UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC e seu Instrumento de Otimização – *Web*-ECoTEC

ELIANE ELIAS FERREIRA DOS SANTOS

SETEMBRO

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC e seu Instrumento de Otimização – *Web*-ECoTEC

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia por **Eliane Elias Ferreira dos Santos,** como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Processamento da Informação.

Banca Examinadora:

Gilberto Arantes Carrijo, Dr. (UFU) – Orientador

Elise Barbosa Mendes, Drª. (UFU) – Co-Orientadora

Alexandre Cardoso, Dr. (UFU)

Elisa Maria Quartiero, Drª. (UDESC)

João Bosco da Mota Alves, Dr. (UFSC)

Uberlândia, 16 de setembro de 2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237e Santos, Eliane Elias Ferreira dos, 1964-
Estrutura cognitiva para tecnologias educacionais construtivistas – ECoTEC e seu instrumento de otimