição 2.1.1[35, 32].

Definição 3.1.1 *O problema de planejamento é uma 3-tupla* $P = \langle \sum, s_0, S_g \rangle$*, onde:*

- $\sum$ *é um sistema de transição de estados, ou domínio do planejamento;*

- s_0 *é um estado inicial;*

- S_g *é um conjunto de estados-metas.*

Sendo que o sistema de transição de estados pode ser representado por uma 4-tupla $\sum = \langle S, A, E, \gamma \rangle$*, onde:*

- $S = \{s_1, s_2, \ldots\}$ *um conjunto finito ou recursivamente enumerável de estados;*

- $A = \{a_1, a_2, \ldots\}$ *um conjunto finito ou recursivamente enumerável de ações;*

- $E = \{e_1, e_2, \ldots\}$ *um conjunto finito ou recursivamente enumerável de eventos;*

- $\gamma : S \times A \times E \longrightarrow 2^s$ *uma função de transição de estados.*

Com isto, o planejador deve, dado a definição inicial do mundo (estado inicial s_0), gerar uma sequência de instâncias de operadores aplicáveis ao domínio do problema inserido, que quando executada por algum dispositivo, permite partir do estado atual do mundo até um estado desejado(estado meta em S_g), a fim de satisfazer um conjunto de objetivos[60]. Para esta definição pressupõe o uso de lógica clássica, Lógica de primeira ordem, e de um conjunto limitado de objetos válidos no domínio de um problema de planejamento.

Os ambientes de planejamento são classificados em clássico e não-clássico[20]. O planejamento clássico é totalmente observável (onisciência), determinístico, finito, estático (mudanças só acontecem quando o agente age), tem-se um único agente e é discreto em tempo, ações, objetos e efeitos. O planejamento não-Clássico é um tanto mais complexo por trabalhar com ambientes parcialmente observáveis ou estáticos [1]. A próxima seção traz uma breve descrição dos tipos de planejamento.

3.1.1 Planejamento Clássico

O planejamento clássico é utilizado quando o estado resultante após a execução pode ser previsto completamente, pois o estado atual é modificado apenas pelas ações do plano, nenhuma outra modificação é inserida durante a execução do plano, ou seja, segundo uma visão determinística. Neste, tem-se as seguintes suposições[32].

- O Conjunto de transições é finito, pois há um número finito de estados;
- O conjunto de transições é totalmente observável, possibilitando saber com precisão qual é o estado corrente do mundo;
- Transições determinísticas, onde ações possuem apenas um efeito;
- O conjunto de transições é estático, o que implica que não ocorrem eventos externos ao agente, isto é, somente o agente manipula o mundo;
- Metas restritas, especificadas por um conjunto de estados meta;
- Plano sequenciais, representados simplesmente como uma sequência de ações a serem executadas na ordem indicada(parcial ou total);
- Tempo implícito, supondo tempo discreto, onde apenas uma ação ocorre por ver e não há informação sobre sua duração;
- Não deve existir restrição de tempo e nem de recursos;

Assim, como na definição apresentada anteriormente, o planejamento clássico consiste de:

- S = $\{s_1,s_2,...\}$ um conjunto finito ou recursivamente enumerável de estados;
- Estado inicial $s_0 \in S$;
- A = $\{a_1,a_2,...\}$ um conjunto finito ou recursivamente enumerável de ações;
- γ(s,a): uma função de transição de estados, onde s $\in$ S e a $\in$ A.
- Conjunto não vazio de estados objetivos $S_g \subseteq$ S;

Diante disto, o resultado de um planejamento clássico consiste em encontrar uma sequência de ações $a_0, a_1, \ldots, a_n$ tal que s_0,s_1=$\gamma(s_0, a_0), \ldots, s_{n+1} = \gamma(s_n, a_n)$ para algum estado meta s_{n+1}.

Portanto, pode-se dizer que Planejamento Clássico implica em um sistema de transição de estados determinísticos (por este motivo chamado algumas vezes de modelo determinístico), estático, finito e completamente observável, com objetivos restritos , tempo implícito e sem eventos contingentes. Os primeiros planejadores clássicos baseavam-se num modelo restrito dos estados e operadores do solucionador de problemas STRIPS(*Stanford Research Institute Problem-Solver*).

Linguagem STRIPS

O sistema STRIPS foi à primeira proposta de solução para o problema de planejamento apresentada por Fikes e Nilsson e utilizado inicialmente em agentes robóticos[47]. Este planejador utiliza uma linguagem baseada no Cálculo de Predicados que fornece sintaxe para representar estados, metas(estados finais), ações e domínio do problema.

Representação de um estado: Um estado é representado por uma conjunção de literais sem variáveis, não havendo, por isso, quantificadores. Pode-se considerar literais proposicionais, por exemplo, $pneu_furado \wedge estepe_cheio$ que representa um estado para uma troca de pneu. Também é possível utilizar literais da Lógica de Primeira Ordem, como por exemplo, a descrição a seguir que representa um estado do problema de entrega de pacotes.

$$\texttt{Em(}Aviao_1\texttt{,Uberlandia)} \wedge \texttt{Em(}Aviao_2\texttt{, Goiania)}$$

Quando for literal da lógica de primeira ordem estes devem estar instanciados e não podem incluir funções.

Representação das metas: As metas(estados finais) são também representadas por conjunções de literais, podendo, no entanto, conter também variáveis que se assumem estarem universalmente quantificadas. Por exemplo, a meta de estar num local que venda leite pode ser representado por:

$$\texttt{Em(x)} \wedge \texttt{Vende(x, Leite)}$$

Representação dos operadores(ações): Os operadores em STRIPS são constituídos por três partes: uma descrição da ação, uma pré-condição e um efeito. A descrição da ação é constituída por um termo que refere uma possível ação. Por exemplo, coloca(x).

A pré-condição é uma conjunção de literais positivos que devem se se verificar imediatamente antes da ação ser executada para que o operador possa ser aplicável, isto é, define as situações em que uma ação é aplicável. O efeito é o resultado da execução da ação. Por exemplo, as ações a serem executadas quando um carro está com pneu furado, podem ser descritas a seguir[63].

```
Ação  (Remover(x)
      Pré-condição:  SobreEixo(x) ∧ Furado(x)
      Efeito:  ForaEixo(x) ∧ SemParafuso(x) ∧ ¬ SobreEixo(x))
Ação  (Colocar(x)
      Pré-condição:  ForaEixo(x) ∧ SemParafuso(x)
      Efeito:  SobreEixo(x) ∧ ¬ SemParafuso(x) ∧ ¬ ForaEixo(x))
Ação  (Encher(x)
      Pré-condição:  Intacto(x) ∧ Vazio(x)
      Efeito:  Cheio(x) ∧ ¬ Vazio(x) )
Ação  (VerificarIntegridade(x)
      Pré-condição:  Vazio(x) ∧ SobreEixo(x)
      Efeito:  (Intacto(x) ∧ Vazio(x)) ∨ Furado(x) )
```

Neste exemplo o caracter ¬ representa a negação de uma proposição. A meta é deixar o carro com um pneu cheio, que é representado da seguinte forma:

```
SobreEixo(x) ∧ Cheio(x)
```

O estado inicial deste domínio é o seguinte:

```
Cheio(Sobressalente) ∧ Intacto(Sobressalente) ∧ ForaEixo(Sobressalente)
                    ∧ SobreEixo(Pneu) ∧ Vazio(Pneu).
```

A sequência de ações encontrada para este problema é a seguinte:

```
VerificarIntegridade(Pneu); Remover(Pneu); Colocar(Sobressalente)
```

Segundo Russel[63] e Lopes [50] planejamento clássico apresenta algumas limitações, tais como:

- A incapacidade de caracterizar diferentes tipos de abstrações para o plano que está sendo gerado;
- A impossibilidade de descrever efeitos dependentes do contexto;
- A aquisição de informações em tempo de execução é um comportamento que deve ser considerado;
- Planejamento é computacionalmente caro e muitos problemas de raciocínio sobre ações são totalmente indecidíveis;
- Restrições de tempo imposto pelo mundo são algumas vezes severas, aumentando o grau das dificuldades listadas acima.

Segundo Queiroz[60] o planejamento clássico continua sendo alvo de pesquisas, cujos principais focos são a modelagem de ações e a organização do processo de busca. Com a percepção de que STRIPS era insuficiente para representar alguns domínios do mundo real, muitas linguagens variantes têm sido desenvolvida. A ADL(*Action Description Language*), pode-se dizer que foi a mais expressiva entre elas e uma das consequências do seu uso foi a redução da quantidade de ações instanciadas para resolver um problema [60, 63].

Outra variante é a PDDL(*Planning Domain Definition Language*), uma linguagem para especificação de problemas de planejamento criada em 1998 por Drew McDermontt[18]. Esta foi desenvolvida para a primeira competição internacional de planejadores, com objetivo de possibilitar a interoperabilidade entre planejadores, para permitir a troca de problemas e a comparação dos resultados[47].

PDDL tem a linguagem STRIPS como base e permite efeitos condicionais, efeitos universalmente quantificados, decomposição hierárquica, variáveis tipadas, medidas de fluentes (*fluents*), avaliação de expressões aritméticas de cálculo e comparação para representar restrições quantitativas de recursos, entre outros. Porém, não será descrito em detalhes as características da linguagem.

Como apresentado, esta abordagem apresenta limitações e para tentar solucionar parte destas limitações, outras abordagens têm sido propostas, tais como planejamento hierárquico e planejamento não-clássico.

Planejamento Hierárquico

O Planejamento Hierárquico (HTN - *Hierarquical Task Network*) é uma metodologia de planejamento que cria planos pela decomposição de tarefas e é semelhante ao planejamento clássico. A linguagem utilizada em HTN é linguagem da lógica de primeira ordem com algumas extensões, na qual a representação das ações e estados são similares às usadas em STRIPS.

A principal diferença entre planejamento hierárquico e STRIPS se dá quanto ao objetivo e funcionamento. No planejador STRIPS, o objetivo é encontrar uma sequência de ações que trará ao mundo um estado que satisfaça certas condições e objetivos. O processo de planejamento ocorre pela busca de uma sequência de operadores que produzam o efeito desejado. Diferentemente, em HTN, dada uma ação descrita em alto nível, o processo de planejamento consiste em decompor tal ação em ações ditas primitivas, ou seja, ações que podem ser executadas automaticamente. Por exemplo, dada a ação comprar um carro, esta poderia ser decomposta em pesquisar carros em concessionárias e contratar despachante. Note que cada uma delas pode, por sua vez, também ser decomposta em outras ações. Desta maneira, através da decomposiçao de ações ocorre o refinamento do plano. Portanto, HTN busca por um plano que cumpra um conjunto de ações, que pode incluir não apenas a meta desejada[63].

Formalmente, o planejamento hierárquico pode ser representado por 6-tupla $\langle V, C, P, F,$

$T, N\rangle$, onde $V = \{v_1, v_2, \ldots\}$ é um conjunto finito de símbolos de variáveis, C é um conjunto finito de símbolos de constantes, P é um conjunto finito de símbolos de predicados, F é um conjunto finito de tarefas primitivas, T é um conjunto finito de Tarefas compostas e $N = \{n_1, n_2, \ldots\}$ é um conjunto finito de símbolos usados para marcar as tarefas.

O objetivo do planejamento hierárquico é determinado por um conjunto de tarefas e não por um conjunto de estados, em visão geral do seu funcionamento, o domínio recebe informações adicionais além da descrição das ações. Estas informações são compostas pelas ações e métodos utilizados para decompor as ações compostas em sub-ações. A decomposição é realizada até que restem apenas ações primitivas, diretamente mapeadas as ações que poderão ser executadas por um atuador[26, 27].

O planejamento hierárquico tem maior poder de expressão que o planejamento clássico, pois é possível expressar o segundo através do primeiro, no entanto, o inverso não é possível.

3.1.2 Planejamento Não-Clássico

Segundo Herrmann[35], a tentativa de tratar todo sistema como sendo estático e determinístico é uma suposição irrealista. Pois ambientes estáticos e determinísticos parte-se da premissa que todas as ações previstas são executadas e que seus efeitos correspondem exatamente à previsão[20]. Queiroz[60] diz que em quase todas as áreas nas quais seriam interessante o uso de planejamento, ou seja, em cenários do mundo real a presença de incertezas é regra ao invés de exceção, fazendo-se necessário estar sempre preparado para falhas nos planos. Frente a isto, a consideração de ações não-determinísticas torna-se uma postura mais viável e realista.

No Planejamento não-determinístico, o plano pode resultar em múltiplos caminhos de execução. Com isto, os planos não são especificados como uma sequência de ações, mas como políticas que mapeiam estados em ações[35].

Diante desta realidade, várias abordagens surgiram com a intenção de tratar o problema do planejamento em domínio não-determinístico. Existem quatro métodos de planejamento para lidar com não-determinismo, cujos os domínios são classificados quanto ao grau de não determinismo[63].

Não-determinismo Limitado: As ações podem ter efeitos imprevisíveis, mas os efeitos possíveis podem ser listados nos axiomas de descrição de ações. Existem dois tipos de planejamento sob não-determinismo limitado:

- Planejamento Conformante, conhecido também como planejamento sem sensores, este constrói planos sequenciais padrões que devem ser executados sem percepção;

- Planejamento Contingente, também conhecido como condicional, este lida com indeterminismo limitado, construindo um plano condicional com diferentes ramificações para as diferentes contingências que poderiam surgir;

Não-determinismo Ilimitado: onde o conjunto de pré-condições ou efeitos possíveis é desconhecido ou grande demais para ser enumerado completamente, o não-determinismo é classificado como ilimitado. Existe duas técnicas para lidar com esse tipo de não-determinismo.

- Monitoramento e Replanejamento, onde o agente pode usar qualquer das técnicas de planejamento precedentes para construir um plano. Também, pode utilizar o monitoramento de execução para julgar se o plano tem uma provisão referente à situação real ou precisa ser revisto.

- Planejamento Contínuo, projetado para persistir ao longo de inúmeras execuções, pode lidar com o abandono de objetivos e a criação de objetivos adicionais pela formulação de objetivos.

O modelo formal do planejamento não-determinístico consiste de um sistema de transições de estados não-determinístico, uma 3-tupla $\sum$"=$\langle S, A, \gamma \rangle$, onde:

- $S = \{s_1, s_2, \ldots\}$ é o conjunto finito ou recursivamente enumerável de estados;

- $A = \{a_1, a_2, \ldots\}$ é o conjunto finito ou recursivamente enumerável de ações;

- $\gamma : S \times A \longrightarrow 2^S$ é a função de transição de estados.

Devido ao fato do planejador não ter conhecimento do estado corrente durante a execução do plano, a estrutura do plano apresenta-se de forma diferente, portanto, utiliza-se a noção de política, que diz qual é a melhor ação a ser realizada, dado um determinado estado.

Planos como políticas podem ser caracterizados nas seguintes classes de soluções[35]:

Soluções Fracas - onde existe pelo menos uma sequência de ações efetuada pela política, que alcança a meta;

Soluções Fortes - onde qualquer estado alcança a meta se guiado pela política, mesmo supondo que os ciclos sejam eventualmente interrompidos;

Soluções Cíclicos fortes - onde sob uma suposição de um ambiente justo, eventualmente a política leva a um estado meta, mas não garantidamente.

No entanto, segundo Alves[1] o principal problema apresentado por esta abordagem, é que, a complexidade para geração dos planos tende a crescer exponencialmente em relação direta com a quantidade de ações condicionais introduzidas. Todavia, alguns trabalhos recentes têm obtido bons resultados nesta área, tais como variações do planejador FF(*Fast Forward Planner*), conhecida por Contingent-FF [36] e o POND(*Partially Observable Non-Deterministic planner*) [10].

3.1.3 Planejamento Instrucional

Para Wasson[76], planejamento instrucional é o processo de gerar uma sequência de objetivos e ações instrucionais consistentes, coerentes e contínuas em uma sessão instrucional. Segundo Queiroz[60] o planejamento instrucional é responsável por gerar uma sequência de conteúdo instrucional, adaptada às necessidades do estudante no processo de ensino/aprendizagem de um determinado objetivo educacional.

Na realização do Planejamento instrucional subentende que o sistema tenha que: (1) Reconhecer os padrões cognitivos do estudante e suas implicações pedagógicas;(2) Ter o domínio do conhecimento proposto; (3)Conhecer a organização do material instrucional e (4) Estar hábil a gerar dinamicamente a mais adaptada seleção e sequência de conteúdo para cada estudante em um estágio particular do curso[67].

Segundo Vassileva[75] planejamento instrucional pode ser dividido em:

1. Planejamento de conteúdo (O que aprender?) - Seleciona um determinado conteúdo para alcançar um determinado espaço do objetivo de aprendizagem;

2. Planejamento de apresentação (Como aprender?) - Constrói uma sequência de interações entre o tutor e o estudante.

Vários pesquisadores , tais como Vassileva[75], Brusilovsky[9], Seridi[65], Wasson[76] e Karampiperis[42], indicam que a técnica de planejamento apoiado em IA é uma ótima ferramenta para realizar o planejamento instrucional, permitindo ao estudante alcançar seus objetivos mais eficientemente através de procedimentos pedagógicos adequados às suas características.

Nesta perspectiva, as técnicas de Planejamento em IA se mostram eficazes para a implementação do planejamento instrucional, por serem capazes de fornecer flexibilidade para o sequenciamento do conteúdo em cursos totalmente personalizado e pela capacidade de trabalhar em domínios dinâmicos, como os ambientes de EADW.

Planejamento instrucional em EAD

Em alguns trabalhos encontrados na literatura, como os de Seridi[65] e Karampiperis[42] o termo planejamento instrucional está diretamente relacionado ao termo sequenciamento adaptativo, que é definido como o processo de selecionar objetos de aprendizagem de um repositório e sequenciá-los em uma forma apropriada aos objetivos educacionais de uma comunidade ou indivíduo. Isto é, enquanto planejamento instrucional gera uma sequência de atividades instrucionais, o sequenciamento adaptativo gera uma sequência de OA. Portanto, pode-se concluir que sequenciamento adaptativo pode ser visto como uma forma de planejamento instrucional.

Segundo Seridi *et al.*[65] a geração de curso adaptativo baseado no perfil do estudante pode ser visto como um problema de classificação, uma vez que o processo consiste em

encontrar um conjunto de objetos de aprendizagem associados a parâmetros computacionais do comportamento do estudante. Por esta razão, este trabalho utiliza duas redes neurais artificiais do tipo MLP(*Multi-Layer Perceptrons*) no processo de escolha do conteúdo(OA) a ser apresentado ao estudante de acordo com o seu conhecimento, objetivo e característica.

Nestas redes neurais, que utilizaram como algoritmo de treinamento o *BackPropagation*, cada neurônio na camada de saída está associado a um OA, enquanto os neurônios na camada de entrada representam os conceitos relacionados aos objetivos de aprendizagem do curso. A primeira rede seleciona os OAs, no primeiro estágio do ensino, e a segunda rede intervém quando o estudante não obtém sucesso em uma avaliação. Estas redes neurais foram treinadas através do algoritmo *Backpropagation*.

No trabalho de Karampiperis *et al.*[42] é apresentado um planejador instrucional adaptativo utilizando ontologias. Segundo os autores, o planejamento instrucional pode ser considerado como a interconexão de duas redes ou espaços, neste caso: uma rede de conceitos e uma rede de materiais educacionais. O processo de planejamento ocorre, em um primeiro instante, através das relações existentes entre os conceitos utilizados na representação do domínio do conhecimento. Estas relações podem ser "*consiste de*", "*similar ao*", "*oposto ao*"e "*Relacionado com*".

Cada conceito presente na rede de conceitos contém materiais instrucionais, isto é, OAs que compõem a rede de materiais educacionais. Estes objetos de aprendizagem se relacionam através de relações como "*é parte de/tem parte*", "*referencia*"/"*é referenciado por*", "*é baseado em*"/"*é base para*"e "*requer*"/"*é requerido por*".

O resultado da junção do espaço de conceito com o espaço de OA's é um grafo direcionado acíclico. Para encontrar o melhor caminho neste grafo, que representa a melhor sequência de conteúdo para o estudante, foi utilizado um algoritmo que encontra o caminho mais curto cobrindo os conceitos desejados. O algoritmo considera como caminho mais curto aquele que apresenta menor tempo para ser aprendido e fornece todo conhecimento necessário ao curso. A informação tempo é obtida de cada OA.

Os OAs são em sua essência entidades digitais projetados para serem pequenos, flexíveis, portáveis e adaptáveis para muitas aplicações, que podem ser armazenadas e distribuídas através da *Internet*, significando que qualquer número de pessoas pode acessá-los e usá-los simultaneamente[78]. Além disso, podem ser usados para preencher uma variedade de situações de ensino e estilos de aprendizagem, visto que a possibilidade de reutilização destes objetos oferece uma forma eficiente de readaptar atividades para diferentes tipos de estudantes.

Os OAs devem ser indexados para que os sistemas saibam o que cada um deles representa e como devem ser utilizados. Para isto, metadados são utilizados. Os metadados são atributos de descrição que permitem que se saiba o que são os objetos sem ter que os acessar. O padrão IEEE LTSC LOM (*Learning Object Metadata*) é capaz de armazenar

as informações necessárias dos OA's[40].

Também os trabalho de Queiroz*et al*[60, 61] utilizou planejamento instrucional em EAD. Neste foi desenvolvido e proposto um agente pedagógico composto de duas camadas. Uma camada é responsável pela geração automática do currículo utilizando técnicas de planejamento apoiado em IA. A outra camada é responsável pela execução do plano e também por reagir a eventos externos que correspondem a interações do estudante com o sistema.

A camada responsável pela geração automática de conteúdo, chamada de camada de planejamento, faz uso de técnicas de planejamento hierárquico para realizar o planejamento Instrucional.

O planejamento instrucional é dividido em planejamento de conteúdo e planejamento de apresentação. O planejador de conteúdo inclui um conjunto de regras, um conjunto de operadores primitivos e abstratos e alguns métodos de decomposição que são responsáveis por gerar o plano de conteúdo. Os métodos de decomposição são responsáveis por definir como será apresentado um determinado conteúdo ao estudante. São nestes métodos de decomposição que as estratégias de ensino são implementadas.

O planejador de conteúdo, além da sua função de selecionar o conteúdo, é responsável também por selecionar os materiais instrucionais, ficando a cargo do planejador de apresentação apenas a personalização do conteúdo através das preferências do estudante. Isto foi possível devido às características do planejamento hierárquico, que possibilitou decompor um determinado conceito em um conjunto de atividades instrucionais capazes de fazer o estudante aprendê-lo.

O conjunto de regras, responsável por coordenar o algoritmo de planejamento, é dividido em regras de controle, regras de seleção de operadores e regras de seleção da decomposição. As regras de controle coordenam todo o processo do planejador de conteúdo. As regras de seleção de operadores são responsáveis em selecionar um operador adequado para satisfazer uma meta instrutiva selecionada pelas regras de controle. As regras de decomposição são responsáveis em decompor um operador selecionado pelas regras de seleção de operadores em um conjunto de materiais instrucionais.

Estas regras são utilizadas em um algoritmo de planejamento, que será finalizada quando todas as metas e submetas do curso forem satisfeitas e todos os operadores abstratos decompostos. Se existe uma meta a ser tratada, o planejador deve escolher um operador abstrato capaz de tratá-la e então deve inserí-lo no plano e também na pilha de operadores. No caso de não haver metas a serem tratadas, o algoritmo deve selecionar o operador que está no topo da pilha de operadores. Se este operador for primitivo, deve ser enviado ao planejador de apresentação que será responsável por personalizá-lo e armazená-lo na base pedagógica. Entretanto, se o operador for abstrato, o planejador deverá decompô-lo em um conjunto de operadores primitivos e abstratos. O resultado desta decomposição deverá ser concatenada ao plano. Aplicando estas regras, o plane-

jador será capaz de selecionar todas as metas e submetas existentes e utilizar os operadores adequados para mostrá-los ao estudante.

O planejador de apresentação é responsável por personalizar o conteúdo gerado pelo planejador de conteúdo. Para realizar esta tarefa, são utilizadas as preferências do estudante contidas em um modelo do estudante, as informações sobre os objetos de aprendizado, contidas em uma base de conhecimento e também o histórico de atividades. As regras de personalização de conteúdo são divididas em regras de seleção de operadores, regras de seleção de objetos e regras de filtragem de objetos.

3.2 Computação Evolutiva

Um dos subcampos mais recentes da IA é a computação evolutiva, que utiliza vários conceitos conhecidos sobre a Teoria da evolução de Darwin. A Computação evolutiva representa a iniciativa de implementar em computadores as regras do processo evolutivo, como reprodução, variações aleatórias, competição e seleção de indivíduos, para resolver problemas que apresentam como principal característica encontrar soluções aproximadas em problemas de otimização e busca.

As principais técnicas de computação evolutiva são os algoritmos genéticos(AG) e a Programação Genética(PG). AG's e PG's apresentam a mesma estrutura do Algoritmo. No entanto, a principal diferença entre estes são as estruturas para representação dos cromossomos. Assim, enquanto um AG convencional manipula cadeias de cromossomos que codificam soluções de problemas, PG manipula programas de computador que são candidatos à solução de um determinado problema.

3.2.1 Algoritmos Genéticos

Algoritmos Genéticos são métodos computacionais de busca baseados nos mecanismos da evolução natural e na genética, simulando a teoria da seleção natural de Darwin[33]. Estes algoritmos modelam uma solução para um problema específico em uma estrutura de dados como a de um cromossomo, o espaço de busca de um problema é explorado a partir de uma amostragem aleatória de soluções. Estes sofrem operações genéticas, de forma a guiar a busca para regiões mais promissoras desse espaço de soluções.

O ciclo básico de execução de um AG é ilustrado na Figura 3.1. Os AGs manipulam uma população de indivíduos, sendo que cada indivíduo na população representa uma possível solução para um dado problema. A cada indivíduo é associado o valor da função de aptidão. A tarefa do AG é procurar uma solução ótima para o problema ou uma solução que satisfaça um determinado critério de qualidade. A cada iteração do AG uma nova população de indivíduos é criada, usando os princípios Darwianos de reprodução e sobrevivência dos mais aptos, através da aplicação de operações genéticas tais como

recombinação e mutação[16].

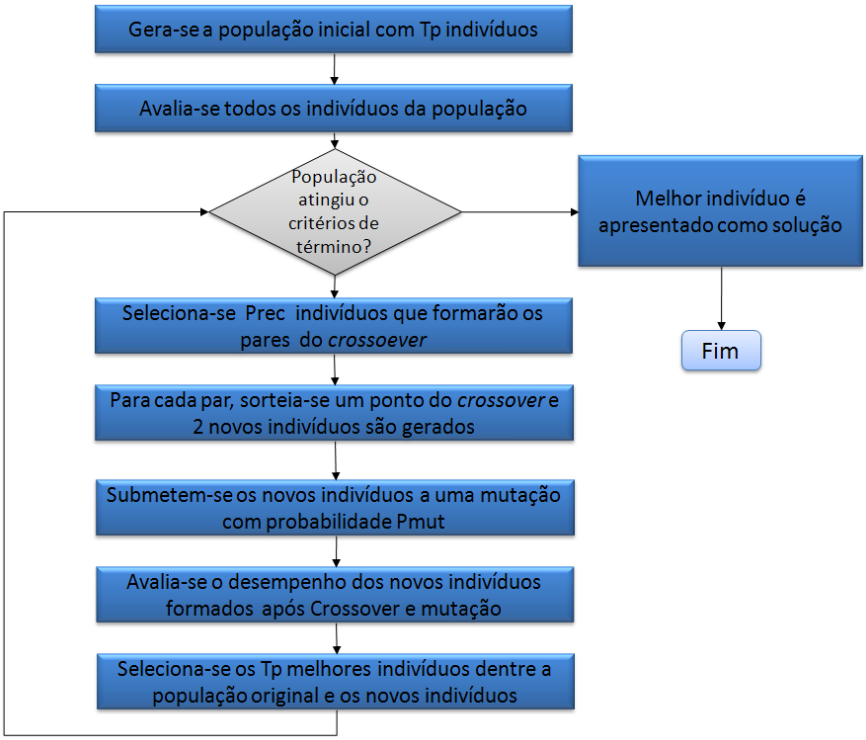


Figura 3.1: Ciclo básico de execução de um AG

Segundo Lecheta[47], os AG's diferenciam, principalmente, dos métodos tradicionais de busca e otimização, porque utilizam:

1. Uma codificação do conjunto de parâmetros e não os próprios parâmetros;
2. Uma população de soluções e não com uma solução única;
3. Informações de custo e recompensa e não derivadas ou outros conhecimentos auxiliares;
4. Regras de transição probabilísticas e não determinísticas;

Conforme pode ser observado na Figura 3.1, há muitas etapas no desenvolvimento de um AG[33].

1. Representação do indivíduo (ou codificação do cromossomo).
2. Definição de uma estratégia para a geração da população inicial.
3. Definição da função de avaliação ou aptidão (*fitness function*).
4. Especificação dos operadores genéticos:
    - Operadores de seleção de indivíduos que serão utilizados na reprodução (pais);

- Operadores de cruzamento;
- Operadores de mutação;
- Operadores de reinserção da população ao final de cada geração.

5. Definição de um critério de parada.

6. Especificação dos parâmetros genéticos:

   - Tamanho da população (Tp);
   - Taxa de cruzamento (Tc);
   - Taxa de mutação (Tm);
   - Número de gerações ($Nger$).
   - Taxa de Reinserção(Tr).

Por exercer o papel de um processo poderoso de busca iterativa e em paralelo, os algoritmos genéticos são adequados para o tratamento de problemas de otimização, caracterizados por uma explosão combinatória de possibilidades.

3.2.2 Representação e Geração da População Inicial

Um indivíduo é normalmente representado por uma cadeia de símbolos, podendo esta cadeia ser estática ou dinâmica.

As cadeias estáticas podem ser representadas por um vetor (ou por um conjunto de vetores), cujos elementos podem ser binários, inteiros ou reais. As cadeias dinâmicas são geralmente representadas por vetores dinâmicos ou árvores. As cadeias dinâmicas podem, ao longo da execução do AG, diminuir ou aumentar de tamanho. O mesmo não ocorre com as cadeias estáticas, onde o tamanho é fixado no início da execução do AG.

Os AGs iniciam a busca da melhor solução, a partir de um conjunto inicial de soluções. Na maioria das aplicações, a geração da população inicial é feita de forma aleatória. Entretanto, em problemas de difícil convergência, a geração da população pode ser feita de forma tendenciosa, utilizando-se algum conhecimento prévio do problema.

3.2.3 Função de Avaliação ou Aptidão

A Aptidão refere-se ao grau de contribuição de uma determinada solução candidata para a convergência do AG na busca da melhor solução dentro do espaço de busca. Para mensurar esta grandeza utiliza-se uma Função de Avaliação ou Aptidão (*Fitness Function*), cujo objetivo é estabelecer uma medida de qualidade para cada indivíduo da população. Por isso, a definição dessa função decorre diretamente da modelagem do problema[2].

A definição da função de avaliação torna-se um fator crítico e um dos pontos mais importantes no projeto dos AGs. Segundo estimativas, o cálculo da função de avaliação consome a maior parte do tempo de processamento de um AG, podendo ser até 95% deste tempo de processamento[57].

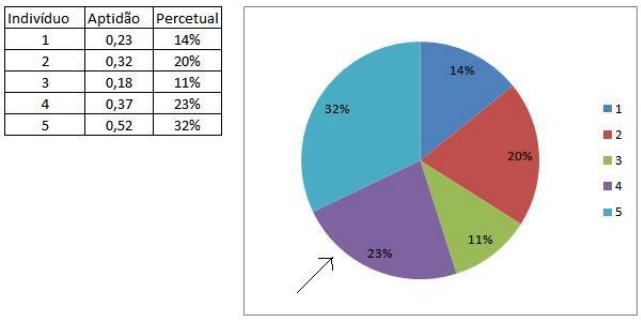
3.2.4 Mecanismos de seleção

Através da seleção, determina-se quais indivíduos conseguirão se reproduzir, gerando um número determinado de descendentes para a próxima geração, com uma probabilidade determinada pelo índice de aptidão.

A maioria dos métodos de seleção de pais são projetados para escolher preferencialmente indivíduos com maiores valores de aptidão, embora não exclusivamente, a fim de manter a diversidade da população. Com base na teoria Darwiniana, foram construídos vários métodos de seleção, dentre os quais citam-se a roleta (*Roulette Wheel Selection*), amostragem estocástica (*Stochastic Universal Sampling*), torneio simples (*Simple Tournament*) e torneio estocástico (*Stochastic Tournament*)[2].

Roleta

No método de seleção por Roleta, que é muito utilizado, indivíduos de uma geração (ou população) são escolhidos para fazer parte da próxima geração, através de um sorteio de roleta. Cada indivíduo da população é representado, na roleta, proporcionalmente ao seu índice de aptidão. Dessa forma, para indivíduos com alta aptidão, é dada uma porção maior da roleta, enquanto aos indivíduos de aptidão mais baixa é dada uma porção relativamente menor. A roleta é girada um determinado número de vezes, independente do tamanho da população. A cada giro da roleta, um indivíduo é apontado pela seta e selecionado. Aqueles indivíduos sorteados na roleta são escolhidos como indivíduos que participarão da próxima geração e são inseridos na população intermediária. A Figura 3.2 ilustra esse método.



Indivíduo	Aptidão	Percetual
1	0,23	14%
2	0,32	20%
3	0,18	11%
4	0,37	23%
5	0,52	32%

Figura 3.2: Método de Seleção por Roleta

O método da roleta tem a desvantagem de possuir uma alta variância, podendo levar a um grande número de cópias de um bom cromossomo, diminuindo a variabilidade da

população. Uma alternativa seria utilizar somente a posição ("*ranking*") de cada indivíduo na população. Mantendo a população ordenada por valores decrescentes da aptidão, a probabilidade de seleção de um indivíduo para a etapa de recombinação cresce com o seu "*ranking*", ou seja, o primeiro do "*ranking*"tem maior probabilidade de seleção [37].

Torneio simples

Outro método é a seleção por Torneio, na qual um número n de indivíduos da população é escolhido aleatoriamente para formar uma sub-população temporária. Desse grupo, o indivíduo selecionado dependerá de uma probabilidade k, definida previamente.

O cromossomo com maior aptidão dentre estes n cromossomos é selecionado para a população intermediária. O processo se repete até que a população intermediária seja preenchida.

Este método é o mais utilizado, pois oferece a vantagem de não exigir que a comparação seja feita entre todos os indivíduos da população. A Tabela 3.1 mostra um exemplo de utilização do método de seleção por torneio.

Tabela 3.1: Grau de aptidão para o Torneio

Indivíduo	f(x)
1	169
2	576
3	64
4	361

Baseado na Tabela 3.1, suponha que sejam sorteados os indivíduos 1 e 2. Nesse caso, quem vence o torneio é o indivíduo 2, pois seu grau de aptidão é o maior. Devido a esse fato, este indivíduo é selecionado para cruzamento. O método possui a grande vantagem da não-geração de super-indivíduos, pois a chance do indivíduo com maior grau de aptidão ser selecionado é a mesma, independentemente de seu grau de aptidão ser alto. No exemplo ilustrado na Tabela 3.1, a chance do indivíduo 2 ser selecionado é 1/4, pois, se for sorteado, independentemente de quem seja seu rival, ele vencerá o torneio. Se o grau de aptidão fosse 3000 ao invés de 576, as chances de seleção continuariam as mesmas, para esse método. Já no método da roleta, ao contrário, o intervalo de seleção irá aumentar muito e por isso a chance do indivíduo ser selecionado também irá ser bem maior.

Amostragem estocástica

O método da Amostragem Universal Estocástica(SUS -*Stochastic Universal Sampling*) pode ser considerado como uma variação do método da roleta, na qual, ao invés de uma única agulha, são colocadas n agulhas igualmente espaçadas, sendo n o número de indivíduos a serem selecionados para a próxima geração, como pode ser visto na Figura

3.3. Dessa forma, a roleta é girada uma única vez, ao invés de n vezes, selecionando assim os indivíduos[2].

Indivíduo	Aptidão	Percetual
1	0,23	14%
2	0,32	20%
3	0,18	11%
4	0,37	23%
5	0,52	32%

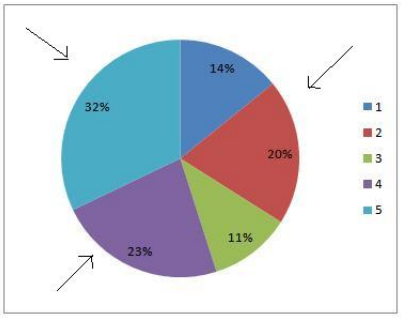


Figura 3.3: Método de Seleção por Amostragem Estocástica

Evidentemente, os indivíduos cujas regiões possuem uma maior área terão maior probabilidade de serem selecionados por várias vezes. Consequentemente, a seleção de indivíduos pode conter várias cópias de um mesmo indivíduo, enquanto outros podem desaparecer.

Torneio Estocástico

No método de seleção torneio estocástico , n indivíduos que irão participar do torneio são selecionados utilizando uma roleta, elaborada da mesma forma que a explicada anteriormente. A esse número n dá-se o nome de *tour*. Para que se possa montar um torneio estocástico com *tour* de tamanho 3 (três), por exemplo, deve-se girar a roleta três vezes, e o vencedor do torneio é aquele indivíduo que tiver a maior aptidão entre os três competidores. Por exemplo, suponha a mesma população de 5 indivíduos cujas avaliações são retratadas na roleta da Figura 3.3. A Figura 3.4 ilustra 2 torneios entre os cinco indivíduos. No primeiro torneio, a roleta foi girada 3 vezes e ocorre a disputa entre os indivíduos 1, 3 e 5. Ao final, tem-se a vitória do indivíduo 5 por possuir maior valor de aptidão. No segundo torneio, concorrem os indivíduos 2, 4 e 3 sendo que o indivíduo 4 é o vencedor.

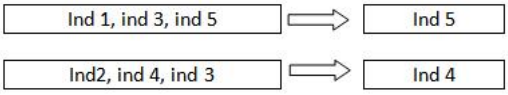


Figura 3.4: Método de Seleção por Torneio Estocástico

3.2.5 Operadores Genéticos

Os operadores genéticos são necessários para que a população se diversifique, mas que também mantenha as boas características de adaptação adquirida em gerações anteriores.

Os principais operadores genéticos são reprodução, cruzamento ou recombinação, mutação e reinserção da população.

Cruzamento

O operador de cruzamento é considerado a característica fundamental dos AGs [33], simulando a reprodução sexuada na natureza. Os indivíduos sorteados pelo método de seleção dos pais são recombinados através do operador genético de cruzamento gerando novas soluções (filhos).

O operador de cruzamento possui diferentes variações, muitas delas específicas a um determinado problema. Alguns exemplos de métodos de cruzamento são: o cruzamento simples, o cruzamento múltiplo e o cruzamento uniforme.

No cruzamento simples, ocorre o sorteio de um único ponto de corte no cromossomo. Dois filhos são gerados, cada um formado com uma parte do material genético de cada progenitor. O primeiro filho repete os genes do cromossomo do primeiro pai até o ponto de cruzamento. A partir deste ponto, repete-se os genes do segundo pai. O segundo filho repete os genes do segundo pai até o ponto de cruzamento e a partir deste ponto, repete os genes do primeiro pai. A Figura 3.5 ilustra como é feita a troca de carga genética em indivíduos binários, através do cruzamento simples.

Figura 3.5: Cruzamento Simples

O cruzamento múltiplo segue a mesma idéia do cruzamento simples. A diferença está no número de pontos de cruzamento sorteados. Enquanto que no cruzamento simples há apenas um ponto, no cruzamento múltiplo há ao menos dois pontos, Figura 3.6.

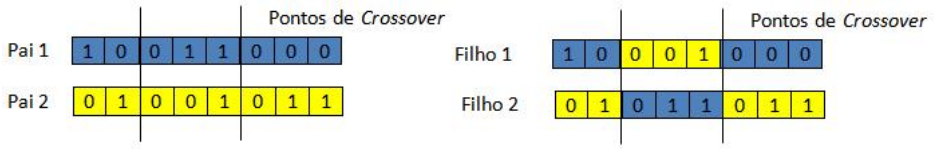


Figura 3.6: Cruzamento Múltiplos

O cruzamento uniforme é um tipo de cruzamento múltiplo levado ao extremo, onde ao invés de serem sorteados pontos de cruzamento, sorteia-se uma máscara. A partir, desta máscara que será realizado o cruzamento, Figura 3.7 apresenta um exemplo de como este processo acontece.

Figura 3.7: Cruzamento Uniforme

Mutação

O operador genético de mutação é aplicado para que seja feita a manutenção da diversidade genética da população, alterando-se arbitrariamente um ou mais genes do cromossomo. A operação de mutação muda aleatoriamente a descendência criada pelo cruzamento.

Este operador é aplicado aos indivíduos com uma probabilidade dada pela taxa de mutação Tm, fornecida como parâmetro de entrada do AG. Esta taxa de mutação pode ser dada por indivíduo ou por gene. Os tipos de mutação são diretamente influenciados pela estrutura do indivíduo.

Os tipos mais comuns de mutações são: mutação binária , mutação real e permutação, representada pelas Figuras 3.8 A, 3.8 B e 3.8 C, respectivamente.

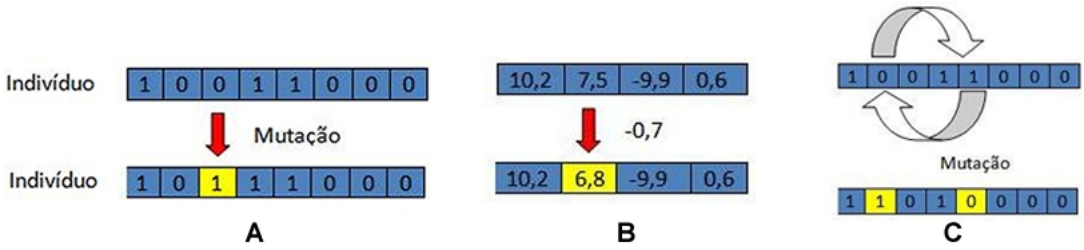


Figura 3.8: Aplicação de Mutação

Reinserção

O operador genético de reinserção é responsável pela seleção dos indivíduos que farão parte da população de pais para a próxima geração. Os principais métodos de reinserção são: reinserção pura, reinserção uniforme, elitismo e melhores pais e filhos.

No método de reinserção pura, ocorre a substituição de toda a população antiga pela nova população gerada (filhos). Na reinserção uniforme, a seleção dos indivíduos é feita utilizando-se algum método de sorteio, como a roleta e o torneio estocástico, aplicado à união da população de pais e filhos. No método melhores pais e filhos, todos os pais e filhos são colocados numa mesma população e os Tr melhores indivíduos são selecionados para a próxima geração. A escolha destes Tr melhores indivíduos é feita exclusivamente baseada nas suas aptidões. O operador de elitismo garante que os Tr (fornecido como parâmetro de entrada do AG) melhores indivíduos encontrados na geração são passados

para a nova população, de forma que as melhores soluções possam sobreviver às sucessivas gerações.

Critério de Parada e Parâmetros Genéticos

Dependendo das características de cada projeto, os critérios de parada adotados podem variar. Os critérios mais adotados são número de gerações, se o AG encontrou ou não a solução ótima (isso se a mesma for conhecida), perda de diversidade das soluções e convergência nas últimas k gerações.

Os parâmetros genéticos influenciam diretamente o comportamento do AG. Devido a este fato, deve-se estabelecê-los conforme as necessidades do problema em questão e recursos disponíveis. Os principais parâmetros genéticos que devem ser ajustados são tamanho da população, taxa de cruzamento, taxa de mutação e o número de gerações.

O tamanho da população afeta diretamente o desempenho global e a eficiência dos AG's. Com uma população pequena o desempenho pode cair, pois deste modo, a população fornece uma pequena cobertura do espaço de busca do problema. Por outro lado, uma grande população fornece uma cobertura representativa do domínio do problema, além de prevenir convergências prematuras para soluções locais ao invés de globais. No entanto, para se trabalhar com grandes populações, são necessários maiores recursos computacionais ou que o AG trabalhe por um período de tempo muito maior.

A taxa de cruzamento representa o número de pais presentes na população atual que serão selecionados para a geração dos indivíduos que irão compor uma nova população. Quanto maior for esta taxa, mais rapidamente novos indivíduos são introduzidos na população, mas também maior é o custo computacional.

A taxa de mutação representa a probabilidade de cada gene do indivíduo ter o seu valor alterado por outro valor válido. A taxa de mutação deve ser o suficiente para assegurar a diversidade dos cromossomos na população. Uma taxa de mutação baixa previne que uma dada população fique estagnada em um valor, além de possibilitar que se chegue a qualquer ponto do espaço de busca. Por outro lado, com uma taxa muito alta, a busca se torna essencialmente aleatória. O número de gerações corresponde ao número de iterações completas que o AG deverá executar. O número de gerações deve ser analisado cuidadosamente para que se tenha um melhor aproveitamento das execuções.

3.2.6 Planejamento Genético

A utilização de AG's no problema de planejamento ocorre tratando o indivíduo como uma lista de tamanho fixo, onde cada gen representa uma ação do plano e o indivíduo como o próprio plano[1].

Os arquivos com as descrições do domínio do problema são lidos no início da execução do AG e uma estrutura de representação é contraída na memória contendo o estado inicial,

as constantes do problema e uma lista com todas as ações que podem ser utilizadas no domínio[47].

O trabalho de Lecheta[47] descreve como utilizar algoritmos genéticos no problema de planejamento. Para tal, o indivíduo é uma lista de tamanho fixo, sendo que cada gen é uma ação presente em um repositório. Cada ação instanciada da lista é representada por um número inteiro, assim, tem-se que o tamanho do indivíduo vai de um até número de ações possíveis.

Lecheta[47], relata que um problema encontrado na configuração de indivíduo de tamanho fixo como um plano é o desconhecimento da quantidade de ações que irá compor a solução. No entanto, para solucionar este problema, ele incluiu na lista de possíveis ações, uma ação nova chamada "NOP", que poderia ser inserida a qualquer instante num plano e não teria efeito algum sobre o estado do mundo. Com a utilização desta ação, pode-se aumentar a quantidade de ações em um plano, sem que as suas características originais fossem alteradas. No entanto, para evitar plano de tamanho variável é definido um valor máximo no tamanho do indivíduo e na quantidade de ações NOP's que este pode conter.

A Figura 3.9, apresenta a representação utilizada para um indivíduo composto de 20 ações. A ordem de execução das ações(genes) é determinada pelo índice de cada gene.

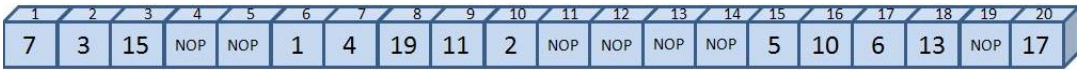


Figura 3.9: Representação de um indivíduo[47]

Para gerar a população inicial, Lecheta selecionava de forma aleatória um valor de um ao número de ações possíveis para o problema. Foi utilizado operador padrão de cruzamento o cruzamento de dois pontos e para o operador de mutação escolheu-se aleatoriamente um valor para o gen selecionado uniformemente.

Lecheta[47], diz que existem algoritmos com resultados melhores que os apresentados por algoritmos genéticos para resolver certo tipos de problemas. Porém, estes algoritmos são ligados fortemente ao problema em questão e não podem ser aplicado em outros problema, diferentemente dos algoritmos genéticos que vem apresentando-se viável na solução de problema em várias áreas. Para o problema de planejamento, Lecheta ressalta que a principal contribuição apresentada foi mostrar a possibilidade de resolver este problema através de Algoritmos Genéticos.

3.3 Tecnologia de *Workflow*

A automatização de processos em empresas e organizações têm sido amplamente desenvolvidos com objetivo de reduzir custos de operação, melhorar controle sobre as operações,

monitoramento do trabalho realizado, etc. A tecnologia de *workflow* surgiu então como uma proposta de solução para este problema.

Na literatura existem inúmeras definições para *workflow*, a de maior consenso é dada pela WfMC(*Workflow Management Coalition*), entidade cujo objetivo é definir padrões para esta área. Assim, de acordo com esta entidade *workflow* é a automação de um processo de negócio, por inteiro ou por partes, durante o qual documentos, informações e atividades são passadas de um participante para outro para que estes desenvolvam ações respeitando um conjunto de regras procedimentais.

De maneira menos formal, *Workflow*, ou fluxo de trabalho, também pode ser definido como qualquer conjunto de atividades executadas de forma coordenada, em série ou em paralelo, por dois ou mais membros de um grupo de trabalho, visando um objetivo comum.

3.3.1 Conceitos Básicos em *Workflow*

Baseado na definição, observa-se que um sistema de *workflow* utiliza vários conceitos, tais como processos de negócio, processo de *workflow*, ator, papel, regras, rotas, atividades, etc. A seguir, são identificados e definidos cada um destes conceitos.

Processo de negócio é um procedimento onde documentos, informações e tarefas, ou seja, um conjunto de atividades a serem realizadas, é passado entre os participantes, de acordo com um conjunto de regras definidas a serem alcançadas e executadas para se atingir um determinado objetivo do negócio.

Processo de *workflow* refere-se a uma descrição formal e executável de um processo de negócio.

Ator, executor ou Agente: também conhecido como recurso, é um ser humano e/ou componente de sistema que é responsável pela realização de uma atividade;

Papel ou Função: Um papel caracteriza um conjunto de atributos e um conjunto de responsabilidades que os atores que o desempenha devem possuir.

Atores devem ser associados a papéis e estes, então, devem ser associados às atividades. Um mesmo ator pode representar vários papéis; um mesmo papel pode ser representado por vários atores.

Atividade: Corresponde a uma etapa, tarefa ou unidade de trabalho executada dentro do processo por um ator. As atividades podem representar ações que interagem com aplicativos externos, com a própria máquina de *workflow*, com máquinas de *workflow* externas e com pessoas.

Rota: Determina quais atividades serão executadas e em qual ordem. As atividades podem ser executadas em paralelo, segundo uma ordenação parcial e/ou sequencial.

Regras: Regras dizem respeito a restrições e diretrizes impostas por um negócio e/ou pela cultura de uma organização. Regras definem quais informações irão transitar pelo fluxo e sob quais condições;

Instância de Processo(Caso) é a execução de um *workflow*. Um *workflow* pode ser instanciado diversas vezes, e podem ser executadas, concorrentemente, várias instâncias do mesmo ou de diferentes *workflows*.

Lista de Trabalho é a lista dos itens de trabalho associado a determinado Ator.

Assim, um Sistema de Gerenciamento de *Workflow*[1] define, cria e gerencia a execução do *workflow* através do uso de *software*, que seja capaz de interpretar a definição de processo, interagir com os participantes do *workflow* e, quando necessário, invocar o uso de ferramentas de Tecnologia da Informação e aplicações.

3.3.2 Modelo de Referência da WfMC

Em 1995, a WfMC[38] propôs um modelo de referência constituído de uma arquitetura genérica de sistema de *workflow*, conforme descrita na Figura 3.10. O objetivo deste modelo é dar suporte a diversas tecnologias, definindo interfaces e protocolos para a comunicação entre as ferramentas existentes, aumentando seu poder de integração com outros sistemas.

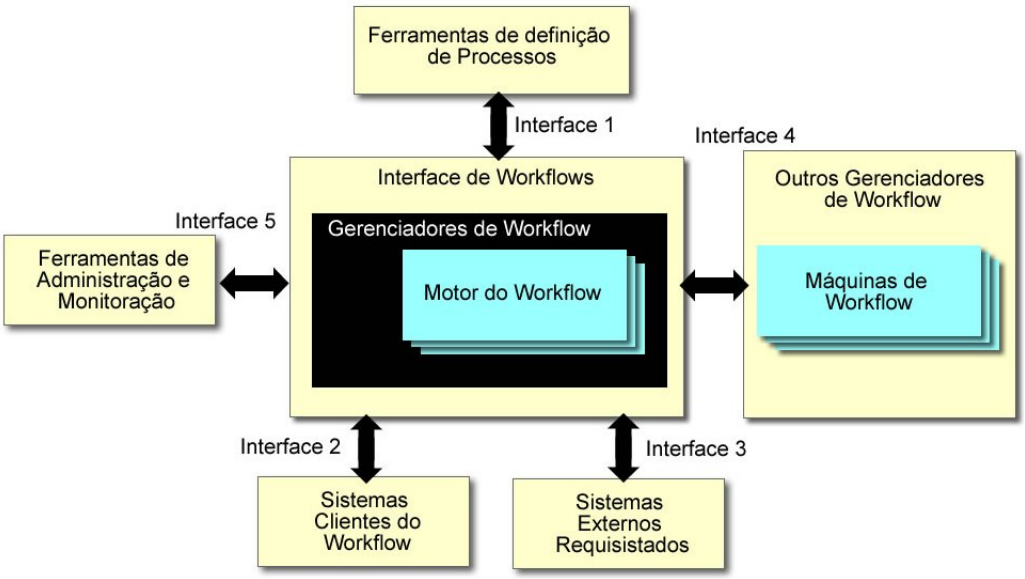


Figura 3.10: Modelo de Referência WfMC

Na Figura 3.10, cada interface interagem com um determinado conjunto de serviços externos ao ambiente. A seguir é apresentado a descrição de cada interface, segundo Araújo[14].

Interface 1 - Descrição do Processo: Permite escolher várias ferramentas de modelagem de processos. Está apoiada em uma interface de importação/exportação de descrição de processos. O ato de definir os processos, deve conter todas as informações necessárias, tais como condições de início e término, atividade, regras, etc.

[1]WfMS - Workflow Management system

Interface 2 - Aplicações Cliente: Permite a construção de um gerente de lista de trabalho comum e prover uma única forma de gerenciamento para diversos sistemas de *workflow*, o que independe do Sistema de Gerenciamento de *Workflow* em uso. Tal fato, possibilita a oferta de serviços de sistemas distintos combinados na mesma interface, como se fosse uma única máquina de *workflow*.

Interface 3 - Integração com Ferramentas e Aplicações Externas: Permite que aplicações ou ferramentas externas sejam utilizadas de forma padronizada, e o desenvolvimento de agentes de aplicações padronizados para interagir com as aplicações.

Sistemas externos requisitados e clientes de *workflow* são aqueles que podem se integrar e comunicar com o motor do *workflow*. A comunicação entre o motor de *workflow* com outras aplicações é de fundamental importância, tornando-o muito mais poderoso. As interfaces que proporcionam esta comunicação têm sido combinadas e convertidas em WAPIS (*workflow API'S*).

Interface 4 - Interoperabilidade entre Máquinas de *Workflow*: Possibilita ao desenvolvimento de aplicação de automação de processos usando diferentes produtos. Permite que aplicações de *workflow* heterogêneas compartilhem dados relevantes ou aplicação em momentos apropriados ao processos.

Interface 5 - Administração e Gerência: Tratam do monitoramento de processos e dos componentes internos do *workflow*.

O motor do *workflow* é o componente mais importante do Sistema de Gerenciamento de *Workflow*, sendo o núcleo da arquitetura responsável pela gerência e controle de todos os componentes existentes, execução da sequência de atividades, ativação de aplicativos externos e criação de instâncias de processos[1]. Na verdade, é basicamente um escalonador, que organiza o trabalho a ser feito e atribui aos diversos recursos disponíveis ao sistema.

Assim, dada uma instância de um processo, o motor de *workflow* busca a definição deste em um repositório. Em seguida, ativa os nós a serem executados, no caso os diretamente ligados aos nós de início. Se forem nós de encaminhamento, avalia as condições presentes e escolhe o caminho que deve ser seguido. Se for um nó de trabalho então, atribui este trabalho à fila de um recurso selecionado. Quando o recurso estiver pronto para processar uma nova atividade, busca na fila esta atividade e a executa, devolvendo o resultado ao motor de *workflow* (colocando na fila do motor de *workflow*).

O trabalho referido anteriormente, pode assumir variadas formas, como enviar uma mensagem, enviar um formulário a ser preenchido por um utilizador, executar um comando numa base de dados. Todavia, para o WfMS estas atividades são todas iguais, não passando de mensagens que podem ser executadas por um determinado recurso. A

maneira como o recurso as trata, é completamente ignorada pelo WfMS. A fila de espera de trabalho de cada recurso não necessariamente é executada de forma FIFO[2], o recurso pode escolher o que quer fazer.

As principais etapas que compõem toda a fase de automação do *workflow* são a modelagem de processos, a execução destes e o acompanhamento ou gerenciamento da execução. Um modelo de *workflow* possibilita a visualização das atividades que devem ser executadas, a ordem de execução e o controle de fluxo. A definição de um Modelo de *workflow* pode ser representada através de um grafo.

Modelo de Processos

A definição de um processo pode ser representada de forma gráfica, como dito anteriormente. Para isto, adota-se um modelo de *workflow* no qual é possível definir vários aspectos de um fluxo de trabalho[71] e para o qual foi desenvolvida uma representação gráfica utilizando símbolos e textos para descrever todos os elementos envolvidos em um *workflow*. Sizilio[66] apresenta esta representação gráfica, onde os símbolos podem ser vistos na Figura 3.11.

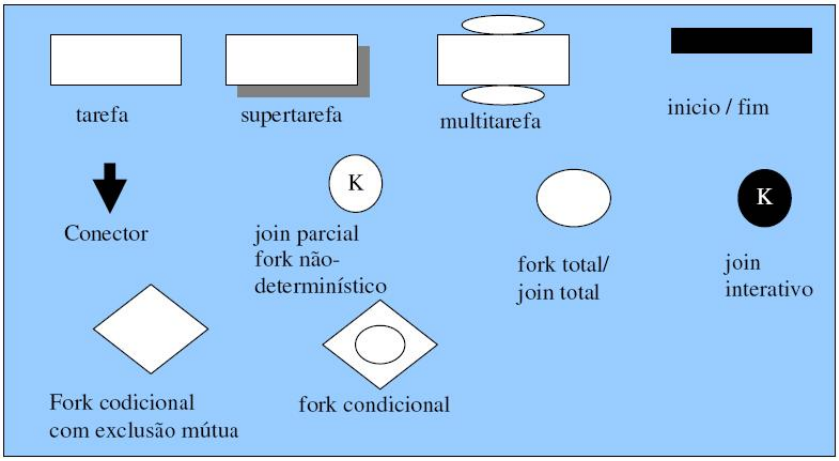


Figura 3.11: Símbolos da representação gráfica de um *workflow*[71]

Os símbolos representam o início e o fim do *workflow*, as tarefas, as conexões que podem existir entre os elementos, a modularização das tarefas, os diferentes tipos de junções(*joins*) e os diferentes tipos de separações(*forks*). As conexões definidas como *forks*, determinam que a tarefa seja seguida por múltiplas tarefas sucessoras. Existem quatro tipos de *forks*[66]:

- Total : todas as atividades que seguem a tarefa são habilitadas com o seu término;
- Não-determinístico: Um número qualquer de atividades é habilitado a prosseguir, mas não todas;

[2]FIFO - *First In First Out*

- Condicional: Apenas será habilitada a prosseguir atividades sucessoras que cumprirem certos requisitos;
- Condicional com exclusão mútua: As atividades sucessoras são avaliadas e somente uma delas é escolhida para prosseguir.

Nas conexões do tipo *join*, uma atividade é precedida por múltiplas tarefas diferente. As conexões do tipo *join* podem ser totais, parciais ou interativas[66]:

- Total: Somente habilita a tarefa sucessora se todas as tarefas predecessoras forem completadas;
- Parcial: Define que a tarefa sucessora pode ser executada assim que certo número de tarefas antecessoras for completadas, não todas;
- Interativo: define que a tarefa sucessora será executada a cada término de um número de tarefas.

Uma supertarefa é a modularização do *workflow*, o qual reúne várias tarefas num só símbolo e uma multitarefa reúne uma série de tarefas que podem ser executadas em paralelo.

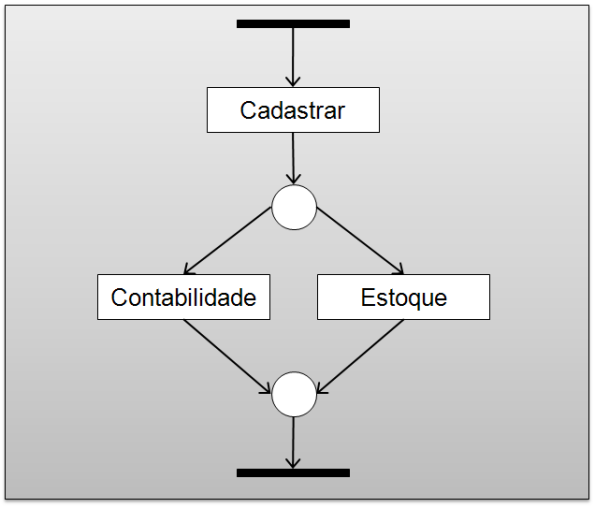


Figura 3.12: Exemplo de *Workflow*[71]

O *workflow* da Figura 3.12 apresenta os procedimentos para o registro de uma venda. A primeira atividade, consiste em cadastrar a venda. Depois, paralelamente são feitos os registros da venda no setor de contabilidade e no controle de estoque. Quando os dois registros finalizarem o processo é encerrado.

As interações com os agentes, sejam eles humanos ou *software*, é parte fundamental em aplicações de *workflow*. Em *workflow* todos os dados são representados através de XML (*Extensible Markup Language*).

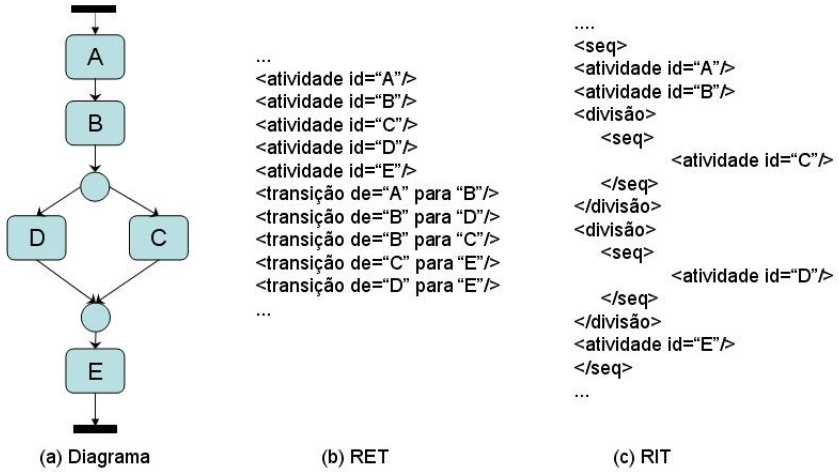


Figura 3.13: Representações das abordagens RET e RIT [1]

A WfMC desenvolveu uma linguagem baseada em XML chamada XPDL(*XML Processing Description language*), com o objetivo de servir como modelo para representação de processo de *workflow* padrão. O XPDL é um arquivo XML, que segue uma estrutura pré-determinada e representa o desenho de um fluxograma modelado a partir da ferramenta de definição de processo. A especificação do XPDL baseia-se na descrição de um conjunto de atividades relacionadas entre si através de transições.

As transições podem ser representadas de duas formas[1]: Explícitas ou Implícitas. Na Representação explícita de transições (RET) existe um elemento XML para denotar a transição de forma explícita, Figura 3.13(b). A Representação Implícita de Transições(RIT), diferentemente da explícita, apresenta uma estrutura que determina como será construído o fluxo de controle do *workflow*, Figura 3.13 (c).

Portanto, como pode-se perceber *workflow* é um conceito intimamente relacionado à reengenharia e automação de negócios e de processos de informação em uma organização. Algumas vantagens do uso de WfMS podem ser destacadas[59]:

- Conhecimento do *status* do processo a cada instante, possibilitando saber quais participantes estão atuando, quais serão os próximos a atuar, e quando, etc.;
- O WfMS coordena a execução das atividades automaticamente com o uso de agendas e trocas de mensagens eletrônicas com os participantes.
- Eficiência melhorada - A automação de muitos processos de negócios resulta na eliminação de muitos passos desnecessários;
- Melhoria do controle de processo - Um melhor gerenciamento de processos de negócios é atingido por meio da padronização dos métodos de trabalho e da disponibilidade de registros para auditoria;

- Flexibilidade - O controle dos processos via *software* permite o re-projeto em linha com as necessidades de mudança no negócio, e
- Melhoria no processo de negócio - O foco nos processos de negócio levam à obtenção de processos mais eficientes e simples.

Porém a geração automática de modelos de processo é uma área ainda a ser explorada. Segundo Alves [1] o problema de *workflow* é difícil devido ao tamanho das instâncias que geram um grande espaço de busca e exigem muito tempo de processamento.

3.3.3 Workflow em EAD

A utilização da tecnologia de *workflow* na educação à distância já vem sendo feita há algum tempo e surgiu devido à necessidade de um maior monitoramento e gerenciamento dos ambientes de educação à distância. Weining[77] e Sadiq[48, 64] apresentam como argumento principal, para utilização desta tecnologia em ambientes de EAD a necessidade de se perceber atividades educativas como parte de todo um processo, que precisa ser gerenciado e monitorado. Baseado nisto e nas características do *workflow* como uma ferramenta para controle de processos, torna-se viável a sua utilização em EAD.

Para Sadiq[48], a utilização da tecnologia de *workflow* proporciona maior flexibilidade e maior efetividade em ambiente de aprendizagem. Kunde[45] argumenta que *workflow* é uma opção de geração de formas alternativas de apresentação de conteúdo e de monitoração do curso, facilitando o acompanhamento dos estudantes pelo professor, que possui uma visão global das atividades. Complementa dizendo que a tecnologia de *workflow* para modelar cursos à distância resolve o problema da coordenação das atividades.

As etapas de modelagem e estruturação do processo descritivo de um curso, envolvendo a especificação das atividades e do conteúdo do material didático, bem como o sequenciamento de conteúdo e os agentes responsáveis pela execução das mesmas podem ser feita utilizando a tecnologia de *workflow*[66].

Como visto anteriormente, um *workflow* é composto de atores, ações e um conjunto de regras que uma vez codificadas definem um processo. No contexto da EAD, os atores são os professores e estudantes, as ações são as atividades instrucionais requeridas no ensino. As regras podem ser relações de ensino/aprendizagem e relações administrativas entre outras.

Observa-se assim que a tecnologia de *workflow* pode ser usada de diferentes maneiras em EAD. Uma possibilidade é definir todo o ambiente como um único *workflow*, tendo assim os relacionamentos entre todos os participantes e todas as atividades. De outra forma, pode-se definir um *workflow* apenas definir atividades de ensino/aprendizagem, onde se considera principalmente o conteúdo do curso.

Um exemplo desta segunda possibilidade é descrito na Figura 3.14, que apresenta como relacionar tópicos de um curso em um *workflow*. Na Figura 3.14 (a) o tópico B pode ser

estudado somente depois do tópico A. Na Figura 3.14 (b) o tópico C pode ser estudado em alternativa ao tópico D. Na Figura 3.14 (c) o tópico E e F devem ser estudados, independente da ordem [13].

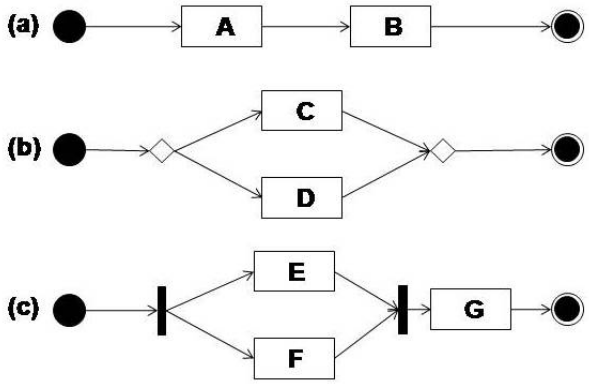


Figura 3.14: Regras [13]

Por outro lado, os trabalhos de Orlowska[48, 64] e Yong[79] mostram o uso da tecnologia de *workflow* para definir, coordenar e gerenciar as atividades presentes em um ambiente de EAD, tais como atividades administrativas e atividades de ensino/aprendizagem.

Ambiente de Aprendizagem Flexível (*Flex-eL*)

O Ambiente de aprendizagem Flexível, chamado de *Flex-eL*, desenvolvido por Orlowska *et al.* [48, 64], apresenta como objetivos a coordenação e o gerenciamento de atividades de ensino e avaliação de cursos entre estudantes e professores, apoiados pela tecnologia de *workflow*.

O *Flex-eL* utiliza a tecnologia de *workflow* como espinha dorsal da arquitetura do sistema, sendo a técnica responsável por gerenciar todas as atividades instrucionais e incorporar outras tecnologias e ferramentas para alcançar um completo ambiente de aprendizagem.

A Figura 3.15 apresenta a arquitetura do *Flex-eL*. A modelagem dos processos é feita utilizando a ferramenta *FlowMake*, que identifica e modela as atividades dos cursos e os papéis. Na definição do curso, são especificados os professores responsáveis pelo gerenciamento do curso, o material de estudo, as tarefas necessárias no curso e as avaliações. Depois de definido o modelo do *workflow*, cada atividade é associada ao material de estudo, então o modelo do *workflow* é alocado no servidor de *workflow*, que foi construído sobre o *Microsoft SQL Server 2000*.

Flex-el utiliza interface *web* para prover acessibilidade e comunicação entre os atores, professores e estudantes, e apresenta ferramentas administrativas que auxiliam os tutores no controle do desenvolvimento do estudante em cada curso. As informações dos estudantes são obtidas no período da matrícula em um curso e armazenadas em um banco de dados. Finalizada a matrícula, é iniciada uma instância do processo de aprendizagem para

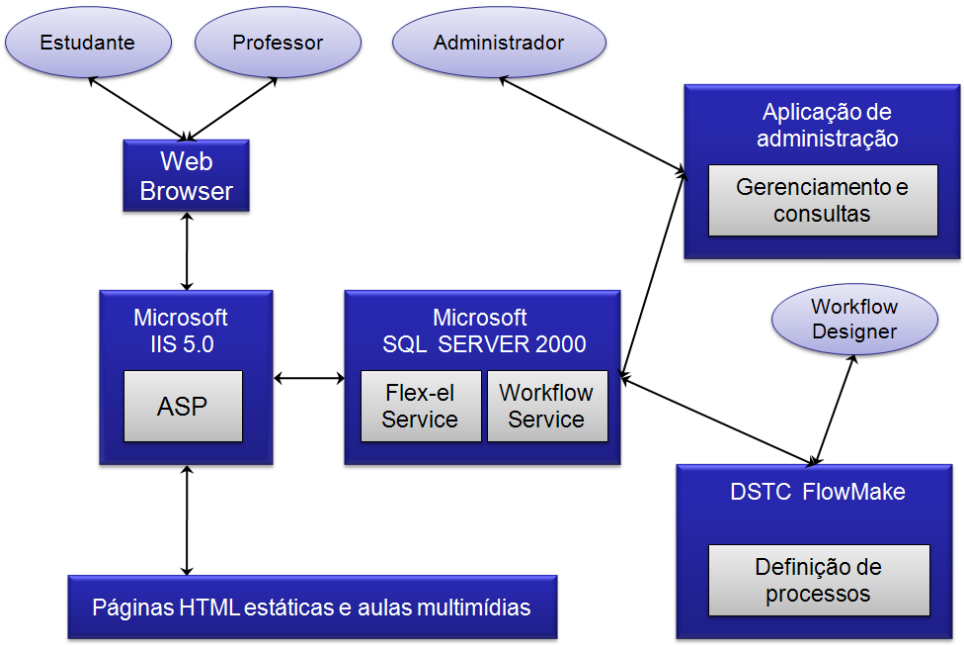


Figura 3.15: Arquitetura do *Flex-eL* [64]

o estudante baseado no modelo do processo. No *Flex-eL*, cada curso pode estar associado a um ou mais modelos de *workflow*, que definem a ordem das atividades do curso. Para finalizar, este ainda permite ao estudante visualizar o seu progresso no curso através da visualização do *workflow*.

Sistema de Aprendizagem apoiado em *Workflow*

O trabalho apresentado por Yong *et al.* [79] fez uso da tecnologia de *workflow* para definir as atividades que devem compor um ambiente de EAD. Para tanto, o ambiente foi dividido em 4 *Subworkflows* para realizar uma análise coerente das atividades de cada um destes *subworkflows*.

- *Subworkflow* de Ensino(T): contém as atividades de ensino tais como planejamento do ensino, preparação do material, distribuição do material, avaliação, envolvimento do estudante e serviços de suporte à aprendizagem;

- *Subworkflow* de Aprendizagem(L): contém as atividades de planejamento do estudo, aceite do material, auto-aprendizagem, tarefa, discussão, avaliação e exames;

- *Subworkflow* Administrativo(A): contém as atividades de suporte ao ensino, suporte a aprendizagem, notificação e publicação de resultados de avaliação, gerenciamento do registro do estudante, matrícula e desligamento do estudante, e outras atividades administrativas;

- *Subworkflow* de Infra-estrutura(I): contém as atividades de construção e planejamento do curso, um sistema de instalação inicial do curso, ferramentas de suporte

ao ensino, aprendizagem e administração, sistema de manutenção e *up-date*, treinamento do usuário e suporte técnico diário.

A análise identificou as principais atividades do sistema: avaliação, suporte e serviços de aprendizagem ao estudante, pertencentes ao *subworkflow* de Ensino; Tarefa, discussão e exame, pertencentes ao *subworkflow* de Aprendizagem; Ferramentas de suporte ao ensino, aprendizagem e administração e suporte técnico diários, pertencentes ao *subworkflow* de Infra-estrutura. Após a identificação dos elementos chaves, estes foram aprimorados em cada um dos seus *subworkflows*. Com isto, segundo os autores, proporcionou uma melhora significativa no funcionamento e desempenho do ambiente.

Para que os quatro *subworkflows* trabalhassem juntos, formando um único *workflow* do ambiente de EAD, foram combinados os *subworkflows* da seguinte forma: T&L,T&A, T&I, L&A, L&I e A&I. Com as combinações foram determinados relacionamentos entre as atividades de cada par.

3.4 Planejamento Instrucional e *Workflow* em EAD

Como apresentado nas seções anteriores, o planejamento instrucional apresenta-se como uma alternativa na geração de plano ou currículos adaptados às características do estudante. Outra possibilidade, é a tecnologia de *workflow*, para acompanhar, coordenar e monitorar atividades de ensino/aprendizagem. Isto torna-se possível, tomando o ensino como um processo que pode ser definido através de um *workflow*, com a especificação clara de todas as atividades a serem executadas, os relacionamentos entre estas e quem deve executá-las.

Diante das semelhanças encontradas entre Planejamento em IA e *workflow*, considerando uma sequência de conteúdo como sendo um plano de ações , torna-se possível associar as duas técnicas para geração de conteúdo personalizado, levando em consideração o perfil e o estilo de aprendizagem do estudante, bem como para a monitoração do ambiente de educação.

Tabela 3.2: Mapeamento entre Planejamento e *workflow* [1]

workflow	Planejamento
Caso	Plano
Atividade	Ação
Recurso	Agente/executor

A Tabela 3.2 apresenta as correspondências entre planejamento e *workflow*. Uma instância de processo sendo executada (caso) é considerada um plano em Planejamento, a execução de uma atividade em *workflow* é vista como uma ação no Planejamento. Um recurso de *workflow* (pessoas, aplicações, máquinas) é visto como um agente executor em Planejamento.

Os trabalhos de Alves[1] e Melo[20] utilizaram as técnicas de planejamento em IA na geração de modelo de processos de *workflow*. Um trabalho que apresenta a utilização destas duas tecnologias no âmbito da EAD é o trabalho desenvolvido por Freitas[18], que utilizou técnicas de planejamento apoiado em IA na fase de modelagem do *workflow*.

O modelo de *workflow*, em Freitas[18], é gerado a partir do *Software SisMap*, um algoritmo de planejamento condicional, pois o foco foi a criação de planos com fluxos condicionais.

SisMap é um *software* que permite a definição de operadores com pré-condições e efeitos que possibilitam encontrar um plano, caso exista. Este atua na fase de concepção de um modelo que representa a estrutura de um curso de EAD. Segundo Freitas[18], *SisMap* foi desenvolvido para atuar em domínio independente, sendo necessário, apenas, a modelagem dos operadores de acordo com cada ambiente. A definição dos operadores é feita através de literais proposicionais. Como resultado da execução do *SisMap*, é exibido um plano gerado através de texto e um arquivo XML para que o motor de *workflow* possa interpretá-lo.

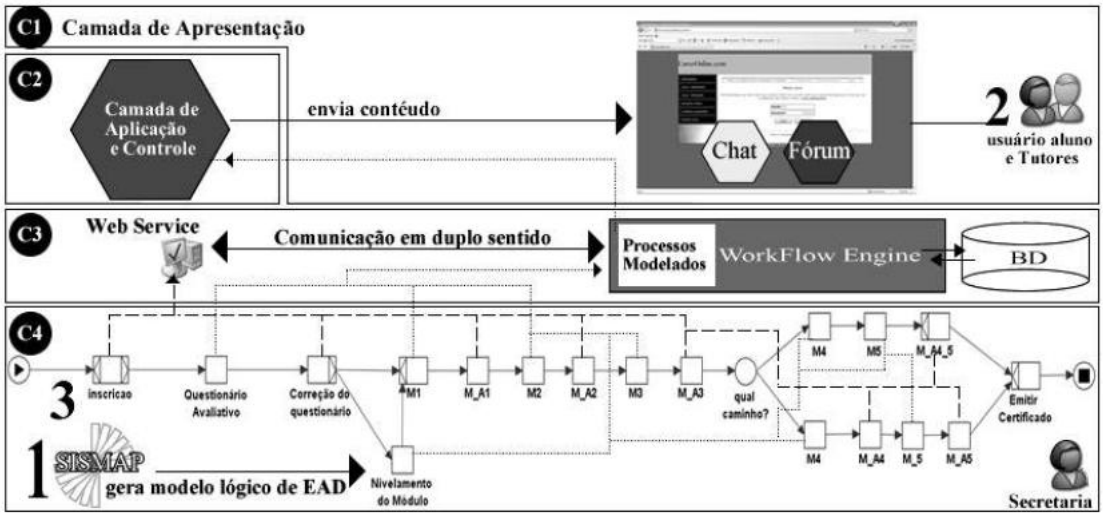


Figura 3.16: Arquitetura do Sistema de EAD proposto por Freitas[18]

Freitas[18] propõe uma arquitetura de EAD utilizando o *SisMap*, descrita na Figura 3.16. A arquitetura é dividida em 4 camadas. A Camada C4 é responsável pela criação do modelo de *workflow* do curso através do *SisMap*. A camada C3 é composta pelo WfMS, que após receber o modelo lógico gerado pelo *SisMap*, controla toda a execução, tendo total acesso aos recursos reservados e banco de dados. A camada C2, de aplicação e controle, é responsável pela definição das regras de negócio, geração de conteúdos e outras informações que auxiliarão no processo de aprendizagem. A camada C1, de Apresentação, é responsável pela comunicação do sistema com os usuários e tutores através de interfaces *Web*, bate-papos e Fórum.

3.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou três recursos que podem ser usados conjuntamente para o desenvolvimento de planejadores instrucionais. A perspectiva desta união é se beneficiar da capacidade de execução e gerenciamento da tecnologia de *workflow*, utilizar o formalismo consolidado das técnicas de planejamento em IA e a capacidade de algoritmos genéticos para tratar grande espaços de busca, como ocorre em problemas de planejamento.

Cada um destes recursos tem suas limitações, o primeiro necessita de um método para modelagem dos processos, que neste caso, será utilizado planejamento genético. Os dois últimos, em geral, consomem grande tempo de processamento. Entretanto, o problema considerado neste trabalho é considerado de difícil e, assim, a maioria das soluções propostas sempre exigem grande tempo de execução.

Capítulo 4

Planejamento Instrucional Adaptativo

Conforme visto nos capítulos anteriores, o planejamento de ações instrucionais supõe a existência de um conjunto de ações instrucionais e um modelo do estudante, além do conteúdo do curso e estratégias para acompanhar e gerenciar o processo de ensino/aprendizagem. Também foi visto nos capítulos anteriores que técnicas de planejamento em IA, tecnologia de *workflow* e algoritmos genéticos podem ser utilizados para o desenvolvimento de um tal planejamento, ou seja, podem ser utilizadas para a construção de um planejador instrucional[1] adaptativo.

Assim, neste capítulo apresenta-se uma proposta de planejador instrucional adaptativo desenvolvido com as características e ferramentas mencionadas acima. Em pesquisas anteriores, como por exemplo Vassileva *et al.*[75] argumenta-se que um tal planejador deve primeiro decidir o que ensinar e depois como ensinar. Assim, o planejador proposto foi dividido em duas etapas. A primeira modela o curso, ou seja, faz o planejamento de conteúdo tendo como resultado a sequência de conteúdo a ser ensinado. A segunda define as ações instrucionais que devem ser utilizadas para cada conceito do conteúdo, ou seja, define a estratégia pedagógica de ensino do conteúdo.

Para o desenvolvimento da primeira etapa, o planejador de conteúdo, foram utilizados um mapa conceitual, do qual se extrai os conceitos do curso, e um planejador de *workflow* baseado em planejamento em IA e algoritmos genéticos e proposto por Alves[1]. O resultado desta etapa é um *workflow* contendo todas as seqüências de conceitos do curso relacionados de acordo com as relações existentes no mapa conceitual. Entretanto, as ações associadas aos conceitos nesta etapa são genéricas, não definindo especificamente como cada conceito deve ser aprendido.

Já, a segunda etapa, planejador de estratégias pedagógicas[2], consistiu em tomar o

[1]É utilizado instrucional no sentido clássico da palavra, que é de instruir, transmitir conhecimentos a, ensina. Mas não somente em uma visão behaviorista, de uma instrução a ser feita, mas no sentido, de uma atividade de ensino/aprendizagem que proporcione ao estudante pensar sobre sua ação e desenvolver nele o aprender a aprender

[2]Estratégia Pedagógica neste trabalho diz respeito a forma de apresentar, desenvolver e conduzir uma atividade de ensino/aprendizagem.

resultado da primeira etapa e determinar para cada conceito a sequência de ações instrucionais mais adequada ao estudante. Sendo assim, foram necessários o modelo do estudante, que entre outras informações contém o estilo de aprendizagem predominante do estudante, e as ações instrucionais conforme a taxionomia de Bloom. Para tanto, novamente utilizou-se um planejador genético, pois o conjunto de ações gera um grande número de combinações. Vale ressaltar que, também um sistema de avaliação proposto em Lopes *et al.*[51] foi utilizado para auxiliar a determinação do nível cognitivo do estudante. Desta forma, é possível acompanhar o estudante através da teoria de níveis cognitivos da taxionomia de Bloom. Entretanto, este não será apresentado pois não é o foco deste trabalho.

A seção 4.1 apresenta o planejador de conteúdo, a modelagem do curso através de mapas conceituais, a conversão de um mapa conceitual para o formato PDDL e a estrutura do planejador de *workflow*, responsável pela geração das sequências de conteúdo. A seção 4.2 descreve o planejador de estratégias pedagógicas e o modelo do estudante. Na seção 4.3, experimentos e testes realizados são descritos e analisados.

4.1 Planejador de Conteúdo

O planejador de conteúdo, Figura 4.1, é composto por uma ferramenta de modelagem de mapas conceituais, um *conversor* que transforma codificação XML da representação do Mapa conceitual para o formato PDDL e o Planejador de *workflow* desenvolvido por Alves[1]. A seguir estas ferramentas são apresentadas, bem como os passos necessários para a criação de um curso.

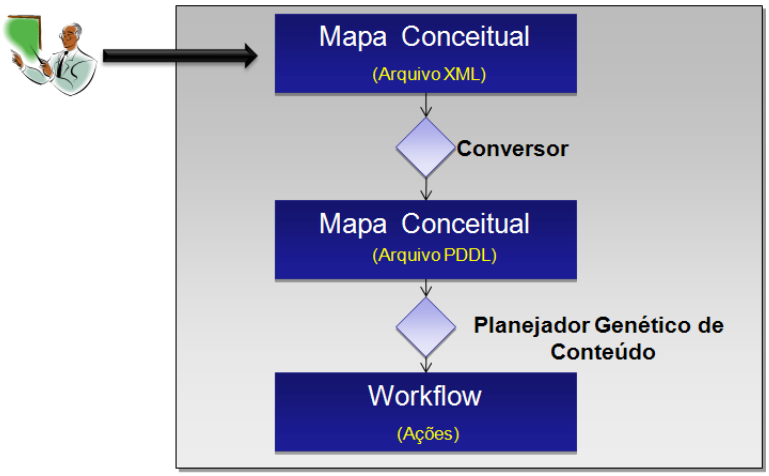


Figura 4.1: Arquitetura do Planejador de Conteúdo

4.1.1 Mapas Conceituais

A construção de um curso supõe o uso de mapas conceituais, que são ferramentas gráficas utilizadas para representar conhecimento, desenvolvida por D. Norvak e tendo como base as teorias da aprendizagem significativa de David P. Ausubel. Segundo Ausubel um indivíduo constrói significado a partir de seu acerto conceitual e de sua predisposição para realizar essa construção[70].

Segundo Novak[56], mapa conceitual é uma ferramenta para organizar e representar conhecimentos. Sendo ele constituído de conceitos, representados por círculos ou caixas, e relacionamentos entre os conceitos, indicado por uma linha de conexão entre dois conceitos. Palavras na linhas, funcionam como palavras de ligação, especificando o tipo de relacionamento[56].

Mapas conceituais podem seguir um modelo hierárquico com conceitos mais inclusivos no topo, conceitos subordinados intermediários e conceitos mais específicos na parte inferior do diagrama[56]. Neste trabalho, os conceitos apresentados em um mapa conceitual são classificados em Conceitos Abrangentes e Sub-conceitos.

- **Conceitos Abrangentes** são definidos como todo conceito que contém um sub-conceito.
- **Sub-conceito** é um conceito que é parte de um conceito abrangente e não contém sub-conceitos.

Em mapas conceituais, não existe um padrão a ser seguido em sua criação ou definição de nomes de conceitos e relacionamentos. Porém, neste trabalho propõe-se o uso de dois tipos de relacionamentos, sendo que o segundo tipo de relacionamento, somente, pode existir entre conceitos e sub-conceitos de um mesmo nível de hierarquia.

1. **TemSubconceito**: para identificar que um conceito é um sub-conceito do conceito fonte;
2. **Requer**: para identificar que um conceito necessita de outro conceito destino para sua compreensão.

A Figura 4.2 mostra, graficamente, o mapa conceitual de um curso de Java, onde *Java* é um conceito abrangente. *Variável, Fluxo, Coleção e Herança* são sub-conceitos. Observa-se nesta figura, que o conceito *Java* requer os conceitos *POO* e *Estrutura*. Os subconceitos *Conceitos básicos, objeto classe, polimorfismo* e *Método* pertencem ao mesmo nível de hierarquia no mapa conceitual. Por isto, podem estar relacionados através do relacionamento**Requer**. O mesmo não ocorre entre os subconceitos *Conceitos básicos* e *Relacionamento*.

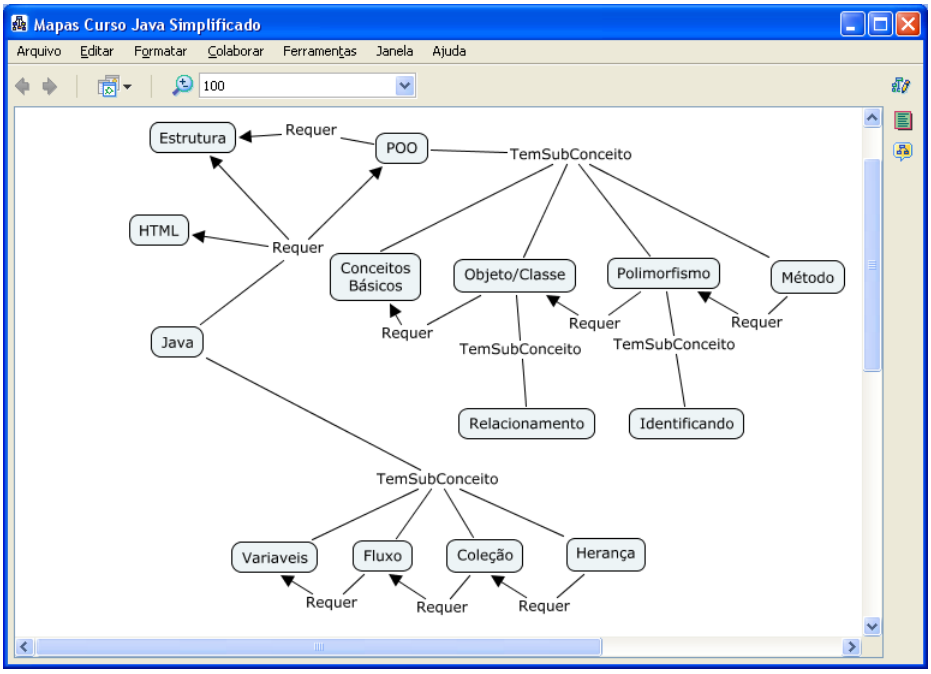


Figura 4.2: Mapa Conceitual de um Curso de Java

Ferramentas gráficas facilitam a visualização de mapas conceituais. Por isso, o mapa conceitual foi gerado utilizando a ferramenta *CmapTools*[3], que também permite exportar a representação gráfica para o formato XML.

O arquivo XML é composto por vários componentes, dentre eles temos: *<concept-list>*, *<linking-phrase-list>* e *<connection-list>*. Por estes serem mais relevantes para o processo de planejamento do *workflow*, serão detalhadamente descritos.

- *<concept-list>*: Contém a lista de todos os conceitos do mapa conceitual. Cada conceito tem um identificador;
- *<linking-phrase-list>*: Contém a lista de todos os relacionamentos presentes no mapa conceitual. Cada relacionamento tem um identificador;
- *<connection-list>*: Contém as conexões entre relacionamentos e conceitos do mapa conceitual.

O arquivo XML, ainda, contém os elementos *<concept-appearance-list>* , *<linking-phrase-appearance-list>* ,*<connection-appearance-list>* , *<style-sheet-list>* e *<extra-graphical-properties-list>*, referentes ao *layout* e à representação gráfica do mapa conceitual, mas que não são utilizados pelo algoritmo conversor.

[3]CmapTools - ferramenta para elaborar esquemas conceituais e representá-los graficamente, ou seja, é um programa que auxilia a desenhar mapas conceituais. Foi desenvolvido pelo *Institute for Human and Machine Cognition* da *University of West Florida*.

4.1.2 Conversor

O Arquivo XML que descreve o mapa conceitual não se encontra no formato que possa ser utilizado em um sistema de planejamento. Diante disto, uma ferramenta de conversão foi desenvolvida. Esta ferramenta recebe o arquivo XML, que descreve o mapa conceitual, analisa as relações existentes entre os conceitos e retorna um arquivo no formato PDDL.

No arquivo PDDL tem-se uma lista de fórmulas atômicas. De forma genérica, os predicados que podem ser encontrados pelo conversor no mapa conceitual são:

- *(Econceito x)*: Determina que x é um conceito;
- *(EsubConceito x)*: Determina que x é um subconceito;
- *(Requer x y)*: O conceito x requer o conceito y para ser aprendido;
- *(TemSubConceito x y)*; O conceito y é sub-conceito do conceito x.
- *(ConceitoAprendido x)*: O conceito x já foi estudado pelo estudante;
- *(SubConceitoAprendido x)*: O sub-conceito x já foi aprendido pelo estudante;

```
(define (problem sequeciamento)
(:domain conceitos)
(:objects 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13)
(:INIT (Econceito 1)(Econceito 2)(Econceito 3)(Econceito 4)
 (ESubConceito 5)(Econceito 6)(ESubConceito 7)(Econceito 8)
 (ESubConceito 9)(ESubConceito 10)(ESubConceito 11)(ESubConceito 12)
 (ESubConceito 13)(ESubConceito 14)(Requer 13 12)(Requer 12 11)
 (Requer 14 13)(TemSubConceito 01 12)(TemSubConceito 01 11)
 (Requer 01 04) (TemSubConceito 01 14)(Requer 01 02) (Requer 01 03)
 (TemSubConceito 01 13)(Requer 10 08)(TemSubConceito 06 07)
 (Requer 06 05)(Requer 08 06)(TemSubConceito 08 09)(TemSubConceito 04 06)
 (Requer 04 03) (TemSubConceito 04 10) (TemSubConceito 04 05)
 (TemSubConceito 04 08))
(:goal (conceitoaprendido 1)))
```

Figura 4.3: Arquivo PDDL

A Figura 4.3 ilustra a definição do cenário para o exemplo de mapa conceitual apresentado na Figura 4.2, onde a identificação dos conceitos apresentados no código PDDL podem ser vistos na Tabela 4.1. Esta definição está representada na linguagem PDDL, onde é definido o nome do problema, o domínio onde será aplicado, o código dos objetos a serem utilizados. Ainda, são descritos todos os conceitos e subconceitos do mapa conceitual, bem como os relacionamentos Requer e temSubConceito.

Além do arquivo PDDL, o sistema de conversão gera um segundo arquivo contendo os operadores que podem ser aplicados ao domínio, na busca por seqüências. Devido ao contexto, estes operadores são denominados ações instrucionais, sendo que cada ação instrucional apresenta pré-condições e efeitos.

Ações instrucionais são tarefas executadas pelo sistema de gerenciamento de *workflow* para que o estudante possa aprender um determinado conceito. Para o problema de

Tabela 4.1: Códigos dos conceitos do mapa conceitual da Figura 4.2

ID	Conceito	ID	Conceito
01	Java	08	Polimorfismo
02	HTML	09	Identificando
03	Estrutura	10	Método
04	POO	11	Variáveis
05	Conceitos Básicos	12	Fluxo
06	Objeto/Classe	13	Coleção
07	Relacionamento	14	Herança

seqüenciamento de conteúdo adaptativo, foram identificados três tipos de ações instrucionais, conforme descrito a seguir.

- *aprender()*: Ação que visa introduzir o conceito, proporcionando os conhecimentos iniciais sobre um dado conceito, para que em seguida possa ser trabalhado sub-conceitos pertencentes a este;
- *aprenderSub()*: Ação que visa finalizar o ensino de um conceito, após ter sido trabalhado sub-conceitos pertencentes a tal conceito;
- *aprenderSubConceito()* : Ação que visa ensinar os sub-conceitos;

As ações instrucionais descritas anteriormente, como já mencionado, apresentam pré-condições e efeitos. As pré-condições são utilizadas para determinar quais requisitos devem ser verdadeiros para a execução da ação. Em conseqüência da execução da ação é obtido um efeito, que fará parte da descrição do domínio a partir daquele instante. As pré-condições e efeitos de cada ação instrucional utilizada nesta etapa do planejador são descritas a seguir:

Ação Aprender(x)

pré-condição: todos os conceitos e subconceitos requeridos por x já foram aprendidos *and* x é um conceito *and* todos os subconceitos de x já foram aprendidos *and* todo conceito que x é requerido ou que x é subconceito já foi introduzido
efeito:introduzido(x);

Ação AprenderSubconceito(x)

pré-condição: O conceito que x é subconceito já foi introduzido *and* todos conceitos e subconceitos que x requer já foi aprendido *and* x é subconceito
efeito: subconceitoaprendido(x)

Ação ConcluirConceito(x)

pré-condição: x é conceito *and* todos subconceitos de x já foram aprendido
efeito: conceitoaprendido(x)

Esta última etapa do planejador de conteúdo é acompanhada pelo planejador genético proposto por Alves[1]. Desde que este tem propósito geral foi utilizado em sua íntegra para transformar o arquivo PDDL em um *workflow* com seqüências de conteúdos.

4.1.3 Planejador Genético de Conteúdo

Alves[1] propôs um planejador genético para geração automática de modelos de *workflow*, que pode ser aplicado a qualquer conjunto de ações, pois foi construído com propósito geral. O algoritmo 4.1 descreve este trabalho.

Algoritmo 4.1: Algoritmo Planejador Genético

Entrada: Conjunto de ações TW
Saída: Representação MW de modelos de workflow válidos

1 $P \leftarrow$ `GeraPopulacaoInicial` (TW);
2 **para todo** *Indivíduo* $i \in P$ **faça**
3 `avaliar` $aptidao(i)$;
4 **repita**
5 **para** $k \leftarrow 1$ **até** $\sharp Pcruzamento$ **faça**
6 Seleção `torneio` (Pais $S_p \in P$);
7 Novos indivíduos filhos $S_f \leftarrow$ `cruzamento` (S_p);
8 Verifica consistência de indivíduos S_f;
9 Avaliar adaptação dos filhos S_f;
10 `adiciona` Indivíduos S_f **a** população intermediária PI;
11 **para** $k \leftarrow 1$ **até** $\sharp Pmutacao$ **faça**
12 `SelecionaAleatoriamente` (Indivíduo $i \in P$);
13 novos Indivíduos $i_m \leftarrow$ `mutacao` (i);
14 verificar consistência do Indivíduo i_m;
15 `adiciona` Indivíduo i_m **a** população intermediária PI;
16 `Reproduz` $\sharp Pelitismo$ melhor indivíduo $i_e \in P$;
17 `adiciona` indivíduo i_e **a** PI;
18 limpa populacao P;
19 $P \leftarrow PI$;
20 **até** *($\sharp nroGeracao$ - atinge o número de gerações)* ;
21 Marca pontos de conflitos nos Indivíduos $i \in PS$;

Como pode ser visto, o algoritmo supõe como entrada um conjunto de ações TW, que contém, além das ações envolvidas no domínio do problema, duas ações genéricas *Begin* e *End* para marcar o início e o fim do processo, ou seja, todos os fluxos do processo iniciam na ação genérica *Begin* e terminam na ação genérica *End*. Assim, dado TW, a população inicial aleatória de indivíduos é gerada e os operadores genéticos são aplicados até um número de gerações. O resultado é uma população de modelos de processos válidos, sendo alguma porcentagem destes consideradas solução ótima para o problema.

Na geração da população deste algoritmo não são realizadas restrições entre as ações que executam o mesmo papel, todas as ações cujas pré-condições da ação de origem são atendidas com os efeitos das ações de destino são consideradas. Ações que executam o mesmo papel (pontos de conflito) indicam que podem existir modelos diferentes para cada uma delas. Estes pontos de conflito são marcados na representação do indivíduo.

A evolução da população é realizada através da aplicação de operadores genéticos, que são aplicados mediante as taxas ($\sharp Pmutao$, $\sharp Pcruzamento$ e $\sharp Pelitismo$). O algoritmo evolui a população até um limite de $\sharp nroGeracao$ gerações.

Representação do Indivíduo

A representação do indivíduo, graficamente apresentada na Figura 4.4 é feita através de uma matriz de n linhas por 3 colunas, onde n corresponde ao número de atividades do conjunto TW. Cada linha da matriz corresponde a um gene G do indivíduo e é representado por uma tripla (E_k, a_k, S_k), onde a_k representa uma ação do processo com $k = 1, ..., n$, E_k representa o conjunto de ações do processo que são entradas para a ação a_k e S_k representa o conjunto de ações do processo que são saídas para a ação a_k.

Os conjuntos de entradas E_k e saídas S_k são formados por conjunções (and) ou disjunções (or) de ações, que são representadas pelas listas ε_k e σ_k. Quando a_k unifica múltiplas ações distintas nas saídas S_k então o conjunto de saída é uma conjunção, ou seja, ocorre paralelismo. Quando a_k unifica múltiplas ações distintas nas saídas S_k, mas somente uma destas ações pode atualmente ser executada, há uma escolha exclusiva (disjunção). Os conjuntos de entrada E_k são analisados de forma similar.

Conjunto E_k	Atividade a_k	Conjunto S_k
E_1,ε_1	a_1	S_1,σ_1
E_2,ε_2	a_2	S_2,σ_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
E_n,ε_n	a_n	S_n,σ_n

Figura 4.4: Representação do Indivíduo

Função de Adaptação

Os indivíduos são avaliados mediante o percentual das unificações alcançadas entre pré-condições e pós-condições das ações presentes no indivíduo, utilizando técnicas de planejamento em IA baseando-se nas regras de produção das ações. Isto é, em cada gene do indivíduo, realiza-se uma análise nas transições das ações do modelo para verificar se as pré-condições da ação de origem são atendidas com os efeitos da ação destino. Também se considera para avaliação as porcentagens de erros e acertos nas transições das entradas e saídas. Assim, a função de adaptação, dada pela Equação 4.1, deverá fornecer um índice

de qualidade para uma possível solução, baseada no número de ações executáveis desta solução, isto é, quanto mais ações executáveis de um plano um indivíduo possuir, maior será a qualidade deste indivíduo, representada por um valor maior de adaptação.

$$f(Ind) = \sum_{i=1}^{G_q} \frac{(\alpha_i + \beta_i + \gamma_i + \varphi_i)}{4} \tag{4.1}$$

onde:

- G_q é o número de genes pertencentes ao indivíduo;
- α_i é o percentual de ações de entrada válidas em relação à quantidade total de entradas;
- β_i é o percentual de ações de saída válidas em relação à quantidade total de saídas;
- γ_i é o percentual de unificação das pré-condições da atividade do gene em relação às unificações das ações de entrada;
- φ_i é o percentual de unificação das pós-condições da ação do gene em relação às unificações das ações de saídas.

Operadores Genéticos

Foram criados operadores de Cruzamento, Mutação e Reprodução na elaboração do algoritmo de planejamento genético.

Cruzamento consiste em realizar a troca de informações entre indivíduos da população. O método de seleção dos indivíduos pais para cruzamento foi baseado em um torneio simples. Após a seleção dos indivíduos pais, seleciona-se aleatoriamente genes nos cromossomos, gerando como indivíduos filhos uma permutação das entradas e saídas.

Mutação tem como objetivo permitir que novas ou diferentes ações possam estar nas entradas e/ou saídas das ações dos genes. Os genes do indivíduo, aleatoriamente selecionado, são agrupados por faixa de adaptação e um sorteio é realizado na faixa com menor valor de adaptação. Em seguida, são retiradas as ações não unificadas nas entradas e saídas do respectivo gene selecionado. Novas ações são inseridas aleatoriamente, a partir de um grupo de ações, sendo que este grupo não contempla ações que já estão nas entradas, nas saídas e que não seja a própria ação do gene.

Reprodução os indivíduos com melhor aptidão são selecionados e introduzidos na nova geração.

Após a aplicação dos operadores de cruzamento e mutação é realizada uma atualização nas entradas e saídas das ações dos genes do indivíduo para manter a estrutura do modelo coerente. Assim, conforme visto acima, basta fornecer a este planejador um conjunto de ações especificadas por pares de pré-condições e pós-condições em formato PDDL e obtém um *workflow*. O resultado da aplicação deste algoritmo ao exemplo da Figura 4.2 pode ser visto na Figura 4.5, onde Ap representa a ação instrucional *Aprender*, AS representa a ação instrucional *AprenderSubConceito* e CC a ação instrucional *ConcluirConceito*.

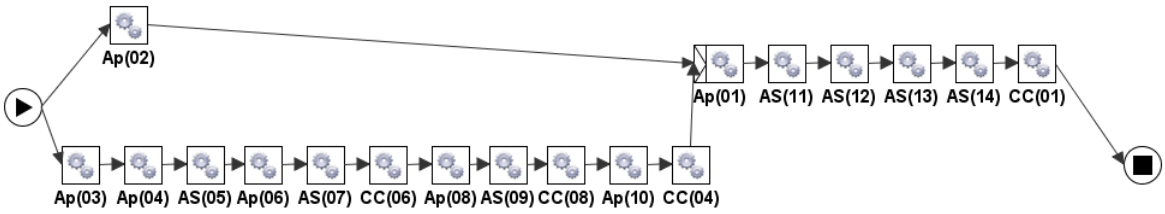


Figura 4.5: *Workflow* Gerado

Na Figura 4.5 as ações **Ap(03)** e **Ap(02)** podem ser executadas em paralelo, ou seja, o estudante pode escolher a que deseja aprender primeiro. No entanto, para poder executar a ação **Ap(01)** é necessário que as ações **Ap(02)** e **CC(04)** tenham sido executadas.

Assim, tendo sido determinado o arquivo PDDL com as ações instrucionais é realizada a geração automática das seqüências de conteúdos(conceitos).

O Planejador de *workflow* recebe o arquivo convertido para o formato PDDL e gera o modelo de *workflow*, que neste caso representa a sequência de conceitos que o estudante deverá seguir durante o curso. O modelo gerado é convertido para formato XPDL, visando sua execução no motor de *workflow*.

A sequência de conteúdo apresentada nesta etapa, isto é, o modelo de *workflow* para um dado curso, será a mesma para todos os estudantes. A adaptação ao perfil de cada estudante, ocorrerá no instante em que for executada as ações instrucionais (Aprender, AprenderSubconceito, ConcluirConceito) no motor de *workflow* para ensinar cada conceito presente neste modelo. Cada conceito será ensinado através de uma sequência de atividades instrucionais, sendo que esta sequência e o formato como esta será apresentada para os estudantes será adaptada ao modelo do estudante, através do Planejador de estratégias pedagógicas.

4.2 Planejador de Estratégias Pedagógicas

Com a sequência de conteúdo de um curso, gerada pelo Planejador Genético de Conteúdo, para cada conteúdo presente neste, é gerado uma sequência de ações instrucionais baseado na Taxionomia de Bloom. A idéia consiste em, dado o conjunto de ações instrucionais o planejador de estratégias pedagógicas encontra uma sequência destas que mais se adapte ao modelo do estudante.

Para realização desta tarefa também foi utilizado planejamento genético. Tal abordagem foi adotada por este problema apresentar um espaço de busca de combinações de ações instrucionais grande. Por esta razão, algoritmos genéticos torna-se um abordagem adequada para este problema.

Nesta seção é apresentado o modelo do estudante e o planejador genético de estratégias pedagógicas.

4.2.1 Modelo do Estudante

O modelo do estudante representa relevantes características do estudante, como preferências, perfil, nível cognitivo e conhecimentos adquiridos. Nesta proposta é utilizado o modelo de superposição (*overlay*), onde cada estudante é representado por um conjunto de atributos que definem suas características.

Os atributos presentes neste modelo são conhecimento e preferências de aprendizagem do estudante. As informações referentes ao conhecimento dizem respeito ao estado cognitivo, isto é, ao que o estudante sabe e em que grau. O grau de aprendizagem é determinado através de Lógica *Fuzzy*, como descrito em Lopes *et al.*[51]. As preferências dizem respeito ao Nível de Interação, Nível de interatividade, Densidade Semântica e estilos de aprendizagem, como pode ser observado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Modelo do estudante com estilos de aprendizagem

Tipos de Preferência					
1 – Nível de interação	1 – Muito baixo	2 - Baixo	3 - Médio	4 - alto	5 – Muito Baixo
2 - Tipo de Interatividade	1 – Ativo	2 - Expositivo	3 - Misto	4 - Desconhecido	
3 - Dificuldade	1- muito facil	2- facil	3 - médio	4 - dificil	5 – muito dificil
3 - Densidade Semântica	1 – Muito baixo	2 - Baixo	3 - Médio	4 - alto	5 – Muito Baixo
Tipo pedagógico					
4 – Verbal	Estes campos armazenam os valores de aceitação para cada um dos tipos pedagógicos. Os valores aceitos variam entre 0 e 100. O valor 0 indica sem preferência e 100 indica preferência total.				
5 – Visual					
6 – Sensorial					
7 – Intuitivo					
8 - Ativo					
9 - Reflexivo					

A determinação do estilo de aprendizagem é realizado após o estudante efetuar o cadastro no ambiente de ensino e responder o ILS. Os valores referente a cada dimensão no estilo de aprendizagem são armazenados no modelo do estudante variando no intervalo entre 0 a 100.

Para que fosse possível armazenar o valor das dimensões do estilo de aprendizagem

variando entre 0 e 100, foi alterado a forma de realizar o cálculo de obtenção do estilo de aprendizagem apresentada na Seção 2.2.2.

O cálculo é realizado da seguinte forma: depois de realizado a soma da quantidade de respostas, representadas por X, em A e B para cada dimensão, ao invés, de subtrair o maior valor pelo menor de cada dimensão, obtendo-se a diferença e a alternativa mais escolhida é calculada a porcentagem de resposta A e B para cada dimensão.

Este novo cálculo pode ser visto na Tabela 4.3 para o exemplo dado na Seção 2.2.2.

Tabela 4.3: Cálculo do estilo de aprendizagem

PROCESSAMENTO			PERCEPÇÃO			ENTRADA			ORGANIZAÇÃO		
Q	A	B	Q	A	B	Q	A	B	Q	A	B
1	X		2		X	3	X		4		X
5	X		6	X		7	X		8	X	
9		X	10	X		11	X		12	X	
13	X		14		X	15	X		16	X	
17	X		18	X		19	X		20	X	
21		X	22		X	23		X	24	X	
25	X		26		X	27	X		28	X	
29		X	30	X		31	X		32	X	
33	X		34		X	35		X	36	X	
37	X		38	X		39		X	40	X	
41	X		42		X	43	X		44	X	
Soma total das colunas											
ATI-REF			SEM-INT			VIS-VER			SEQ-GLO		
A	B		A	B		A	B		A	B	
8	3		5	6		8	3		10	1	
PORCENTAGEM											
73	27		45	55		73	27		91	9	

Portanto, estes valores são armazenados no modelo do estudante e utilizados pelo planejador genético de estratégias de aprendizagem para escolher as ações instrucionais mais adequadas ao estudante.

4.2.2 Planejador Genético de Estratégias Pedagógicas

Conforme visto anteriormente, o planejador genético é, na verdade, um algoritmo genético que evolui uma população inicial de planos, através de operadores genéticos, até que se tenha a convergência para uma população onde seja possível identificar algum plano ótimo. Sendo assim, para definir o planejamento de estratégias pedagógicas de acordo com esta técnica são necessárias a representação dos indivíduos (planos) da população, a descrição da geração da população inicial de planos, as definições dos operadores genéticos e a função de adaptação.

Representação do indivíduo

No caso do planejador de estratégias pedagógicas, cada indivíduo na população é um plano de ações instrucionais, como mostra a Figura 4.6. As ações que formam o plano, ou seja os genes do indivíduo, são aquelas presentes na Tabela 2.1, de acordo com a Teoria

dos objetivos Educacionais de Bloom. Assim, um indivíduo é uma sequência de gens Gen_i, para $i = 1, \ldots, M$, onde M é o tamanho do indivíduo. Cada Gen_i é uma dupla (I_i, D_i), onde I_i é um identificador de uma ação instrucional e D_i, distância euclideana, é um valor que indica o quanto I_i é adequada ou não ao estilo de aprendizagem do estudante.

	Gen_1		Gen_2		Gen_3		...		$Gen_{m'}$	
$Indivíduo_1$	I_1	D_1	I_2	D_3	I_3	D_3	...	...	$I_{m'}$	$D_{m'}$

Figura 4.6: Representação do Indivíduo

Assim, cada I_i, para $i = 1, \ldots, M$, é selecionada aleatoriamente em conjunto de ações instrucionais construído a partir da Tabela 2.1. Após esta seleção, calcula-se D_i. Para tanto, atribuiu-se a cada ação instrucional da Tabela 2.1 um valor no intervalo [0,1] de acordo com cada estilo de aprendizagem, conforme alguns exemplos de ações mostrados na Tabela 4.4. Isto é, esta tabela mostra, através de valores numéricos, o quanto uma ação proposta de acordo com a Taxonomia de Bloom é adequada para cada um dos estilos de aprendizagem de Felder. Ou ainda, relaciona as duas teorias para tentar identificar quais ações instrucionais de quais níveis cognitivos melhor se adequam ao estudante. Assim, além de utilizar valores como as vistas na Tabela 4.4, que foi construída manualmente, utiliza-se também os valores para cada estilo de aprendizagem presente no modelo do estudante que, conforme mencionado anteriormente, são calculados assim que o estudante se matricula no curso.

Desta maneira, D_{id} é calculada de acordo com a Equação 4.2, onde D'_{id} é dada pela Equação 4.3.

Tabela 4.4: Ações instrucionais Ba base de Dados Pedagógicos

ID	Ação	Ativo	Reflexivo	Sensorial	Intuitivo	Processo Cognitivo
01	Escolher	0,1	0,9	0,1	0,9	1
02	Descrever	0,3	0,7	0,2	0,8	1
03	Definir	0,1	0,9	0,2	0,8	1
04	Explicar	0,8	0,2	0,4	0,6	2
04	Exemplificar	0,9	0,1	0,2	0,8	2
05	Aplicar	0,9	0,1	0,2	0,8	3
05	Analisar	0,2	0,8	0,3	0,7	4
06	Avaliar	0,1	0,9	0,2	0,8	5
07	Criar	0,8	0,2	0,6	0,4	6

$$D_{id} = \frac{D'_{id}}{1,6} \tag{4.2}$$

onde D'_{id} é distância euclidiana apresentada pela ação do identificador id. A_e, R_e, S_e, I_e são os valores apresentados pelo estilo de aprendizagem do estudante nos estilos Ativo,

Reflexivo, Sensorial e Intuitivo, respectivamente. De forma semelhante, A_{id}, R_{id}, S_{id}, I_{id} são os valores da ação instrucional id para os mesmos estilos, presente na base de dados pedagógicos.

$$D'_{id} = \sqrt{(A_e - A_{Id})^2 + (R_e - R_{Id})^2 + (S_e - S_{Id})^2 + +(I_e - I_{Id})^2}, \tag{4.3}$$

O valor 1,6 é o maior valor possível encontrado pela Equação 4.3, com isto, para que o valor da distância fique no intervalo $[0, 1]$ é realizada a divisão do por 1,6, como apresentado na Equação 4.2. Por exemplo, aplicando os valores da ação 1 da Tabela 4.4 e tendo como estilo de aprendizagem os dados da Tabela 4.5, obtém-se $D_1 = 0,57$, sendo o cálculo deste valor dado pela Equação 4.4.

$$D'_1 = \frac{\sqrt{(0,4 - 0,1)^2 + (0,6 - 0,9)^2 + (0,9 - 0,1)^2 + +(0,1 - 0,9)^2}}{1,6} \tag{4.4}$$

Tabela 4.5: Exemplo - Estilo de Aprendizagem

Estudante	Ativo	Reflexivo	Sensorial	Intuitivo
Id_1	0,4	0,6	0,9	0,1

Então, para cada estudante é calculada a distância euclidiana para cada ação instrucional, como podem ser vistos na Tabela 4.6, os cálculos para algumas ações do conjunto.

Tabela 4.6: Distancias para as Ações da Tabela 4.4

ID	Atividade	Distância
01	Escolher	0,57
02	Descrever	0,46
03	Definir	0,53
04	Explicar	0,53
04	Exemplificar	0,63
05	Aplicar	0,63
05	Analisar	0,46
06	Avaliar	0,53
07	Criar	0,55

Geração da População Inicial

A geração da população inicial consiste em gerar um certo número de indivíduos conforme a representação descrita acima. Sendo assim, poder-se-ia gerar indiscriminadamente qualquer ação de qualquer nível cognitivo em qualquer quantidade. Entretanto, isto poderia tornar lenta a convergência do algoritmo. Por isso, decidiu-se gerar indivíduos que

tivessem conhecimento do quanto cada nível cognitivo ainda se encontra presente na formação do estudante. Pois, se assim não fosse, o resultado poderia conter ações de um nível que o estudante já superou, ou por outro, não conter ações de um nível que deveriam ser aplicadas ao estudante. Para tanto, utilizou-se então uma função que permitisse traduzir em valores numéricos os níveis cognitivos em que se encontra o estudante e o quanto cada nível ainda é significativo para o seu aprendizado. Assim, a geração consiste em tomar uma certa quantidade de ações de cada nível cognitivo, de acordo com esta função.

Após análise e simulação de algumas funções, observou-se que a função gaussiana, definida na Equação 4.5, seria capaz de descrever esta situação de maneira satisfatória, por isso, utiliza-se esta função.

$$f(x) = Ae^{\frac{-1}{\sigma^2}(x-x_0)^2} \tag{4.5}$$

Na Equação 4.5 A define a altura da curva, como pode ser visto na Figura 4.8.b, x_0 a posição do máximo (centro da gaussiana) e σ^2 a largura, Figura 4.8.a.

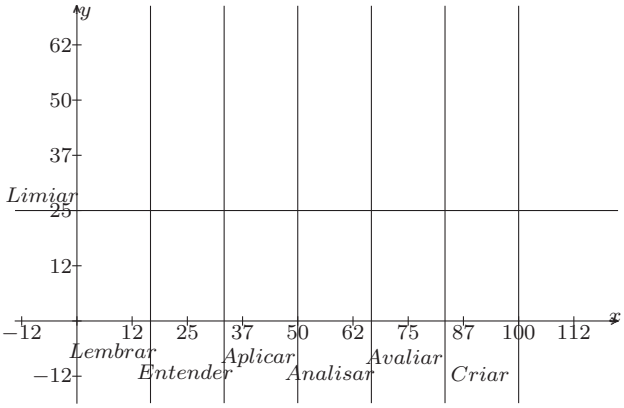


Figura 4.7: Divisão do plano cartesiano em níveis cognitivos.

Note que a altura pode indicar o grau de desenvolvimento do estudante em um certo nível cognitivo e a largura indica os níveis ainda presentes no aprendizado do estudante. Observando a Figura 4.8 sobreposta à Figura 4.7, que representa os níveis cognitivos através do eixo x, é possível verificar este fato. A Figura 4.7 foi obtida através da divisão do intervalo [0,100] por seis, onde cada uma destas seis partes representa um nível cognitivo. A posição de cada nível cognitivo dentro desta divisão é fundamentada na estrutura hierárquica dos níveis cognitivos , onde se inicia com níveis cognitivos ditos mais simples, como por exemplo lembrar e entender, para os mais complexos, como avaliar ou criar.

Nas Figuras 4.7 e 4.9 pode-se observar uma reta paralela ao eixo x relativa ao valor limiar. Este foi adotado para evitar que o estudante permaneça em um nível no qual já esteja apto, ou ainda, que se inicie em um nível para o qual não está apto. Isto foi experimentalmente observado quando se pretende que o estudante avance por todos

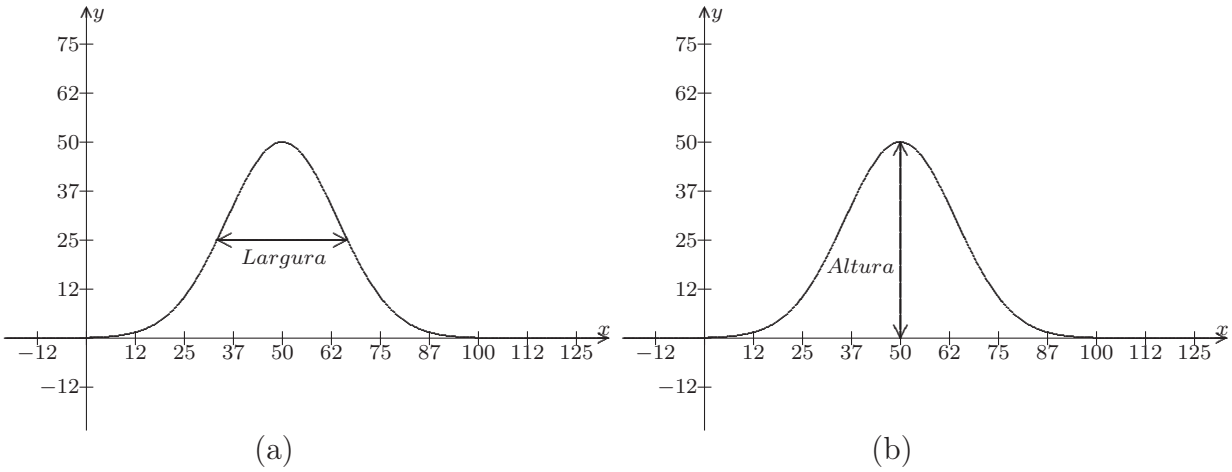


Figura 4.8: Função Gaussiana.

os níveis, já que este é um objetivo da teoria de Bloom. Neste caso, pode ocorrer um avanço muito lento através dos níveis e, desta maneira, o estudante sempre permaneceria em algum nível ou entraria em algum nível indevidamente. Por isso, a permanência ou entrada em um nível é controlada a partir deste limiar. Sendo assim, se a curva ocorre abaixo deste limiar para algum nível, o estudante não deve estar neste nível ou, pelo menos, ter um pequeno número de ações relativas a este nível.

Os parâmetros σ^2 e x_0 para cálculo desta curva para cada estudante foram retirados do sistema de avaliação descrito em Lopes *et al.*[51]. De acordo com este sistema, avalia-se o comportamento do estudante (participação em bate-papo, fórum, tempo em cada seção de aprendizagem e movimentação da barra de rolagem) e também avalia-se o conhecimento do estudante (quantidade de respostas corretas e tempo gasto nos testes). Estas duas avaliações são utilizadas para fornecer o desempenho final do estudante durante sessões de aprendizagem em um ambiente de EAD. Assim, o parâmetro x_0 é dado pelo resultado da avaliação do conhecimento e o parâmetro σ^2 é dado pelo desempenho final do estudante. Portanto, o cálculo da função gaussiana da Equação 4.5, considera $\sigma^2 = (110 - \sharp desempenho)$ e $x_0 = \sharp avaliacao$, resultando na Equação 4.6.

$$f(x) = 50e^{\frac{-0,05}{(110-\sharp desempenho)}(x-\sharp avaliacao)^2}, \tag{4.6}$$

onde a variável $\sharp desempenho$ determina a largura ou abrangência da função e $\sharp avaliacao$ a localização do máximo em relação ao eixo x.

Vale observar que o estudante pode apresentar um bom desempenho, devido a um ótimo comportamento dentro do ambiente, porém com um resultado de avaliação de conhecimento baixo. Por isso, são utilizados os dois valores na função gaussiana. Note também que o desempenho delimita a ênfase que será dada a determinado nível cognitivo,

pois se um estudante obtiver um desempenho baixo, função gaussiana estará mais larga e com isto abrangendo uma maior quantidade de níveis cognitivos , caso contrário, o número de níveis cognitivos será menor.

O valor do desempenho é subtraído de 110, pois se o valor do desempenho, da forma como é obtido, fosse utilizado diretamente sem a subtração, faria com que um estudante que obtivesse um bom desempenho, por exemplo $\sharp desempenho$=100, apresentaria uma função gaussiana abrangendo vários níveis cognitivos. Sendo que, na realidade deveria estar focado em um determinado nível cognitivo. De forma contrária, ocorreria com um estudante que obtivesse um desempenho baixo, por exemplo $\sharp desempenho$=10. A função gaussiana deste estaria focada em um determinado nível cognitivo, onde na realidade deveria abranger uma quantidade maior níveis cognitivos. Portanto, com a subtração do desempenho de 110 este problema é resolvido. Todavia, todas as vezes que for empregado o valor de desempenho, faz referência ao valor calculado e armazenado no modelo do estudante.

Por exemplo, suponha um estudante com $\sharp desempenho = 40$ e $\sharp avaliacao = 45$. Aplicando estes valores à Equação 4.6, tem-se a Equação 4.7, representada graficamente na Figura 4.9, cuja representação diz que ao estudante deverão ser apresentadas ações instrucionais dos níveis *Lembrar*, *Entender*, *Aplicar*, *Analisar* e *Avaliar*, pois para estes a função apresentou valores acima do limiar.

$$f(x) = 50e^{\frac{-0,05}{110-40}(x-45)^2} \tag{4.7}$$

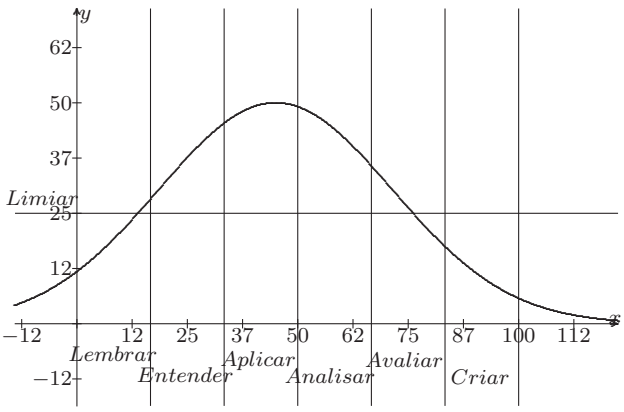


Figura 4.9: Aplicação da Função Gaussiana 4.7.

Por exemplo, seja o intervalo [16.66 , 33.33] que representa o nível cognitivo *entender* o ponto médio é apresentado na Equação 4.8.

$$PontoMedio = \frac{(16.66 + 33.33)}{2} \tag{4.8}$$

Logo, aplicado o ponto médio à Equação 4.7 tem-se altura do ponto médio referente ao nível cognitivo *entender*, $altura_{entender}$ = 37,56, conforme cálculo dado pela Equação 4.9.

$$altura_{entender} = 50e^{\frac{-0,05}{110-40}(PontoMedio-45)^2} \tag{4.9}$$

Portanto, para cada nível cognitivo é calculada a altura do ponto médio, desde que o valor apresentado seja maior que o limiar. No caso do nível cognitivo *lembrar* não é utilizado todo o seu intervalo [0 , 16.66] para calcular o ponto, mas terá como ponto inicial o valor no qual a função fica acima do limiar, neste caso o valor 13.85.

Para o exemplo da Equação 4.7, obtem-se a Tabela 4.7 com a altura do ponto médio para cada nível cognitivo, exceto para o nível *criar*, que terá valor igual a zero, pois a função gaussiana em seu intervalo está abaixo do limiar, conseqüentemente, a realização de ações instrucionais deste nível cognitivo será bem baixa ou nula.

Tabela 4.7: Alturas dos Níveis Cognitivos

Processo Cognitivo	intervalo	Ponto Médio	Altura
Lembrar	[13.85 , 16.66]	15.25	26.57
Entender	[16.67 , 33.33]	25.00	37.57
Aplicar	[33.34 , 49.99]	41.67	49.60
Analisar	[50.00 , 66.66]	58.33	44.04
Avaliar	[66.67 , 76.15]	71.41	30.38
Criar	0	0	0

Assim, o algoritmo 4.2 apresenta a geração da população inicial, que consiste em calcular em quais níveis cognitivos da taxionomia de Bloom, o estudante se encontra e a partir disto selecionar, de forma aleatória, ações instrucionais pertencentes a tais níveis cognitivos, de acordo com a altura do ponto médio de cada nível. Um conjunto R de atividades instrucionais, representado através de um vetor, é passado como parâmetro de entrada para o Algoritmo 4.2.

A linha 2 retorna o percentual de participação de nível cognitivo do indivíduo. Das linhas 3 a 10 do algoritmo 4.2 é realizado um laço de repetição, executado até o valor $\sharp tamPop$ (tamanho da população), que é responsável por gerar cada indivíduo da população. A cada iteração, na linha 4, é sorteado um valor aleatório entre o intervalo [1 , $\sharp qtTotalAtividades$], onde $\sharp qtTotalAtividades$ é uma variável que armazena a quantidade total de atividades instrucionais existente no repositório. O valor sorteado determina o tamanho do indivíduo, com isto, os indivíduos da população poderão ter tamanhos diferentes, ou seja, quantidade de atividades instrucionais diferentes.

Determinado o tamanho do indivíduo, selecionam-se ações para cada um dos gens do

Algoritmo 4.2: GeraPopulacaoInicial

Entrada: R : Conjunto de atividades Instrucionais, desempenho e avaliacao
Saída: P: População Inicial

1 **para** $cont \leftarrow 1$ **até** $qtNivelCognitivo$ **faça**
2 $\quad CurvaGaussiana[cont] \leftarrow$ `gaussiana` ($desempenho$, $avaliacao$);

3 **para** $k \leftarrow 1$ **até** $tamPop$ **faça**
4 $\quad tamanho_Individuo \leftarrow$ `random` ($qtTotalAtividades$);
5 $\quad$ **para** $l \leftarrow 1$ **até** $tamanho_Individuo$ **faça**
6 $\quad\quad Nivel_Cognitivo \leftarrow$ `selecaoRoleta` (CurvaGaussiana[]);
7 $\quad\quad atividade_Selecionada \leftarrow$ `sorteiaAtividade` ($Nivel_Cognitivo$, R);
8 $\quad\quad$ `adicionaAtividadeIndividuo` (R[],$atividade_selecionada$, P);
9 $\quad\quad$ `RetiraAtividade` ($atividade_Selecionada$, R[]);
10 $\quad P[k][1]$.insereQtAtividade $\leftarrow tamanho_Individuo$;

indivíduo, conforme as linhas 5 a 9 do algoritmo. Na linha 6 é sorteado através do método da Roleta, tomando como base os valores existente no vetor $\sharp CurvaGaussiana[]$. Com o nível cognitivo sorteado, na linha 7 sorteia-se uma atividade instrucional pertencente a tal processo. Na linha 8, a atividade instrucional selecionada é inserida no indivíduo, seguindo a ordem dos níveis cognitivos. A linha 9 retira do conjunto R a atividade instrucional selecionada, para que esta não seja sorteada novamente e com isto evitando a repetição da mesma.

A linha 10 armazena o tamanho do indivíduo, pois como dito anteriormente, os indivíduos poderão ter tamanhos variados.

Função de Adaptação

A avaliação de cada indivíduo na população essencialmente considera as ações instrucionais presentes neste e adequação destas ao modelo do estudante. Então, para cada indivíduo *Ind*, calcula-se a soma das distâncias euclideana, D(k), entre cada ação k, para $k = 1, \ldots, tam_{Ind}$, e o modelo do estudante, conforme descrito em seção anterior. Obtém-se assim, $D_{total}(Ind) = \sum_{k}^{tam_{Ind}} D(k)$. A função de adaptação, *F(Ind)* é dada pela Equação 4.10

$$F(Ind) = \frac{D_{total}(Ind)}{tam_{Ind}} + p(Ind) \tag{4.10}$$

onde e *p(Ind)* é um valor de penalidade atribuída ao indivíduo, cujos percentuais de ações instrucionais em cada nível não estejam de acordo com o modelo do estudante. Note que, embora os indivíduos tenham sido inicialmente gerados considerando-se os percentuais adequados, após a aplicação dos operadores genéticos, estes valores são alterados. Sendo

assim, um valor de penalidade é atribuído ao indivíduo que não se adequa a estes percentuais. Então, para cada indivíduo *Ind* na população calcula-se também este percentual, dado por $PNC_{Ind}(j)$, para $j = 1, \ldots, 6$. Para isso, observa-se a quantidade de ações em cada nível cognitivo em relação ao número total de ações no indivíduo.

Tabela 4.8: Porcentagem ideal de cada nível cognitivo para o estudante.

Processo Cognitivo	Altura	Porcentagem
Lembrar	26.57	14 %
Entender	37.57	20 %
Aplicar	49.60	26 %
Analisar	44.04	23 %
Avaliar	30.38	16 %
Criar	0	0 %
Somatório	188.18	100%

Estes valores são comparados aos percentuais ideais, $PNC_{ideal}(j)$, para $j = 1, \ldots, 6$, calculados através das alturas dos pontos médios de cada nível cognitivo. Dadas as alturas dos níveis cognitivos (Conforme Tabela 4.7 da seção anterior), determina-se o percentual ideal de ações de cada nível, apenas somando-se estas alturas e verificando a porcentagem de cada altura em relação a este somatório. A Tabela 4.8 apresenta estes percentuais para o exemplo da Tabela 4.7. Na verdade, os percentuais ideais refletem a quantidade de ações que deveriam estar presente em cada nível cognitivo do estudante. Assim, *p(Ind)* é dada pela seguinte Equação.

$$p(Ind) = \begin{cases} \frac{1}{6}, \text{ se } PNC_{Ind}(j) < PNC_{ideal}(j) - 5, \text{para} j = 1, \ldots, 6 \\ \frac{1}{6}, \text{ se } PNC_{Ind}(j) > PNC_{ideal}(j) + 5, \text{para} j = 1, \ldots, 6 \\ 0, \text{caso contrário} \end{cases}$$

Se a porcentagem de atividades instrucionais contidas no indivíduo para um dado nível cognitivo for maior ou menor que 5 pontos percentuais para mais ou para menos ao valor ideal para o mesmo nível cognitivo então a variável *penalidade* recebe $\frac{1}{6}$ de penalidade. Foi determinado $\frac{1}{6}$ por existir 6 níveis cognitivos, onde para cada nível cognitivo poderá ser aplicada penalidade de $\frac{1}{6}$. Portanto, existindo uma grande divergência entre as porcentagens do indivíduo e do valor ideal em todos os processos, o indivíduo recebe a penalidade máxima, aumentando o valor da função de adaptação.

Operadores Genéticos

A evolução da população é realizada através da aplicação de operadores genéticos de Cruzamento, Mutação e Reprodução(Elitismo).

Operador de Cruzamento

Algoritmo 4.3: avaliarPopulacao

Entrada: P : População Inicial
Saída: A : vetor com a aptidão de cada indivíduo

1 **para** $cont \leftarrow 1$ **até** $qtNivelCognitivo$ **faça**
2 $\quad PorcentagemPCGaussiana[cont] \leftarrow$ `FuncaoGaussiana` $(cont)$;

3 **para** $k \leftarrow 1$ **até** $tamPop$ **faça**
4 $\quad$ **para** $cont \leftarrow 1$ **até** $qtNivelCognitivo$ **faça**
5 $\quad\quad porcentagemPC_Individuo[cont] \leftarrow$ `porcentagemAtividadeByPC` (P[k], $cont$);
6 $\quad$ **para** $l \leftarrow 1$ **até** $P[k][1].pegaQtAtividade$ **faça**
7 $\quad\quad apt = apt +$ P[k][l].distanciaPerfil;
8 $\quad penalidade \leftarrow 0$;
9 $\quad$ **para** $cont \leftarrow 1$ **até** $qtNivelCognitivo$ **faça**
10 $\quad\quad$ **se** $((porcentagemPC_Individuo[cont] < PorcentagemPCGaussiana[cont] - 5)\ OR\ (porcentagemPC_Individuo[cont] > PorcentagemPCGaussiana[cont] + 5))$ **então**
11 $\quad\quad\quad penalidade \leftarrow penalidade + \frac{1}{6}$;
12 $\quad$ A[k] $\leftarrow \frac{apt}{P[k][1].pegaQtAtividade} + 1 * penalidade$;

O operador de Cruzamento realiza a troca entre parte das ações instrucionais de indivíduos pais previamente selecionados, gerando novos indivíduos filhos para a próxima geração.

O processo de seleção de indivíduos para cruzamento é realizado através de Torneio simples que consiste em selecionar o indivíduo *Ind* com maior valor de função de adaptação entre três indivíduos aleatoriamente selecionados.

Assim, após a seleção dos indivíduos pais (pai_1 e pai_2) o ponto de cruzamento do pai_1 será aleatoriamente selecionado entre os gens G_k, $1 \leq$ k $\leq tamPai_1$, onde $tamPai_1$ é tamanho do indivíduo pai_1. A partir deste ponto e do nível cognitivo a que pertence, é selecionado, aleatoriamente um ponto de cruzamento do mesmo nível cognitivo do pai_2.

Como dito anteriormente, os indivíduos podem ter tamanhos diferentes. Assim, a partir da seleção de pontos de cruzamento distintos nos pais, os indivíduos filhos resultantes também poderão ter tamanhos diferentes. Então, para determinar o tamanho dos indivíduos filhos, é verificado o tamanho dos pais e dado os pontos de cruzamento, é calculado o tamanho de cada filho.

Considere, por exemplo, os indivíduos pais (pai_1 e pai_2), da Figura 4.10, onde o pai_1 contém 21 atividades instrucionais(genes) e o pai_2 contém 15 atividades instrucionais. Considere a seleção do gene 7 do pai_1, que pertence ao nível cognitivo *Entender*. Logo, o gene selecionado do pai_2 também deverá pertencer ao mesmo nível cognitivo. Sele-

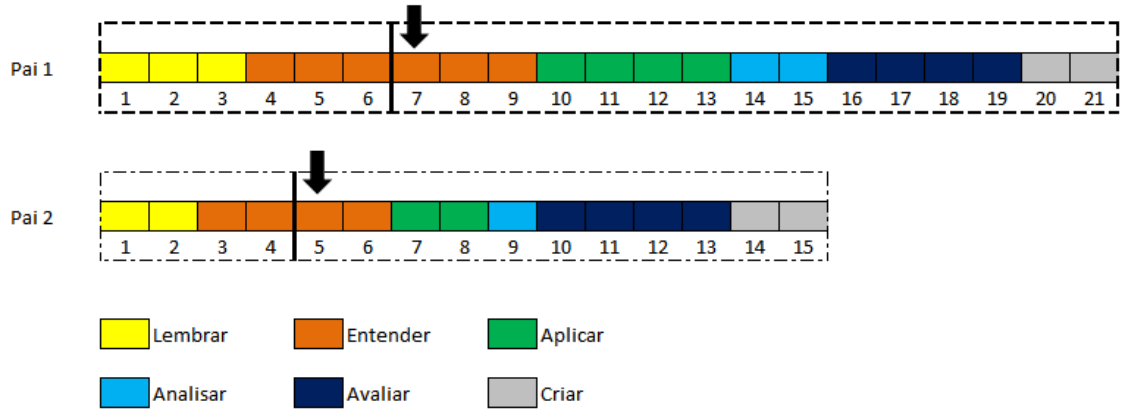


Figura 4.10: Indivíduos pais selecionados

cionado, aleatoriamente dentre os genes do pai_2 pertencentes ao nível cognitivo *Entender*, é escolhida a atividade 5.

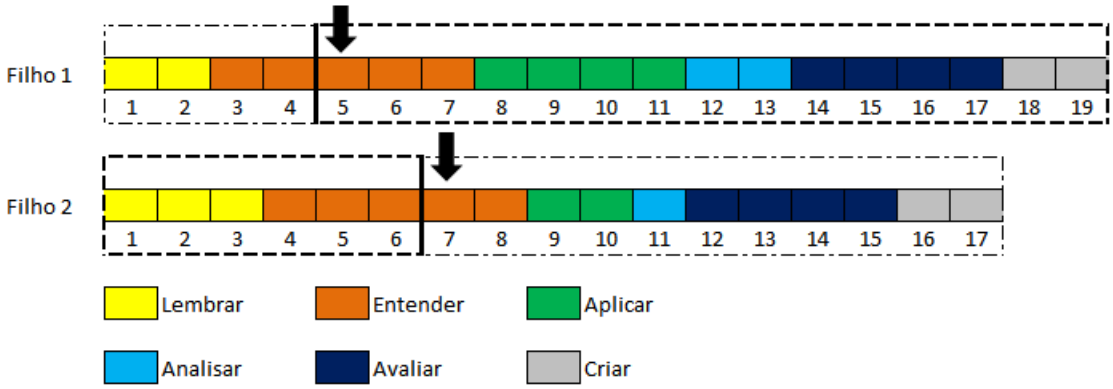


Figura 4.11: Indivíduos Filhos resultantes

Determinados os pontos de cruzamento é realizado o cruzamento entre os indivíduos pais, entre as linhas 14 a 25, têm-se como resultado os indivíduos $filho_1$ e $filho_2$, Figura 4.11, um com 19 e outro com 17 atividades instrucionais, respectivamente. Estes valores são armazenados em um campo no primeiro gene dos indivíduos filhos. A descrição deste procedimento pode ser visto no Algoritmo 4.4.

Operador de Mutação

O operador de Mutação troca uma ação instrucional. Para tanto, seleciona-se aleatoriamente um indivíduo *ind* e um gene G_k, $1 \leq k \leq n$, é selecionado aleatoriamente em *ind* onde n é o tamanho de *ind*. Determinado o indivíduo e o gene, este é substituído por uma a ação instrucional do mesmo nível cognitivo, gerando um novo indivíduo filho para a próxima geração da população. O operador de mutação é apresentado no algoritmo 4.5.

Operador de Elitismo

Com o objetivo de fazer com que o melhor indivíduo da população, isto é, a melhor solução para o problema, consiga-se propagar seus genes durante a evolução, foi utilizado

Algoritmo 4.4: Crusamento

Entrada: P: População
Saída: População inicial mais filhos

1 **para** $cont \leftarrow 1$ **até** $taxa_cruzamento$ * $tamanho_populacao$ **faça**
2 $pai_1 \leftarrow$ `selecaoTorneio` (P);
3 $pai_2 \leftarrow$ `selecaoTorneio` (P);
4 $tamPai_1 \leftarrow P[pai_1][1]$**.pega_tamanho()**;
5 $tamPai_2 \leftarrow P[pai_2][1]$**.pega_tamanho()**;
6 $pontoPai_1 \leftarrow$ (`Sorteia` ($tamPai_1$));
7 $pontoPai_2 \leftarrow$ (`Sorteia` (`Atividades_PC` ($P[pai_1][pontoPai_1]$**.pega_pc**)));
8 $tamFilho_1 \leftarrow pontoPai_1 + (tamPai_2 - pontoPai_2)$;
9 $tamFilho_2 \leftarrow pontoPai_2 + (tamPai_1 - pontoPai_1)$;
10 **para** $contFilho \leftarrow 1$ **até** $tamFilho_1$ **faça**
11 **se** $(contFilho < pontoPai_1)$ **então**
12 $P[tampPop + cont][contFilho] \leftarrow P[pai_1][contFilho]$;
13 **senão se** $(contFilho \geq pontoPai_1)$ **então**
14 $P[tampPop + cont][contFilho] \leftarrow P[pai_2][pontoPai_2 + i_2]$;
15 `Incrementar` (i_2);
16 **para** $contFilho \leftarrow 1$ **até** $tamFilho_2$ **faça**
17 **se** $(contFilho < pontoPai_2)$ **então**
18 $P[tampPop + cont + 1][contFilho] \leftarrow P[pai_2][contFilho]$;
19 **senão se** $(contFilho \geq pontoPai_2)$ **então**
20 $P[tampPop + cont + 1][contFilho] \leftarrow P[pai_1][pontoPai_1 + i_1]$;
21 `Incrementar` (i_1);
22 $P[tampPop + cont][1]$.insere_tamanho_individuo($tamFilho_1$);
23 $P[tampPop + cont + 1][1]$.insere_tamanho_individuo($tamFilho_2$);

Algoritmo 4.5: Mutacao

Entrada: P: População
Saída: População inicial mais filhos

1 **para** $cont \leftarrow 1$ **até** $taxa_mutacao$ **faça**
2 $individuo_selecionado \leftarrow$ `Sorteia`($tamPop$);
3 $tamInd \leftarrow P[individuo_selecionado][1]$;
4 $atividade_selecionada \leftarrow$ `Sorteia`($tamInd$);
5 `Troca_Atividade` (P[][],$individuo_selecionado$,$atividade_selecionada$);

o método de reinserção conhecido por elitismo. No processo de elitismo o melhor indivíduo é repetido a uma certa porcentagem da população corrente na próxima população. Esta porcentagem é dada pela $\sharp Taxa_Elitismo$. Porém, para evitar que a evolução da população tenha uma convergência muita rápida ou tendenciosa para um valor que não seja a melhor solução esta taxa não pode ser muito alta.

O algoritmo 4.6 implementa o Planejador Genético de Estratégias Pedagógicas, isto é, o algoritmo que busca uma sequência de atividades instrucionais adequadas às características do estudante baseado em seu modelo. Para isto, é dado o conjunto R composto das atividades instrucionais, armazenadas na Base de Dados Pedagógicos. Para todas as atividades instrucionais é calculada à distância euclidiana que esta apresenta do modelo do estudante. Baseado em R, gera-se a população inicial P, composta de indivíduos que representam possíveis soluções para o problema. Após a geração da população inicial é realizada a avaliação e a ordenação crescente desta população, buscando trazer para a primeira posição da população o indivíduo que apresente a sequência de atividades instrucionais que mais se adapta ao modelo do estudante.

Algoritmo 4.6: AGSequenciador

Entrada: R: Conjunto de atividades Instrucionais

Saída: Sequência de atividades instrucionais

1 $P \leftarrow$ `GeraPopulacaoInicial` (R);
2 Aptidao $\leftarrow$ `avaliarPopulacao` (P, $\sharp tamPop$);
3 `ordenarPopulacao` (P, $tamPop$);
4 **repita**
5   **se** *(Aptidao(P[1]) == 0.0 OR numero_geracao == contGeracao)* **então**
6   **retorna** *Ind[1]*;
7   `crossover` (P, $tamPop$, $taxa_crossover$);
8     $tamPop \leftarrow tamPop + tamPop * taxa_crossover$;
9   `mutacao` (P, $tamPop$, $taxa_mutacao$);
10   Aptidao $\leftarrow$ `avaliarPopulacao` (P, $tamPop$);
11   `ordenarPopulacao` (P, $tamPop$);
12   `elitismo` (P, $tamPop$);
13 **até** *(contGeracao* $\leq$ *taxa_geracao)* ;

O algoritmo evolui a população inicial, ou seja, repete este processo, até o valor limite definido na variável *taxa_geracao* ou até que a aptidão do primeiro indivíduo seja igual a zero. Zero de aptidão significa que a distância entre a sequência encontrada e o modelo do estudante é nula, conseqüentemente, é a sequência ideal ao modelo do estudante. A evolução da população é realizada através da aplicação de operadores genéticos. Os operadores genéticos são aplicados mediante a definição de taxas, sendo elas *taxa_cruzamento*, *taxa_mutacao* e *taxa_elitismo*.

4.3 Experimentos e Resultados

Nesta seção, é descrito o uso dos planejadores das seções 4.2 e 4.1, constituindo pois de um estudo de caso. Os exemplos propostos não visam ser completos, de modo a atender todas as possibilidades que podem existir no contexto do caso exposto. Mas sim, ilustrar a utilização da proposta para planejamento instrucional baseado no modelo do estudante.

4.3.1 Estudo de Caso

O processo de criação de um curso é realizado em duas etapas :

- **Primeira Etapa**: Modelagem do curso utilizando Mapas Conceituais e, em seguida, é gerado o *Workflow* utilizando o Planejador de Genético de Conteúdo.
- **Segunda Etapa**: Planejador Genético de Estratégias Pedagógicas baseado no modelo do estudante.

Estudo de Caso - Modelagem do *Workflow*

O Curso deste exemplo, também, é um curso de Java, porém com mais conceitos. A Figura 4.12, apresenta a modelagem do Curso de Java feita na ferramenta *CmapTools*. Cada conceito recebe um código identificador como pode ser visto na Tabela 4.9. Neste exemplo, os conceitos *Java* e *POO* têm identificadores 15 e 25, respectivamente.

Tabela 4.9: Conceitos e identificadores

id	Conceito	id	Conceito
1	Aritméticos	16	Lógicos
2	Atributos	17	Método mais
3	Classes abstratas	18	Métodos
4	Comentários	19	Métodos abstratos
5	Condicionais	20	Métodos Estáticos
6	Construtores	21	Objetos/Classe
7	Controle de Fluxo	22	Operadores
8	Encapsulamento	23	Pacote
9	Execução e retorno	24	Polimorfismo
10	Garbage Collector	25	POO
11	Herança	26	Relacionais
12	Incremento/ Decremento	27	String
13	Instalação/ Configuração	28	Tipos de dados
14	Invocação	29	Variáveis e Constantes
15	Java	30	Vetores/Coleções

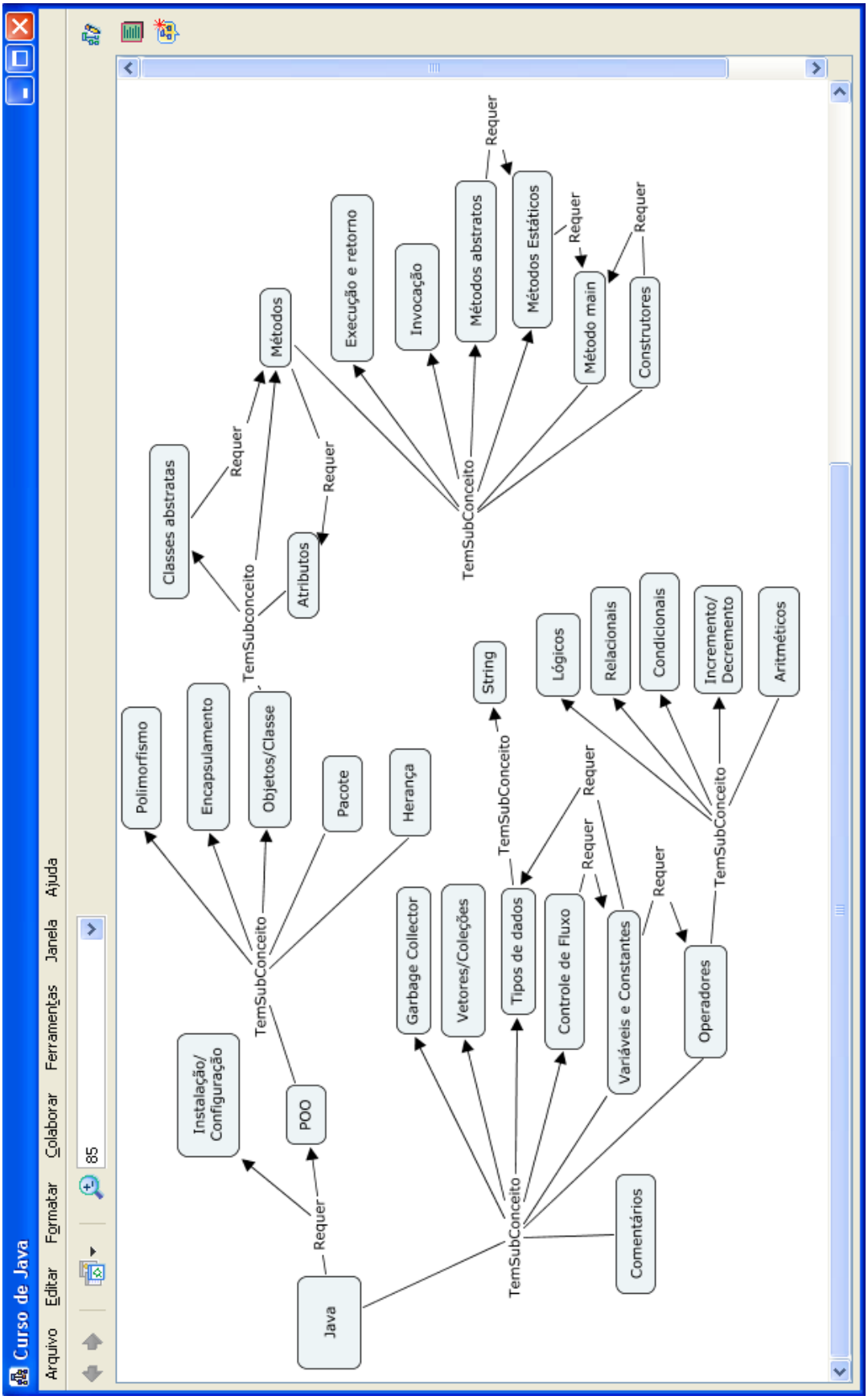


Figura 4.12: *Screenshot* do Mapa Conceitual de um Curso de Java feito no *CmapTools*

```
  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <cmap xmlns:dcterms="http://purl.org/dc/terms/" xmlns="http://cmap.ihmc.us/xml/cmap/"
    xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/" xmlns:vcard="http://www.w3.org/2001/vcard-rdf/3.0#">
  + <res-meta>
  - <map width="1536" height="675">
    - <concept-list>
        ...
        <concept id="15" label="Java" />
        <concept id="25" label="POO" />
        ...
      </concept-list>
    - <linking-phrase-list>
        ...
        <linking-phrase id="LPL_1" label="Requer" />
        ...
      </linking-phrase-list>
    - <connection-list>
        ...
        <connection id="CL_1" from-id="15" to-id="LPL_1" />
        <connection id="CL_2" from-id="LPL_1" to-id="25" />
        ...
      </connection-list>
    + <concept-appearance-list>
    + <linking-phrase-appearance-list>
    + <connection-appearance-list>
    + <style-sheet-list>
    + <extra-graphical-properties-list>
    </map>
  </cmap>
```

Figura 4.13: Amostra do arquivo XML gerado

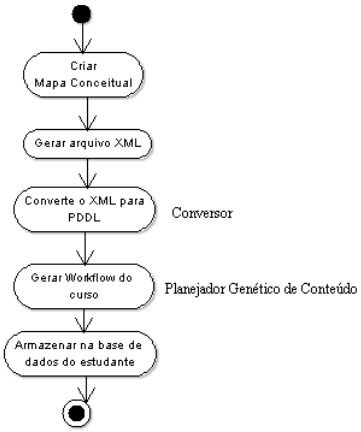


Figura 4.14: Diagrama de Atividades

A Figura 4.14 apresenta o fluxo sequencial das atividades desde a modelagem até a geração do *workflow* de conteúdo.

No primeiro momento, o mapa conceitual do curso de Java é criado e armazenado no formato XML. A Figura 4.13, apresenta uma amostra da organização do arquivo XML, que será enviado ao Conversor. Assim, como os conceitos, cada relacionamento tem o seu identificador e nome. No exemplo da Figura 4.13, é apresentado o relacionamento Requer com número de identificação LPL_1. Desta maneira, pode-se observar o relacionamento "*Java* requer *POO*".

O arquivo XML com a descrição do Mapa Conceitual do Curso de Java, então, é enviado ao *Conversor*. O algoritmo de conversão, converte o arquivo XML para o formato PDDL. A Figura 4.15, apresenta a descrição do domínio em PDDL, gerado pelo *conversor*.

```
(define(problem sequenciamento)
(:domain java)
(:objects 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30)
(:INIT  (ESubConceito 01) (ESubConceito 02)(ESubConceito 03)(ESubConceito 04)
(ESubConceito 05)(ESubConceito 06) (ESubConceito 07) (ESubConceito 08)
(ESubConceito 09) (ESubConceito 10) (ESubConceito 11)(ESubConceito 12)
(Econceito 13)(ESubConceito 14) (Econceito 15) (ESubConceito 16)
(ESubConceito 17) (Econceito 18) (ESubConceito 19) (ESubConceito 20)
(Econceito 21) (Econceito 22) (ESubConceito 23) (ESubConceito 24)
(Econceito 25) (ESubConceito 26) (ESubConceito 27) (Econceito 28)
(ESubConceito 29) (ESubConceito 30) (TemSubConceito 22 01) (Requer 15 25)
(Requer 06 17) (Requer 19 20) (TemSubConceito 15 10) (TemSubConceito 18 09)
(TemSubConceito 18 14) ( Requer 18 02) (TemSubConceito 15 28) (TemSubConceito 15 04)
(TemSubconceito 21 02) (Requer 07 29) (Requer 20 17) (TemSubConceito 15 22)
(TemSubconceito 21 03) (TemSubConceito 22 26) (TemSubConceito 15 07)
(TemSubConceito 25 23) (TemSubConceito 22 05) (TemSubConceito 22 12)
(TemSubConceito 18 19) (TemSubconceito 21 18) (Requer 03 18) (TemSubConceito 25 08)
(TemSubConceito 15 29) (TemSubConceito 28 27) (Requer 29 28) (TemSubConceito 15 30)
(TemSubConceito 25 21) (TemSubConceito 18 06) (TemSubConceito 18 20)
(TemSubConceito 22 16) (Requer 29 22) (Requer 15 13) (TemSubConceito 25 24)
(TemSubConceito 18 17) (TemSubConceito 25 11))
(:goal (conceitoaprendido 15))
```

Figura 4.15: Descrição do domínio em PDDL gerado pelo conversor

Um processo realizado pelo algoritmo conversor é identificar os conceitos abrangentes e sub-conceitos. Os elementos responsáveis por representá-los são *Econceito* e *ESub-Conceito*. Além da representação dos conceitos abrangentes e subconceitos, o *Conversor* determina todas as relações existentes entre conceito/conceito, conceito/subconceito e subconceito/subconceito utilizando as relações *Requer* e *TemSubConceito*.

Após a geração do arquivo PDDL, que representa o domínio do curso, este é enviado para o planejador genético de conteúdo, que gera o *Workflow* do curso de Java, isto é, o fluxo de conceitos a ser executado para que se alcance o objetivo, que neste caso é aprender Java. A Figura 4.16 apresenta de forma gráfica o processo de *Workflow* que define a sequência de conceitos a ser seguida. Nesta figura, AC(x) representa a ação *aprenderconceito(x)*, CC(x) representa a ação *concluirconceito(x)* e AS(x) representa *aprenderSubConceito(x)*.

A Figura 4.17(a) representa o controle de fluxo seqüencial, isto é, a atividade B somente será executada depois da atividade A. A Figura 4.17(b) representa o controle de fluxo do tipo *Join* total onde somente habilita a atividade sucessora, neste exemplo a atividade C, se todas as atividades predecessoras, atividades A e B, forem completadas. Para finalizar, A Figura 4.17(c) representa o controle de fluxo de tipo *Fork* total, onde todas as atividades que seguem a atividade C são habilitadas com o seu término, no exemplo as atividades D e E;

Portanto, no *Workflow* da Figura 4.16, o estudante pode escolher aprender o conceito POO(25) ou o sub-conceito Instalação/configuração(13). No entanto, para poder

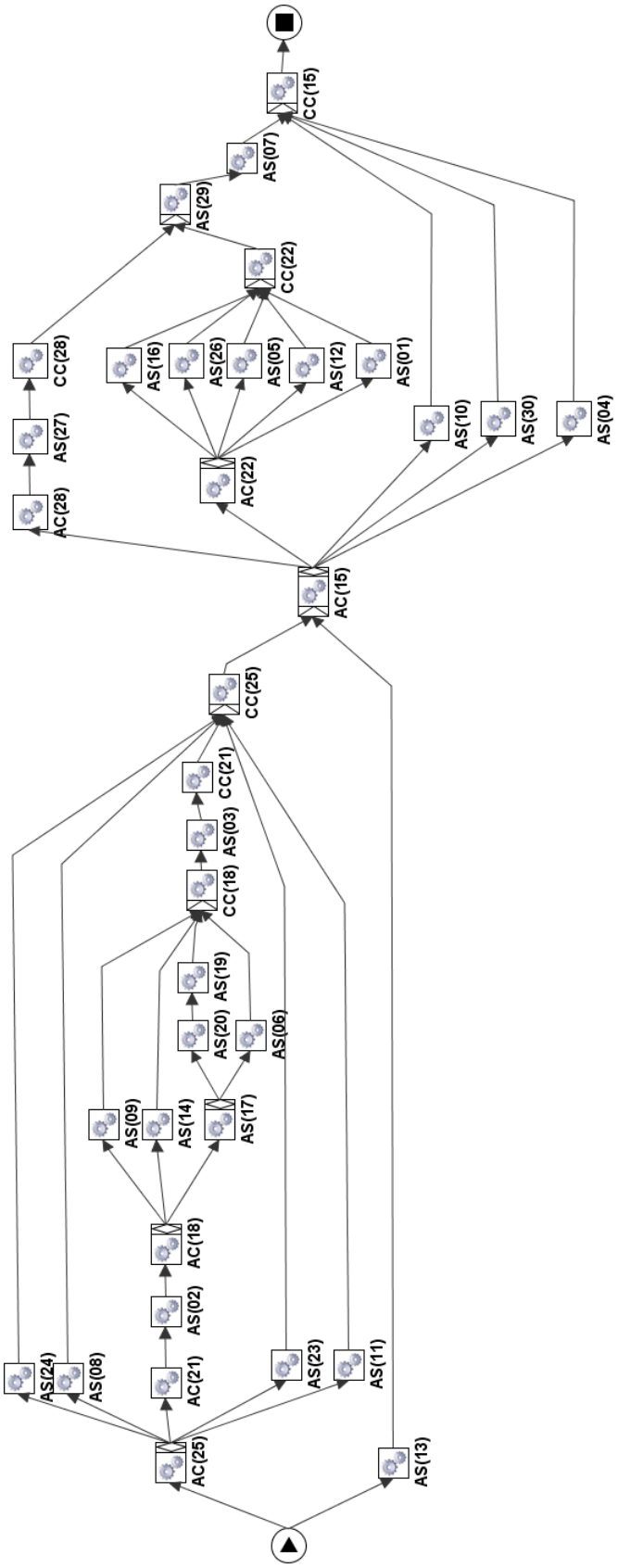


Figura 4.16: *Workflow* gerado

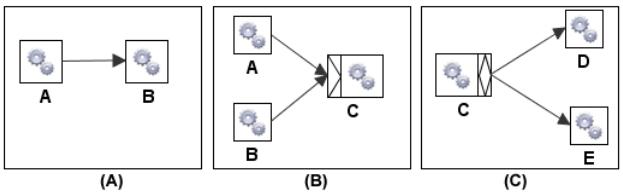


Figura 4.17: Controle de Fluxo

aprender o conceito Java(15), é necessário ter aprendido os dois conceitos POO e Instalação/configuração. Após executar a atividade AC(25), isto é, aprenderconceito(POO) é habilitado a possibilidade do estudante aprender subconceitos Polimorfismo(24), Encapsulamento(08), Pacote(23), Herança(09) e o conceito Objeto/Classe(21).

Para executar a atividade concluirconceito(POO), todas as ações aprenderSubconceitos Polimorfismo(24), Encapsulamento(08), Pacote(23), Herança(11) e a ação ConcluirConceito Objetos/Classe(21) já devem ter sido executadas.

O *Workflow* gerado é armazenado em uma base de dados até o início do curso, quando uma instância deste modelo é inicializada. Na próxima seção são apresentados exemplos para conceitos presentes neste *Workflow*, baseado no modelo do estudante.

Estudo de Caso

Suponha uma instância do processo de *Workflow* para um estudante. Antes de começar o curso, o estudante responde ao questionário(ILS) que determina o seu estilo de aprendizagem, segundo o modelo de Felder-Silverman[30, 22]. Neste exemplo, suponha que o estudante tenha obtido como resultado os valores apresentados na Tabela 4.11. Assim, o estudante apresenta uma preferência moderada para a forma de processamento Ativo e para a forma de percepção intuitiva.

Tabela 4.11: Exemplo da aplicação ILS estudante A

Ativo	Reflexivo	Sensitivo	Intuitivo
0.82	0.18	0.27	0.73

Como o estudante não realizou nenhuma avaliação e, assim, não existe no modelo do estudante valores para desempenho e avaliação de conhecimento, em um primeiro instante, estas variáveis recebem valores *Default*, dados pela Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Valores *Default*

Desempenho	avaliação
10	50

Uma avaliação que apresente os valores da Tabela 4.12, significa que o estudante obteve um baixo desempenho e uma avaliação de conhecimento considerada regular ou mediana,

pois o pico da função encontra-se em um nível cognitivo considerado médio e o objetivo é torná-lo apto para níveis mais complexos. Porém, vale lembrar que este é um valor *Default* tomado como ponto de partida. A Figura 4.18 é o gráfico descrito pelos valores da Tabela 4.12 aplicados na Função 4.6.

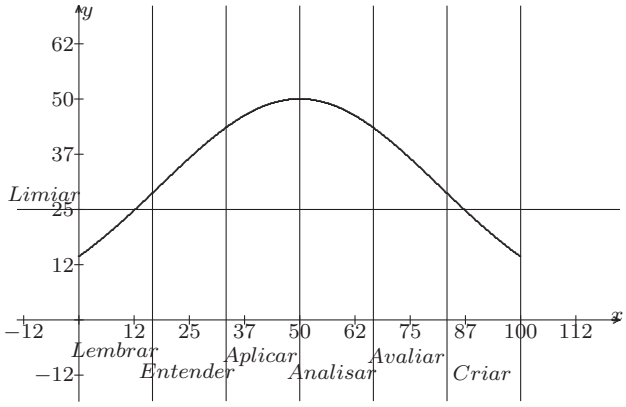


Figura 4.18: Função Gaussiana *Default*

Aplicando o Algoritmo 4.6 com uma população inicial de tamanho 500, evoluindo até geração de valor 200 e tendo as probabilidades para os operadores genéticos dadas pelos seguintes valores: $\sharp taxa_cruzamento = 0{,}70$; $\sharp taxa_mutacao = 0{,}10$ e $\sharp taxa_elitismo$ =0,05, foi obtida a sequência de ações instrucionais da linha *Default* da Tabela 4.15. Cada coluna da Tabela 4.15 representa os níveis cognitivos da taxionomia de Bloom e as ações instrucionais presentes nestas colunas, são as ações a serem aplicadas ao estudante.

O resultado da linha *Default* da Tabela 4.15 significa que o estudante deve desenvolver ações instrucionais de todos os níveis cognitivos e também ações instrucionais que proporcionará aprender através da experimentação ativa e prática(Selecionar, Reescrever, Exemplificar, Organizar, Desenvolver).

O valor de aproximação da linha *Default*, ao Modelo do estudante é 0,2053 em um intervalo [0,1], onde o quanto mais próximo de 0 for este valor, maior será a aproximação da sequência ao estilo de aprendizagem do estudante.

Dada a sequência de ações, o sistema busca objetos de aprendizagem referentes aos conceitos que devem ser ensinados e que tenham como objetivo desenvolver no estudante tais comportamentos.

Durante a execução das atividades instrucionais é observado e armazenado dados sobre o comportamento do estudante, para que sejam utilizados no cálculo do desempenho. Após o término das atividades é aplicada uma avaliação de conhecimento. Com o resultado da avaliação do conhecimento e do desempenho é possível determinar se o estudante irá prosseguir no conteúdo ou terá que rever o conceito.

Em um caso, onde o estudante tenha obtido um desempenho médio e uma boa avaliação, como apresentado no Caso 1 da Tabela 4.13, percebe-se no Caso 1 da Tabela 4.14 , representada graficamente na Figura 4.19 (a), que ocorreu uma evolução no foco do tipo

Tabela 4.13: Evolução

	Desempenho	avaliação
Caso 1	60	80
Caso 2	40	30

de atividade instrucional que poderá ser aplicada ao estudante e, com isso, um avanço nos níveis cognitivos. Com esta evolução, este estudante prosseguirá para o próximo conteúdo e serão aplicadas ações que requeiram do estudante níveis cognitivos mais complexos. O resultado do planejador genético de conteúdo para este pode ser visto em caso 1 da Tabela 4.15. Esta sequência apresentou um valor de aproximação muito alto, valendo 0,51503.

Tabela 4.14: Funções Gaussiana

Caso 1	Caso 2
$f(x) = 50e^{\frac{-0,05}{110-60}(x-80)^2}$	$f(x) = 50e^{\frac{-0,05}{110-40}(x-30)^2}$

Devido ao alto valor de aproximação encontrado, percebe-se neste resultado atividades que, de acordo com a Equação 4.19(a), não deveriam estar presentes na sequência. No entanto, os resultados do Caso 1 da Tabela 4.15, ainda demonstram uma tendência a apresentar atividades instrucionais de acordo com Equação 4.19(a), isto é, atividades de níveis cognitivos intermediários tendendo para os níveis cognitivos ditos superiores.

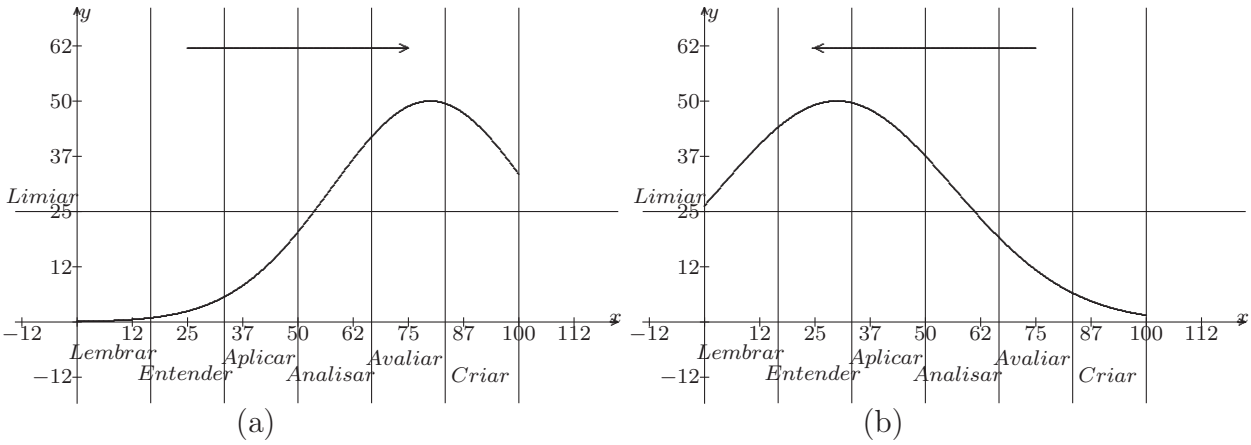


Figura 4.19: Caso 1 e 2 da Tabela 4.13

No caso 2 da Tabela 4.13, que é representado graficamente pela Função Gaussiana 4.19 (b), tanto a avaliação de desempenho quanto de conhecimento tem valores baixos, resultando em um retrocesso nos níveis cognitivos e um pequeno aumento na abrangência dos níveis. Com isto, o estudante deverá rever o mesmo conceito

Assim, para este caso 2 foi obtida a sequência de ações instrucionais dada pelo Caso 2 da Tabela 4.15. O valor de aproximação resultante foi bem baixo, valendo 0.13949.

4.4 Considerações

Neste capítulo foram descritos as duas etapas do planejamento instrucional adaptativo, utilizando planejamento genético e a tecnologia de *workflow*. Baseado nos testes pode-se dizer que o planejador genético de estratégias pedagógicas encontra soluções ótimas para os exemplos apresentados. Além disso, a cada avaliação que se realize novo planejamento de estratégias pedagógicas pode ser feito. Portanto, pode-se acompanhar o desenvolvimento dos estudante durante todo o curso.

Tabela 4.15: Sequências de Apresentação

	NC_1	NC_2	NC_3	NC_4	NC_5	NC_6
Default	Selecionar	Reescrever, Exemplificar	julgar, Organizar	Pontuar, Subdividir	Defender	Desenvolver
Caso 1	X	X	julgar, Organizar, Aplicar	Classificar, Analizar, Comparar ,Deduzir, Categorizar, Pontuar, Examinar, Identificar, Subdividir	Apreciar, Comparar, Criticar, Defender, Avaliar	X
Caso 2	Selecionar, Listar, Exemplificar, explicar Enunciar	Reescrever, Ilustrar,	Produzir, julgar	Pontuar	X	X

Capítulo 5

Integração do Sequenciador de Conteúdo ao SIMEDUC

A proposta apresentada no capítulo 4 foi integrada ao ambiente SIMEDUC (Sistema Inteligente MultiAgente para EAD), proposto e desenvolvido por Dorça[23]. O principal objetivo deste trabalho foi introduzir adaptatividade e inteligência a um ambiente de EAD, pelo uso de agentes inteligentes. O sistema foi dividido em dois componentes, o Sistema de Gerenciamento de Cursos (SGC) e o Sistema Inteligente Multiagente(SIM). O primeiro é um ambiente web é um ambiente *web*, composto de várias ferramentas e recursos de interface, através do qual são realizadas todas as interações feitas pelo estudante. As informações, relativas as interações do estudante com o ambiente são enviadas pelo navegador *web* ao servidor do sistema e posteriormente processadas pelo SIM. O segundo é composto por quatro agentes inteligentes que interagem entre si tanto para processar as solicitações do SGC quanto para executar solicitações dos próprios agentes.

A seção 5.1 descreve, abreviadamente, o SGC e seus componentes. Na seção 5.2 apresentam-se os quatro agentes que compõem o SIM, bem como a fluxo de comunicaçao entre estes. A seção 5.3 descreve a nova arquitetura proposta para o ambiente SIMEDUC com as integrações do planejador instrucional adaptativo e do modelo do estudante propostos e apresentados no capítulo 4.

5.1 Sistema Gerenciador de Curso

O SGC é o ambiente *web* para educação à distância, desenvolvido com tecnologias que proporcionem a geração de páginas dinâmicas, tais como PHP, CSS, Java script e MySQL. Tais tecnologias proporcionaram o desenvolvimento de um ambiente dinâmico, que pode ser personalizado de acordo com as necessidade do curso e do estudante, sendo independente de plataforma, isto é, basta um *Browser* para este possa ser utilizado. Na Figura 5.1, podem ser visto o SGC, demais componentes e as interconexões entre estes.

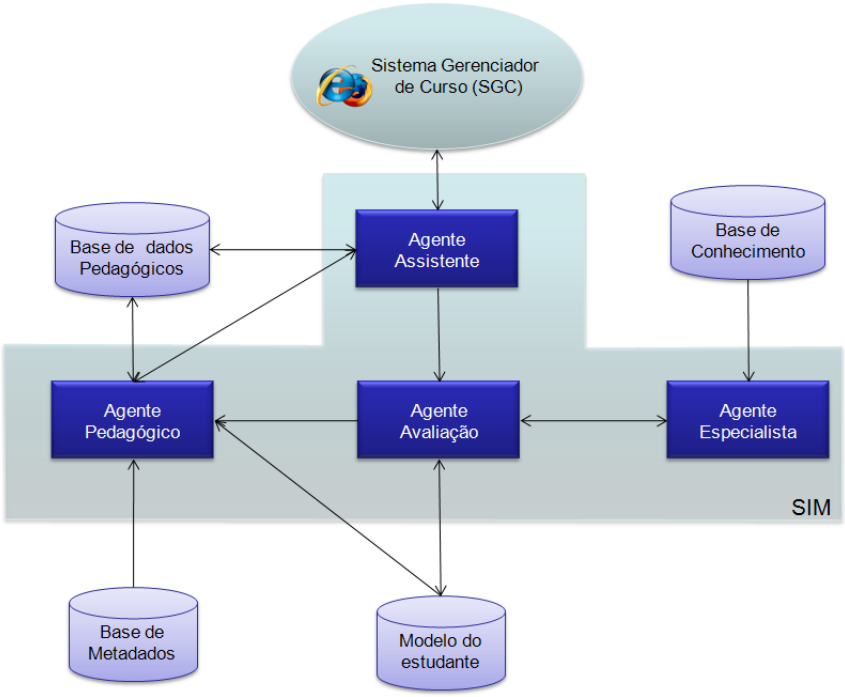


Figura 5.1: Arquitetura do SIMEDUC [23]

Além do dinamismo necessário para o sistema, foram inseridas ferramentas que proporcionasse um ambiente mais interativo, tais como ferramentas de comunicação, gerenciamento de conteúdo dos cursos, organização do sistema, gerenciamento do estudante, gerenciamento do curso e de conhecimento.

Estas ferramentas estão divididas em dois ambientes, o ambiente de curso e o ambiente administrativo.

Ambiente de Curso : Têm como funções primordiais apresentar o conteúdo e promover a interação com o estudante. Contém Apresentador de Conteúdo, ferramentas de comunicação (bate papo, fórum e correio eletrônico interno), material de apoio, Quadro de avisos, Apresentador de testes e bloco de notas.

Ambiente Administrativo : É composto por ferramentas que permitem gerenciar os usuários, cursos, avaliações e geração de conteúdo, que se distribuem nos seguintes módulos: Gerenciador de Testes, Gerenciador de Curso, Gerenciador de Tutores, Gerenciador de Estudante e Ferramentas de Autoria.

Além destes, o sistema ainda contém:

- Base de dados Administrativos em que são registradas informações referentes ao cadastro do estudante, professor e tutores de curso.
- Base de Conhecimento, onde ficam armazenados os conteúdos dos diversos cursos a serem ministrados. Os conteúdos estão em formatos que permitam a sua visualização por um navegador Web.

- Histórico do Estudante, local onde são registrados dados relacionados à utilização do sistema pelos estudantes, tais como data e hora em que um conteúdo foi acessado, tempo gasto no conteúdo, freqüência de utilização das ferramentas de comunicação, consultas ao material de apoio, estágio em que se encontra no curso e respostas dadas nos exercícios.

Dorça[23] explica que o SGC não é capaz de analisar as experiências, habilidades cognitivas, conhecimento e preferências no instante de apresentar o conteúdo para o estudante. Frente a esta deficiência foi desenvolvido o SIM utilizando o paradigma Multiagente e Sistemas de Tutores Inteligentes(STI).

5.2 Sistema Inteligente Multiagente

O SIM é um sistema baseado na tecnologia de agentes[1] inteligentes. Sistemas Multiagentes (SMA) são formados por agentes autônomos que cooperam entre si para solucionar um dado problema que seria difícil ou impossível de ser resolvido por um único agente[23].

Em ambientes de EAD, segundo Dorça[23], cooperação e colaboração são necessários para realização de todas as atividades envolvidas. Pois sistemas com estas características devem possibilitar que todos os participantes(estudantes, tutores, administradores e etc.) possam interagir entre si através da troca de informação. No entanto, uma série de dificuldades quanto à monitoração/análise das interações inter e intra-indivíduos e grupos são encontradas. Por esta razão, a utilização de SMA é viavel, pois múltiplos agentes podem monitorar o ambiente e analisar as informações vindas de várias partes do sistema.

As características de adaptatividade e inteligência são os principais objetivos a serem alcançados com este sistema. Para tal, o SIM é responsável pelo processamento pedagógico, seqüenciamento de conteúdo, diagnóstico de problemas de aprendizagem, avaliação de conhecimento, avaliação de comportamento e fornecimento de ajuda para o estudante. Para realizar tais ações foram definidos quatro agentes, agente assistente, agente pedagógico, agente de avaliação e agente especialista[23].

Agente Assistente: Monitora o estudante, gera histórico de freqüência de utilização do bate-papo, do fórum e de correio interno. Este também é responsável por promover a comunicação entre os demais agentes e o SGC;

Agente Pedagógico: Gera e atualiza automaticamente o seqüenciamento de conteúdo de acordo com o modelo do estudante.

Agente de Avaliação: É responsável por avaliar o conhecimento e comportamento do estudante, além de manter atualizado o modelo do estudante.

[1] O termo agente neste contexto, refere-se a entidades de *softwares* autônomas que atuam em um ambiente de forma a interagir com este ou outro agente, visando alcançar um objetivo.

Agente Especialista: É responsável pela resolução de problema. Sendo que as respostas do especialista, assim como procedimentos utilizados na resolução do problema são comparados com as do estudante.

O agente pedagógico, é responsável pelas atividades pedagógicas e instrucionais que é o tema principal deste trabalho. Por esta razão, será dado um pouco mais de atenção as principais características deste agente.

Agente Pedagógico

O agente pedagógico funciona como um componente do SIMEDUC que deve proporcionar ao estudante uma sequência de conteúdo de acordo com as características do mesmo. Isto é, este agente deve ser capaz de gerar uma sequência de conteúdo para o estudante, monitorar a apresentação desta sequência e intervir no aprendizado quando o estudante apresentar alguma dificuldade de aprendizado[23].

Figura 5.2: Arquitetura do Agente pedagógico[61]

Na arquitetura apresentada na Figura 5.2, o agente pedagógico é dividido em duas camadas: a camada de planejamento, na qual é gerada a sequência de materiais instrucionais e a camada reativa responsável por monitorar a apresentação do curso e reagir a eventos que ocorram nela[61].

A camada de planejamento é composta pelos planejadores de conteúdo e de apresentação. O planejador de conteúdo utiliza informações existentes sobre o estudante, sobre o domínio e sobre aspectos pedagógicos para gerar, ordenar e selecionar os conteúdos apropriados ao estado cognitivo do estudante. O planejador de apresentação é responsável por personalizar o conteúdo gerado pelo planejador de conteúdo. Para realizar esta tarefa, são utilizadas as preferências do estudante, contidas no modelo do estudante, as informações sobre os objetos de aprendizagem, contidas na base de conhecimento e também o histórico de atividades do estudante dentro do sistema, contido no histórico do estudante [61].

A camada reativa do agente pedagógico é responsável por reagir a eventos não previstos. Para controlar esta reação o agente utiliza um conjunto de regras, que serão

responsáveis em selecionar a reação mais adequada a um determinado evento que possa parecer no decorrer do processo de aprendizado.

Para realizar o planejamento instrucional, onde o sistema possa selecionar uma sequência do conteúdo mais apropriada às preferências e estado cognitivo do estudante, faz-se necessário uma representação do conhecimento e uma modelagem do estudante. Para isto, a arquitetura do SIM ainda é composta pelo Módulo de Conhecimento, Base de dados pedagógicos e Modelo do Estudante.

Módulo de Conhecimento é formado pelas bases de conhecimento e de metadados. A base de conhecimento armazena todos os materiais didáticos a serem utilizados durante o curso. Na base de Metadados são armazenados todas as informações sobre os materiais didáticos, seguindo o padrão IEEE LTSC LOM, que dizem respeito a informações técnicas, pedagógicas e os relacionamentos entre materiais[60].

Base de dados pedagógicos contém todos os objetivos de aprendizagem e os planos (currículos ou seqüências de conteúdos) gerados pelo agente pedagógico para cada estudante.

5.2.1 Modelo do Estudante

Está baseado no modelo de superposição (*overlay*) para representar o conhecimento e preferências do estudante(por exemplo, tipo de material para o qual o estudante é mais receptivo)[23]. A Tabela 5.1 apresenta um exemplo de modelo de estudante no SIMEDUC.

Além destas informações, na base de dados do estudante, ainda, ficam registrados os cursos e atividades realizadas pelo estudante, bem como páginas que visitou, tempo de permanência, resultados de testes e conteúdos vistos. A arquitetura e funcionamento detalhados de cada agente do SIM, do SGC, modelo do estudante, base de dados pedagógicos e modelo do conhecimento podem ser vistos em Dorça[23].

5.3 Nova arquitetura do SIMEDUC

A integração do planejador instrucional e adaptativo e do modelo do estudante ao SIMEDUC resultou em uma nova arquitetura, com a introdução de novos módulos tanto no SGC quanto no agente pedagógico.

A arquitetura original do SGC era composta pelo ambiente de curso e o ambiente administrativo. No entanto, para uma melhor organização do ambiente e divisão de funcionalidades, foram feitas algumas adequações nos dois ambientes. A primeira e maior foi a criação de um módulo, chamado de ensino/aprendizagem, como pode ser observado na Figura 5.3.

Tabela 5.1: Modelo do estudante original[23]

Tipo de preferência	**Valores Possíveis**				
1 – Nível de Interação	1 –muito baixo	2 – Baixo	3 – Médio	4 – Alto	5 – Muito Alto
2 – Nível de interatividade	1 – Ativo	2 – Expositivo		3 – Híbrido	
3 – Densidade Semântica	1 – Muito baixo	2 – Baixo	3 – Médio	4 – Alto	5 – Muito alto
Tipo pedagógico preferido *4 – Exercício* *5 – Simulação* *6 –Questionário* *7 – Diagrama* *8 – Figura* *9 - Gráfico* *10 – Slide* *11 – Tabela* *12 – Texto* *13 – Exame* *14 – Experimento* *15 – Problema* *16 – Auto-Avaliação* *17 - Seminário*	Estes campos armazenam os valores de aceitação para cada um dos tipos pedagógicos. Os valores aceitos variam entre 0 e 100. O valor 0 indica sem preferência e 100 indica preferência total.				

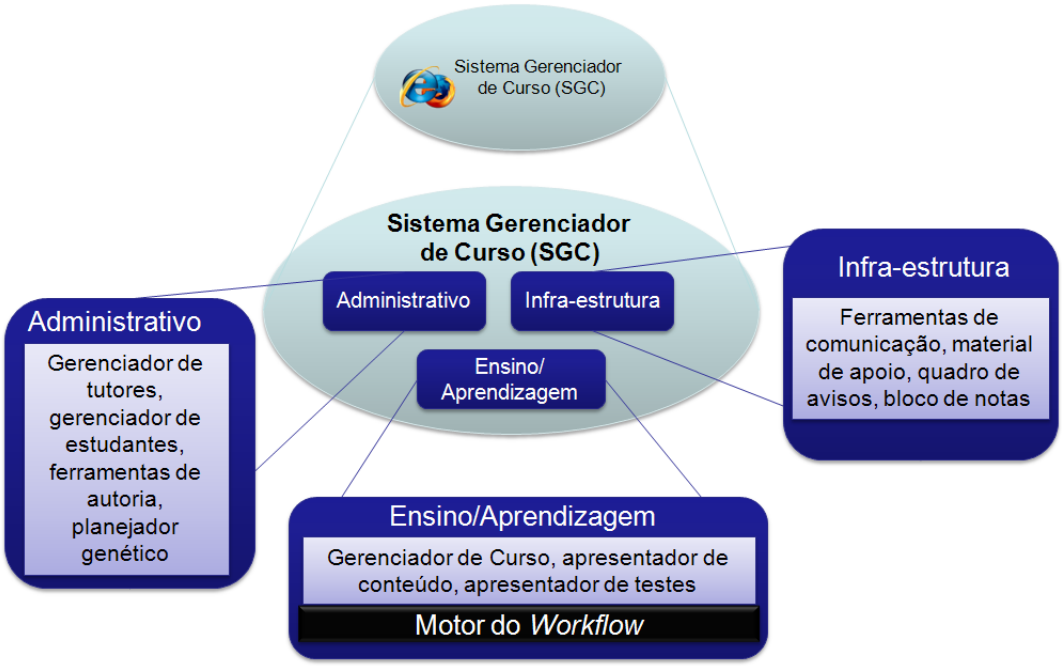


Figura 5.3: Arquitetura do SGC alterada

Este módulo é responsável por toda parte de apresentação e gerenciamento da sequência de conteúdo apresentada ao estudante, atividades estas que eram de responsabilidade do ambiente de curso. Para isto, é utilizado a tecnologia de *workflow*, a qual receberá a sequência de conteúdo - modelo de *workflow* gerado pelo planejador genético de conteúdo

- e a instanciará para cada estudante que se matricular no curso.

O ambiente de curso passou a ser denominado Infra-estrutura, sendo responsável apenas pelas ferramentas que auxiliam na cooperação e colaboração do estudante.

As tarefas de apresentação de conteúdo e apresentador de teste, foram transferidas para o ambiente de ensino/aprendizagem. A Figura 5.3 apresenta a arquitetura proposta.

A Figura 5.4 mostra a conexão do módulo ensino/aprendizagem com o SIM.

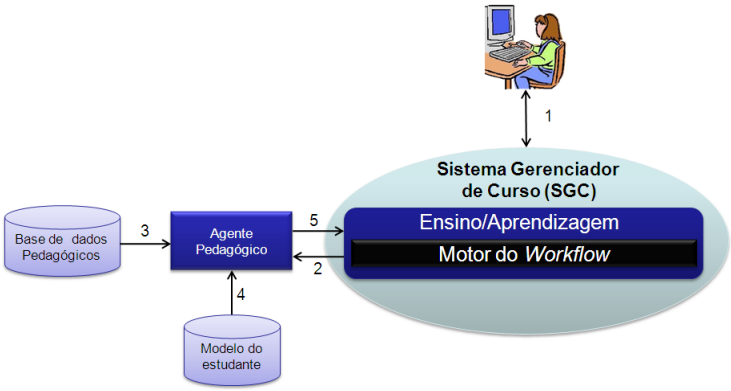


Figura 5.4: Processo de iniciação de curso

Assim, de acordo com a Figura 5.4, o estudante matricula-se no curso(1), no momento da matrícula além dos dados pessoais o estudante responde o questionário baseado no modelo de Felder[30, 22]. Ao finalizar a matrícula, o SGC solicita ao agente pedagógico (2) que busque na base de dados pedagógicos (3) a definição do processo para o curso que o estudante se matriculou e o envie ao motor de *workflow* (5) presente no ambiente de ensino. Feito isto, o motor de *workflow* ativa uma instância do processo para o estudante. Ao executar *aprender(x)* ou *aprenderSub(x)* ou *aprenderSubConceito(x)* o motor do *workflow* envia uma solicitação ao agente pedagógico(2) para que este gere uma sequência de atividades instrucionais. O agente pedagógico no seqüenciamento das atividades instrucionais utiliza os dados presentes no modelo do estudante (4) para determinar quais atividades instrucionais se adaptam ao modelo do estudante. Feito isto, é enviado ao SGC à sequência de atividades a ser apresentada ao estudante (5). Note que o agente pedagógico contém os planejadores genéticos de conteúdo e de apresentação conforme descrito no capítulo 4.

O processo apresentado anteriormente, representado na Figura 5.4, também, pode ser visto no diagrama de sequência na Figura 5.5.

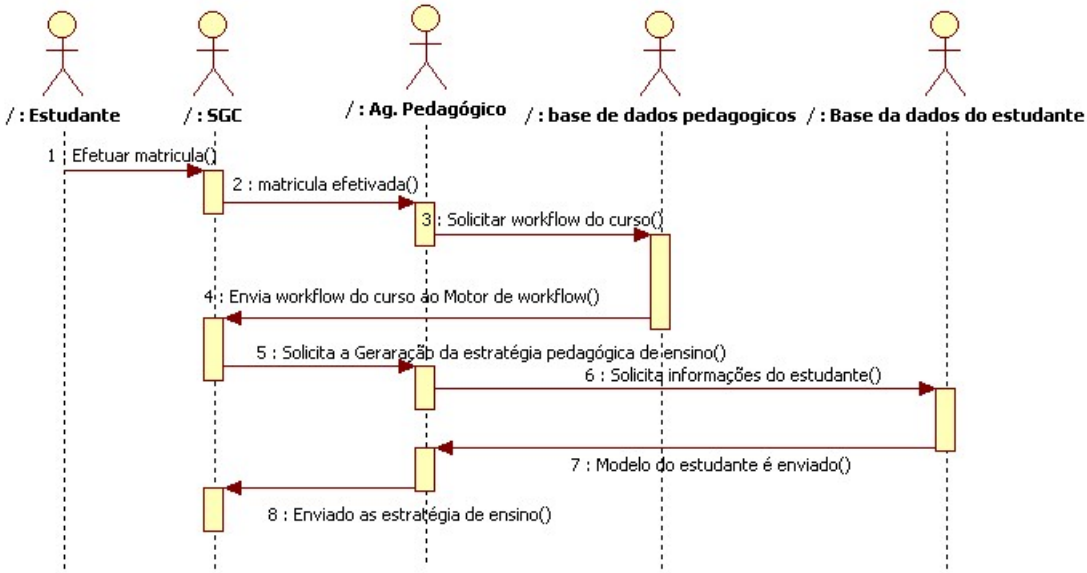


Figura 5.5: Diagrama de Sequência de iniciação de curso

Capítulo 6

Conclusão e Perspectivas Futuras

Esta dissertação apresentou uma proposta de planejamento instrucional adaptativo utilizando planejamento genético e a tecnologia de workflow. Este planejamento foi dividido em duas etapas, o planejador genético de conteúdo e o planejador genético de estratégias pedagógicas. Ambos foram desenvolvidos utilizando técnicas de planejamento em IA e algoritmos genéticos e, por isso foram denominados planejadores genéticos. Além disso, também foi proposto um modelo do estudante que contém importantes características para a definição de estratégias pedagógicas, como por exemplo, os estilos de aprendizagem.

Utilizou-se a tecnologia de *workflow* para se beneficiar da sua capacidade de modelar, executar e monitorar a execução de tarefas envolvendo um grande número de situações e participantes, como é o caso de ambientes de EAD. As técnicas de planejamento em IA bem como algoritmos genéticos são eficientes para obter soluções ótimas ou próximas do ótimo. Embora o tempo computacional destas técnicas possa ser elevado, algumas partes do planejamento proposto, como por exemplo o planejador de conteúdo, pode ser feito assim que um curso é projetado, não implicando em perdas ou atrasos para os participantes. Mas, vale ressaltar que o tempo de processamento desta proposta foi suportável.

Uma limitação da tecnologia de *workflow* é a inviabilidade de se retornar a atividades anteriores em relação ao estágio corrente do fluxo. Este tipo de situação pode ocorrer com certa freqüência em ambientes de EAD, pois ao se verificar que um estudante não progride em certo conceito devido a deficiências em conceitos anteriores, uma alternativa seria fazê-lo retornar ao aprendizado destes conceitos. Entretanto, esta é uma dificuldade para esta tecnologia.

O uso das teorias de aprendizagem de Bloom e Felder, ainda que não sejam comprovadas, mostrou a possibilidade durante as pesquisas feitas para realização deste trabalho, foram identificadas duas dificuldades, que acredita-se são inerentes ao problema de construir ambientes para EAD. A primeira refere-se à obtenção de material didático digital em formato que atenda a especificação do conteúdo conforme o mapa conceitual, aos tipos de ações instrucionais e também ao modelo do estudante. Em geral, o material

didático disponível em base de dados públicas não estão no formato desejado e nem tem especificações formais, como aquelas vistas em metadados. Sendo assim, a definição do mapa conceitual é extremamente difícil, pois não há certeza de que se encontrará o material associado a granularidade do mapa. A construção de materiais didáticos digitais também não é tarefa fácil, pois exige que se tenha uma ferramenta amigável para que os especialistas do domínio se sintam interessados e motivados a usá-la.

A segunda diz respeito ao número de seqüências de conteúdo diferentes. Neste trabalho, adotou-se uma única sequência de conteúdo para todo estudante. Entretanto, um ponto de vista mais geral mostra que deveria ser possível ter uma sequência específica para cada estudante. Mas, por outro lado, desde que os tópicos (ou conceitos) do conteúdo estão, em geral, interligados através de relações de pré-requisito, não parece possível obter muitas diferentes seqüências. Contudo, o que se observa das pesquisas é que a maioria dos trabalhos em planejamento instrucional, de fato, apenas planeja seqüências de apresentação.

Outra dificuldade que pode ser observada é a informalidade com que se pode construir mapas conceituais. A granularidade dos conceitos fica a critério do autor do curso, sendo assim, o planejamento de conteúdo é diretamente influenciado, bem como a seleção do material didático.

Os testes e o estudo de casos realizados mostraram a viabilidade da proposta, pois os resultados foram adequados, ainda que iniciais, e portanto, podem ser considerados soluções ótimas para o problema. Apesar de não terem sido efetuados testes práticos para observar o comportamento dos planejadores e do *workflow*, espera-se que os comportamentos destes seja adequados para as situações e características previstas nesta proposta. A introdução da proposta a um ambiente de EAD foi positiva devido à introdução de uma ferramenta automática para execução e gerenciamento do curso.

Como sugestões de trabalhos futuros tem-se a determinação automática do grau de pertinência de uma ação instrucional a um nível cognitivo, a determinação automática e dinâmica do limiar, pois estes valores foram atribuídos de forma empírica e manualmente. Aplicar ações diferentes (até mesmo divergentes) daquelas mais adequadas do estilo de aprendizagem do estudante, visando diminuir deficiências e desenvolver novas habilidades no estudante. Estender o planejamento de conteúdo para obtenção de mais de uma sequência de conteúdo. Embora seja apenas uma sequência de conteúdo no trabalho, é possível, entretanto, que um estudante a inicialize em qualquer atividade. Realizar testes práticos com a nova arquitetura proposta. O uso de outras propostas de planejamento e comparação com outros planejadores.

Dentre as contribuições deste estudo podem ser citados:

- A proposta de um sistema de planejamento de conteúdo e estratégias pedagógicas baseado nos níveis cognitivos e estilo de aprendizagem do estudante;

- Levantamento bibliográfico sobre conceitos da área da educação e psicologia, como estilos de aprendizagem e taxionomia dos objetivos educacionais. Bem como de áreas técnicas da computação, tais como técnicas de planejamento, *workflow* e algoritmos genéticos;
- Utilização da algoritmos genéticos, como técnica de planejamento, no processo de modelagem de *workflow* para ambiente de EAD;
- Integração da proposta desta dissertação ao ambiente SIMEDUC[23];
- Disponibilização à comunidade científica de trabalhos, através de publicação em eventos de nível nacional e internacional[51, 52, 24] refentes à resultados e observações da utilização das técnicas e teorias apresentadas nesta dissertação.
- A proposta e desenvolvimento de um sistema para converter uma mapa conceitual modelado na *CmapsTools* para um formato XPDL, uma linguagem adequada em sistema de planejamento.

Referências Bibliográficas

[1] Alves, F. S. R. Geração automática de Modelos de Processo em Sistemas de Workflow. Dissertação (mestrado em ciência da computação), Uberlândia, Brasil, Fevereiro 2003.

[2] Amaral, L. Mineração de regras para classificação de oncogenes medidos por microarray utilizando algoritmos genéticos. Dissertação (mestrado em ciência da computação), Faculdade de Computação, UFU, Uberlândia-MG,Brasil, 2007.

[3] Anderson, L. W., and Krathwohl, D. R. *Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing, A: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*, abridged ed. Allyn & Bacon, New York, 2001.

[4] Azuma, M., Coallier, F., and Garbajosa, J. How to apply the bloom taxonomy to software engineering. In *International Workshop on Software Technology and Engineering Practice* (Washington, DC, USA, 2003), IEEE Computer Society, pp. 117–122.

[5] Bariani, I. C. D. *Estilos Cognitivos de Universitários e iniciação Científica*. Tese de doutorado, Faculdade de Educação - Unicamp, Campinas-SP, Brasil, Fevereiro 1998.

[6] Bhatt, C. B., and Rao, N. J. Scorm metadata in the context of bloom-vincenti taxonomy and intelligent tutoring system. In *International conference on Web engineering* (New York, NY, USA, 2006), ACM, pp. 87–88.

[7] Bica, F. Eletrotutor iii ? uma abordagem multiagente para o ensino à distância. Dissertação(mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil, Janeiro 2000.

[8] Bloom, B., Englehart, M., Furst, E., Hill, W., and Krathwohl, D. *Taxonomy of educational objectives: Handbook I: Cognitive domain*. Longmans Green, New York, 1956.

[9] Brusilovsky, P., and Vassileva, J. Course sequencing techniques for large-scale web-based education. *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning 13* (2003), 75–94.

[10] Bryce, D., and Kambhampati, S. Cost sensitive reachability heuristics for handling state uncertainty. In *Proceedings of the 21th Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-05)* (Arlington, Virginia, 2005), AUAI Press, pp. 60–68.

[11] C. A. Carver, R. A. H., and Lane, W. D. Enhancing student learning through hypermedia courseware and incorporation of student learning styles. *IEEE Transactions on Education* (1999), 33–38.

[12] Cerqueira, T. C. C. *Estilos de Aprendizagem em universitários.* Tese de doutorado, Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Brasil, Fevereiro 2000.

[13] Cesarini, M., Monga, M., and Tedesco, R. Carrying on the e-learning process with a workflow management engine. In *SAC* (2004), H. Haddad, A. Omicini, R. L. Wainwright, and L. M. Liebrock, Eds., ACM, pp. 940–945.

[14] de Araujo, R. M., and da Silva Borges, M. R. Sistemas de workflow. In *Anais XX Jornada de Atualização em Informática* (Fortaleza-CE, Brasil, 2001), SBC, SBC.

[15] de Barros Cardoso, L. A. Estilos de aprendizagem e estratégias cognitivas: em busca de maior autonomia na aprendizagem de língua estrangeira. Dissertação (mestrado em lingüística aplicada), Centro de Humanidades, UFCE, Fortaleza, Brasil, Março 2007.

[16] de Castro, R. E. *Otimização de estrutura com Multi-Objetivos via Algoritmos genéticos.* Tese(doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, Agosto 2001.

[17] de Castro Martins, A. T. Planejamento automático aplicado a problemas dependentes de recursos. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ce, Brasil, agosto 2003.

[18] de Freitas, E. H. Técnicas de *Workflow* e planejamento apoiado em inteligência artificial aplicados ao ensino à distância. Dissertação(mestrado em ciênci da computação), Universidade Federal Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil, Setembro 2007.

[19] de Melo, F. R. Sistema de Tutores Inteligentes com Preditores Neurais Baseados em características Psicológicas. Dissertação (mestrado em engenharia da computação), Novembro 2003.

[20] de Melo, J. T. *Workflow* com técnicas de planejamento apoiada em inteligência artificial. Dissertação (mestrado em ciência da computação), Uberlândia, Brasil, Outubro 2005.

[21] de Oliveira, J. P. M., Nicolao, M., and Edelweiss, N. Conceptual workflow modelling for remote courses. In *XV World Computer Congress, IFIP* (2004), pp. 789–797.

[22] do Rosário, J. A. Estilos de aprendizagem de alunos de engenharia química e engenharia de alimentos da ufsc: O caso da disciplina de análise e simulação de processos. Dissertação(mestrado em engenharia química), Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis-SC, Brasil, Maio 2006.

[23] Dorça, F. A. Um Sistema Inteligente Multiagente para Educação a Distância Apoiado em Web. Dissertação(mestrado em ciência da computação), Uberlândia, Brasil, Julho 2004.

[24] Dorça, F. A., Lopes, R. S., Fernandes, M. A., and Lopes, C. R. Adaptativity supported by neural networks in web-based educational systems. In *International Conference on Education and Information Systems, Technologies and Applications* (Orlando-Florida, Julho 2008), EISTA.

[25] dos Santos, A. A. A., Sisto, F. F., and Martins, R. M. M. Estilos cognitivos e personalidade: um estudo exploratório de evidências de valida. In *PsicoUSF* (junho 2003), vol. 8.

[26] Erol, K., Hendler, J., and Hendler, D. S. HTN planning: Complexity and expressivity. In *National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94)* (Seattle, Washington, USA, 1994), vol. 2, AAAI Press/MIT Press, pp. 1123–1128.

[27] Erol, K., Hendler, J., Nau, D. S., and Tsuneto, R. A critical look at critics in htn planning. Tech. rep., College Park, MD, USA, 1995.

[28] Felder, R., and Brent, R. Understanding student differences. *International Journal of Engineering Educations 94*, 1 (2005), 25–72. Disponível em :`http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/Understanding_D`

[29] Felder, R., and Silverman, L. K. Leaning and teaching styles in engineering education. *International Journal of Engineering Educations 7*, 1 (1988), 674–681. Disponível em :`http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf`.

[30] Felder, R., and Spurlin, J. Applications, reliability, and validity of the index of learning styles. *International Journal of Engineering Educations 21*, 1 (2005), 103–112. Disponível em :`http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSdir/ILS_Validation(`

[31] Franzoni, A., Assar, S., Defude, B., and Rojas, J. Student learning styles adaptation method based on teaching strategies and electronic media. *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (July 2008), 778–782.

[32] Ghallab, M., Nau, D., and Traverso, P. *Automated Planning: Theory and Pratice*. Morgan Kaufmann Publishers, May 2004.

[33] Goldberg, D. E. *Genetic Algorithms in search, optimization and Machine Learning*. USA, 1989.

[34] Grigoriadou, M., Papanikolaou, K., Kornilakis, H., and Magoulas, G. Inspire: an intelligent system for personalized instruction in a remote environment. In *Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia* (2001), pp. 13–24.

[35] Herrmann, R. G. Planejamento hierárquico sob incertezas knightiana. Dissertação(mestrado), Instituto de Matemática e estatísticas- Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil, Maio 2008.

[36] Hoffmann, J., and Nebel, B. Fast plan generation through heuristic search. *Journal of Artificial Intelligence Research 14* (2001), 2001.

[37] Holland, J. An introduction to genetic and artificial systems. *MIT Press* (1975).

[38] Hollingsworth, D. *The Workflow Reference Model.* Workflow Management Coalition, Hampshire, UK, 1995.

[39] Hong, H., and Kinshuk, D. Adaptation to student learning styles in web based educational systems. 491–496.

[40] IEEE. Learning object metadata draft standard document, 2002.

[41] Johnson, C. G., and Fuller, U. Is bloom's taxonomy appropriate for computer science? In *Baltic Sea conference on Computing education research* (New York, NY, USA, 2006), ACM, pp. 120–123.

[42] Karampiperis, P., and Sampson, D. Adaptive instructional planning using ontologies. In *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (Washington, DC, USA, 2004), IEEE Computer Society, pp. 126–130.

[43] Krathwohl, D. R. A revision of bloom's taxonomy: An overview. In *Theory into Practice* (Ohio, USA, 2002), vol. 41, pp. 212–18.

[44] Kreitzer, A., and .Madaus, G. Empirical investigations of the hierachical structure of the taxonomy. In *In Anderson, L and Sosniak, L(eds) Bloom's Taxonomy: A Forty-Year Retrospective(pag. 64-81)* (Chicago, USA, 1994), The National Society for the study of Education.

[45] Kunde, G. F., Souto, M. A., and de Oliveira, J. P. M. Evolução dinâmica de um curso a distância modelado por workflow. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 9 (Setembro 2001), 299–318.

[46] Kuri, N. P. *Tipos de Personalidade e Estilos de Aprendizagem: Proposições para o Ensino de Engenharia.* Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, 2004.

[47] Lecheta, E. M. Algoritmos Genéticos para Planejamento em Inteligência Artificial. Dissertação (mestrado em informática), Curitiba, Brasil, 2004.

[48] Lin, J. Y.-C., Ho, C., Sadiq, W., and Orlowska, M. E. On workflow enabled e-learning services. In *International Conference on Advanced Learning Technologies* (Washington, DC, USA, 2001), IEEE Computer Society, p. 349.

[49] Lister, R., and Leaney, J. Introductory programming, criterion-referencing, and bloom. In *SIGCSE technical symposium on Computer science education* (New York, NY, USA, 2003), ACM, pp. 143–147.

[50] Lopes, C. R. *Planejamento Baseado em expectativas.* Tese(doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, Abril 1998.

[51] Lopes, R. S., Dorça, F. A., Fernandes, M. A., and Lopes, C. R. Um sistema de avaliação em ead baseado em lógica *Fuzzy.* In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* (Fortaleza-CE, Brasil, Novembro 2008), SBC, pp. 30–34.

[52] Lopes, R. S., and Fernandes, M. A. Seqüenciamento de conteúdo adaptativo como processos de workflow através de planejamento. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* (Fortaleza-CE, Brasil, Novembro 2008), SBC.

[53] Lopes, W. M. G. Ils - inventário de estilos de aprendizagem de felder-saloman: Investigação de sua validade em estudantes universitários de belo horizonte. Dissertação(mestrado engenharia de produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil, Agosto 2002.

[54] Lucena, M. Um modelo de escola aberta na internet: Kidlink no brasil. Brasport, p. 232.

[55] Marzano, R. J. *Designing a New Taxonomy of Educational Objectives*. CA: Corwin Press, 2000.

[56] Novak, J. D., and Cañas, A. J. The theory underlying concept maps and how to construct and use them. In *Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008* (Florida, 2008), Institute for Human and Machine Cognition. available at: :`http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf`

[57] Oliveira, S. A. *Metaheurística Aplicadas ao Planejamento da Expansão da Transmissão de Energia Elétrica em Ambiente de Processamento Distribuído*. Phd thesis, UNICAMP, Campinas-SP, outubro 2004.

[58] Paredes, P., and Rodriguez, P. Considering sensingintuitive dimension to exposition-exemplification in adaptive sequencing. *AH2002 Conference* (2002), 556–559.

[59] Pereira, L. A. M., and Casanova, M. A. Sistema de gerência de *workflows*: características, distribuição e exceções. Relatório técnico, 2003.

[60] Queiroz, B. Sequenciamento Automático de Conteúdo em um Sistema de Educação à Distância. Dissertação (mestrado em ciência da computação), Uberlândia, Brasil, Outubro 2003.

[61] Queiroz, B., Lopes, C., and Fernandes, M. A. Geração automática de currículo para um sistema educacional baseado na web. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* (São Leopoldo-RS, Brasil, 2002), Editora Unisinos, pp. 515–518.

[62] Reid, J. M. M. *Understanding Learning Styles in the Second Language Classroom*, 1 ed. Prentice Hall, January 1998.

[63] Russell, S., and Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2 ed. Prentice Hall, 2003.

[64] Sadiq, S., Sadiq, W., and Orlowska, M. Workflow driven e-learning beyond collaborative environments. *International NAISO Congress on Networked Learning in a Global Environment, Challenges and Solutions for Virtual Education* (2002).

[65] Seridi, H., Sari, T., Khadir, T., and Sellami, M. Adaptive instructional planning in intelligent learning systems. In *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (Washington, DC, USA, 2006), IEEE Computer Society, pp. 133–135.

[66] Sizilio, G. R. M. A. Técnicas de modelagem de workflow aplicadas à autoria e execução de cursos de ensino à distância. Dissertação(mestrado em computação), Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre-RS, Brasil, Novembro 1999.

[67] Souto, M. A. M., Verdin, R., Wainer, R., Madeira, M., Warpechowski, M., Beschoren, K., Zanella, R., Correa, J. S., Vicari, R. M., and de Oliveira, J. P. M. Towards an adaptive web training environment based on cognitive style of learning: An empirical approach. In *AH* (2002), pp. 338–347.

[68] Starr, C. W., Manaris, B., and Stalvey, R. H. Bloom's taxonomy revisited: specifying assessable learning objectives in computer science. In *SIGCSE technical symposium on Computer science education* (New York, NY, USA, 2008), ACM, pp. 261–265.

[69] Stash, N. V., Cristea, A. I., and Bra, P. M. D. Authoring of learning styles in adaptive hypermedia: problems and solutions. In *international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters* (New York, NY, USA, 2004), ACM, pp. 114–123.

[70] Ítalo Modesto Dutra, da Cruz Fagundes, L., and Cañas, A. J. Uma proposta de uso dos mapas conceituais para um paradigma construtivista da formação de professores a distância. In *Anais Congresso da Sociedade Brasileira de Computação* (Salvador-BA, Brasil, junho 2004), Sociedade Brasileira da Computação, pp. 710–721.

[71] Telecken, T. L. Um estudo sobre modelos conceituais para ferramentas de definição de processos de workflow. Dissertação(mestrado em informática), Instituto de Informática - UFRS, Porto Alegre-RS, Brasil, Março 2004.

[72] Terry, R. E., Harb, J. N., Hurt, P., and Williamson, K. *Teaching Through the Cycle - Aplication of Learning Style Theory to Engineering Education at Brighan Young University.* BYU Press, Provo, Utah, 1991.

[73] Trevelin, A. T. C., and Belhot, R. V. A relação professor-aluno estudada sob a ótica dos estilos de aprendizagem: um estudo de caso. In *Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (Fortaleza, CE, Brasil, 2006).

[74] Vasilyeva, E., Pechenizkiy, M., and Puuronen, S. The challenge of feedback personalization to learning styles in a web-based learning system. In *ICALT* (2006), IEEE Computer Society, pp. 1143–1144.

[75] Vassileva, J., and Wasson, B. Instructional planning approaches: from tutoring towards free learning1. In *in Proceedings of Euro-AIED'96* (1996), pp. 1–8. Disponível em :`http://julita.usask.ca/Texte/euroaied.pdf`.

[76] Wasson, B. Instructional planning and contemporary theories of learning: Is this a self-contradiction? *Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence in Education* (1996), 23–30.

[77] Weining, K., Junzhou, L., and Tiantian, Z. A workflow based e-learning architecture in service environment. *The Fifth International Conference on Computer and Information Technology* (September 2005), 1026–1032.

[78] Wiley, D. A. The instructional use of learning objects. Retrieved April 12, 2006, from :`http://reusability.org/read/`, 2000.

[79] Yong, J., Shen, W., James, A., Chao, K.-M., Younas, M., Lin, Z., and Barthes, J.-P. Workflow-based e-learning platform.

Apêndice A

Ações instrucionais na Base de Dados Pedagógicos

Tabela A.1: Atividades instrucionais presentes na Base de Dados Pedagógicos

ID	Atividade	Ativo	Reflexivo	Sensorial	Intuitivo	Processo Cognitivo
1	Escolher	0.1	0.9	0.1	0.9	1
2	Descrever	0.3	0.7	0.2	0.8	1
3	Definir	0.1	0.9	0.2	0.8	1
4	Identificar	0.4	0.6	0.3	0.7	1
5	Rotular	0.4	0.6	0.4	0.6	1
6	Listar	0.6	0.4	0.5	0.5	1
7	Localizar	0.4	0.6	0.3	0.7	1
8	Comparar	0.4	0.6	0.5	0.5	1
9	Memorizar	0.4	0.6	0.8	0.2	1
10	Nomear	0.2	0.8	0.3	0.7	1
11	Omitir	0.5	0.5	0.5	0.5	1
12	Recitar	0.9	0.1	0.8	0.2	1
13	Reconhecer	0.3	0.7	0.2	0.8	1
14	Selecionar	0.9	0.1	0.5	0.5	1
15	Declarar	0.6	0.4	0.5	0.5	1
16	Classificar	0.4	0.7	0.4	0.6	2
17	Defender	0.5	0.5	0.4	0.6	2
18	Demonstrar	0.2	0.8	0.4	0.6	2
19	Distinguir	0.5	0.5	0.5	0.5	2
20	Explicar	0.8	0.2	0.4	0.6	2
21	Exemplificar	0.9	0.1	0.2	0.8	2
22	Ilustrar	0.7	0.3	0.4	0.6	2
23	Exemplificar	0.7	0.3	0.7	0.3	2
24	Indicar	0.5	0.5	0.5	0.5	2
25	Relacionar	0.3	0.7	0.3	0.7	2
26	Interpretar	0.2	0.8	0.2	0.8	2
27	Inferir	0.1	0.9	0.2	0.8	2
28	Julgar	0.3	0.7	0.2	0.8	2
29	Comparar	0.3	0.7	0.2	0.8	2
30	Parafrasear	0.4	0.6	0.4	0.6	2
31	Representar	0.7	0.3	0.7	0.3	2
32	Reescrever	0.8	0.2	0.3	0.7	2
33	Selecionar	0.7	0.3	0.2	0.8	2
34	Mostrar	0.8	0.2	0.6	0.4	2
35	Sumarizar	0.7	0.3	0.7	0.3	2
36	Dizer	0.9	0.1	0.7	0.3	2
37	Traduzir	0.2	0.8	0.2	0.8	2
38	Aplicar	0.9	0.1	0.2	0.8	3
39	Escolher	0.6	0.4	0.4	0.6	3
40	Dramatizar	0.8	0.2	0.3	0.7	3
41	Explicar	0.6	0.4	0.3	0.7	3

Tabela A.2: Atividades instrucionais presentes na base de dados pedagógicos

ID	Atividade	Ativo	Reflexivo	Sensorial	Intuitivo	Processo Cognitivo
42	Generalizar	0.6	0.4	0.6	0.4	3
43	Julgar	0.8	0.2	0.2	0.8	3
44	Organizar	0.9	0.1	0.3	0.7	3
45	Pintar	0.9	0.1	0.6	0.4	3
46	Preparar	0.6	0.4	0.4	0.6	3
47	Produzir	0.8	0.2	0.3	0.7	3
48	Selecionar	0.7	0.3	0.4	0.6	3
49	Mostrar	0.7	0.3	0.4	0.6	3
50	Esboçar	0.6	0.4	0.4	0.6	3
51	Usar	0.8	0.2	0.6	0.4	3
52	Analisar	0.2	0.8	0.3	0.7	4
53	Categorizar	0.4	0.6	0.4	0.6	4
54	Classificar	0.2	0.8	0.3	0.7	4
55	Comparar	0.4	0.6	0.3	0.7	4
56	Diferenciar	0.2	0.8	0.2	0.8	4
57	Identificar	0.4	0.6	0.4	0.6	4
58	Inferir	0.1	0.9	0.2	0.8	4
59	Pontuar	0.7	0.3	0.4	0.6	4
60	Selecionar	0.4	0.6	0.6	0.4	4
61	Subdividir	0.4	0.6	0.4	0.6	4
62	Inspecionar	0.6	0.4	0.6	0.4	4
63	Apreciar	0.2	0.8	0.8	0.2	5
64	Avaliar	0.1	0.9	0.2	0.8	5
65	Julgar	0.2	0.8	0.8	0.2	5
66	Criticar	0.2	0.8	0.6	0.4	5
67	Defender	0.4	0.6	0.6	0.4	5
68	Comparar	0.2	0.8	0.6	0.4	5
69	Escolher	0.7	0.3	0.7	0.3	6
70	Combinar	0.6	0.4	0.7	0.3	6
71	Compor	0.7	0.3	0.7	0.3	6
72	Construir	0.6	0.4	0.6	0.4	6
73	Criar	0.8	0.2	0.6	0.4	6
74	Projetar	0.8	0.2	0.8	0.2	6
75	Desenvolver	0.8	0.2	0.4	0.6	6
76	Fazer	0.8	0.2	0.6	0.4	6
77	Formular	0.2	0.8	0.2	0.8	6
78	Hipotetizar	0.2	0.8	0.2	0.8	6
79	Inventar	0.5	0.5	0.5	0.5	6
80	Sistematizar	0.6	0.4	0.6	0.4	6
81	Planejar	0.5	0.5	0.5	0.5	6
82	Produzir	0.7	0.3	0.4	0.6	6
83	Dizer	0.6	0.4	0.6	0.4	6

Apêndice B

Ações instrucionais no Formato PDDL

```
(define  (domain STI)
         (:requirement :strips :typing :equality :adl )
         (:types CONCEITOS)
         (:predicates (ECONCEITO ?x) (ESUBCONCEITO ?x)
         (TEMSUBCONCEITO ?x ?y)(REQUER ?x ?y)(CONCEITOAPRENDIDO ?y)
         (SUBCONCEITOAPRENDIDO ?x)(INTRODUZIDO ?x))

         (:action APRENDER
         :parameters (?x - CONCEITO)
         :preconditions (and (forall (?y)(when (and (REQUER ?x ?y)
         (or (ECONCEITO ?y)(ESUBCONCEITO ?y)))
         (or (CONCEITOAPRENDIDO ?y)(SUBCONCEITOAPRENDIDO ?y))))
         (ECONCEITO ?x)(forall(?z)(when (and (TEMSUNCONCEITO ?x ?y)
         (or (ECONCEITO ?z)(ESUBCONCEITO ?z)))
         (or(CONCEITOAPRENDIDO ?z)(SUBCONCEITOAPRENDIDO ?z))))
         (forall (?m)(when (and (ECONCEITO ?m)(or (REQUER ?m ?x)
         (TEMSUBCONCEITO ?m ?x)))(INTRODUZIDO ?m))))
         :effect (INTRODUZIDO ?x))

         (:action APRENDERSUBCONCEITO
         :parameters (?x - CONCEITO)
         :preconditions (and (ESUBCONCEITO ?x)(exists (?m)(and
         (TEMSUNCONCEITO ?m ?x)(INTRODUZIDO ?x)(ECONCEITO ?m)))
         (forall (?y)(when (and (REQUER ?x ?y)(or (ECONCEITO ?Y)
         (ESUBCONCEITO ?y))) (or (CONCEITOAPRENDIDO ?y)
         (SUBCONCEITOAPRENDIDO ?y)))))
         :effect (SUBCONCEITOAPRENDIDO ?x))
```

```
    (:action CONCLUIRCONCEITO
    :parameters (?x - CONCEITO)
    :preconditions (and (ECONCEITO ?x)(forall (?y)(when (and
    (or (ECONCEITO ?y)(ESUBCONCEITO ?y))(TEMSUBCONCEITO ?x ?y))
    (or (CONCEITOAPRENDIDO ?y)(SUBCONCEITOAPRENDIDO ?y)))))
    :effect (CONCEITOAPRENDIDO ?x))
)
```

Apêndice C

Índice de Estilos de Aprendizagem – ILS de Felder e Soloman

1. Eu compreendo melhor alguma coisa depois de:
   (a) experimentar;
   (b) refletir sobre ela.

2. Eu me considero:
   (a) realista;
   (b) inovador (a).

3. Quando eu penso sobre o que fiz ontem, é mais provável que aflorem:
   (a) figuras;
   (b) palavras.

4. Eu tendo a:
   (a) compreender os detalhes de um assunto, mas a estrutura geral pode ficar imprecisa;
   (b) compreender a estrutura geral de um assunto, mas os detalhes podem ficar imprecisos.

5. Quando estou aprendendo algum assunto novo, me ajuda:
   (a) falar sobre ele;
   (b) refletir sobre ele.

6. Se eu fosse um professor, eu preferiria ensinar uma disciplina:
   (a) que trate com fatos e situações reais;
   (b) que trate com idéias e teorias.

7. Eu prefiro obter novas informações através de:
   (a) figuras, diagramas, gráficos ou mapas;
   (b) instruções escritas ou informações verbais.

8. Quando eu compreendo:
   (a) todas as partes, consigo entender o todo;
   (b) o todo, consigo ver como as partes se encaixam.

9. Em um grupo de estudo, trabalhando um material difícil, eu provavelmente:
   (a) tomo a iniciativa e contribuo com idéias;
   (b) assumo uma posição discreta e escuto.

10. Acho mais fácil:
   (a) aprender fatos;
   (b) aprender conceitos.

11. Em um livro com uma porção de figuras e desenhos, eu provavelmente:
   (a) observo as figuras e desenhos cuidadosamente;
   (b) atento para o texto escrito.

12. Quando resolvo problemas de matemática, eu:
   (a) usualmente trabalho de maneira a resolver uma etapa de cada vez;
   (b) freqüentemente antevejo as soluções, mas tenho que me esforçar muito para conceber as etapas para chegar a elas.

13. Nas disciplinas que cursei eu:
   (a) em geral fiz amizade com muitos dos colegas;
   (b) raramente fiz amizade com muitos dos colegas.

14. Em literatura de não-ficção, eu prefiro:
   (a) algo que me ensine fatos novos ou me indique como fazer alguma coisa;
   (b) algo que me apresente novas idéias para pensar.

15. Eu gosto de professores:
   (a) que colocam vários diagramas no quadro;
   (b) que gastam bastante tempo explicando.

16. Quando estou analisando uma estória ou novela eu:
   (a) penso nos incidentes e tento colocá-los juntos para identificar os temas;
   (b) tenho consciência dos temas quando termino a leitura e então tenho que voltar atrás para encontrar os incidentes que os confirmem.

17. Quando inicio a resolução de um problema para casa, normalmente eu:
   (a) começo a trabalhar imediatamente na solução;
   (b) primeiro tento compreender completamente o problemas.

18. Prefiro a idéia do:
    (a) certo;
    (b) teórico.

19. Relembro melhor:
    (a) o que vejo;
    (b) o que ouço.

20. É mais importante para mim que o professor:
    (a) apresente a matéria em etapas seqüenciais claras;
    (b) apresente um quadro geral e relacione a matéria com outros assuntos.

21. Eu prefiro estudar:
    (a) em grupo;
    (b) sozinho.

22. Eu costumo ser considerado (a):
    (a) cuidadoso (a) com os detalhes do meu trabalho;
    (b) criativo (a) na maneira de realizar meu trabalho.

23. Quando busco orientação para chegar a um lugar desconhecido, eu prefiro:
    (a) um mapa;
    (b) instruções por escrito.

24. Eu aprendo:
    (a) num ritmo bastante regular. Se estudar pesado, eu "chego lá";
    (b) em saltos. Fico totalmente confuso (a) por algum tempo, e então, repentinamente eu tenho um "estalo".

25. Eu prefiro primeiro:
    (a) experimentar as coisas;
    (b) pensar sobre como é que eu vou fazer.

26. Quando estou lendo como lazer, eu prefiro escritores que:
    (a) explicitem claramente o que querem dizer;
    (b) dizem as coisas de maneira criativa, interessante.

27. Quando vejo um diagrama ou esquema em uma aula, relembro mais facilmente:
    (a) a figura;
    (b) o que o professor disse a respeito dela.

28. Quando considero um conjunto de informações, provavelmente eu:
    (a) presto mais atenção nos detalhes e não percebo o quadro geral;
    (b) procuro compreender o quadro geral antes de atentar para os detalhes.

29. Relembro mais facilmente:
    (a) algo que fiz;
    (b) algo sobre o que pensei bastante.

30. Quando tenho uma tarefa para executar, eu prefiro:
    (a) dominar uma maneira para a execução da tarefa;
    (b) encontrar novas maneiras para a execução da tarefa.

31. Quando alguém está me mostrando dados, eu prefiro:
    (a) diagramas ou gráficos;
    (b) texto sumarizando os resultados.

32. Quando escrevo um texto, eu prefiro trabalhar (pensar a respeito ou escrever):
    (a) a parte inicial do texto e avançar ordenadamente;
    (b) diferentes partes do texto e ordená-los depois.

33. Quando tenho que trabalhar em um projeto em grupo, eu prefiro que se faça primeiro:
    (a) um debate (brainstorming) em grupo, onde todos contribuem com idéias;
    (b) um brainstorming individual, seguido de reunião do grupo para comparar as idéias.

34. Considero um elogio chamar alguém de:
    (a) sensível;
    (b) imaginativo.

35. Das pessoas que conheço em uma festa, provavelmente eu me recordo melhor:
    (a) da sua aparência;
    (b) do que eles disseram sobre si mesmos.

36. Quando estou aprendendo um assunto novo, eu prefiro:
    (a) concentrar-me no assunto, aprendendo o máximo possível;
    (b) tentar estabelecer conexões entre o assunto e outros com ele relacionados.

37. Mais provavelmente sou considerado (a):
    (a) expansivo (a);
    (b) reservado (a).

38. Prefiro disciplinas que enfatizam:
    (a) material concreto (fatos, dados);
    (b) material abstrato (conceitos, teorias).

39. Para entretenimento, eu prefiro:
    (a) assistir televisão;
    (b) ler um livro.

40. Alguns professores iniciam suas preleções com um resumo do que irão cobrir. Tais resumos são:
    (a) de alguma utilidade para mim;
    (b) muito úteis para mim.

41. A idéia de fazer o trabalho de casa em grupo, com a mesma nota para todos do grupo:
    (a) me agrada;
    (b) não me agrada.

42. Quando estou fazendo cálculos longos:
    (a) tendo a repetir todos os passos e conferir meu trabalho cuidadosamente;
    (b) acho cansativo conferir o meu trabalho e tenho que me esforçar para fazê-lo.

43. Tendo a descrever os lugares onde estive:
    (a) com facilidade e com bom detalhamento;
    (b) com dificuldade e sem detalhamento.

44. Quando estou resolvendo problemas em grupo, mais provavelmente eu:
    (a) penso nas etapas do processo de solução;
    (b) penso nas possíveis conseqüências, ou sobre as aplicações da solução, para uma ampla faixa de áreas.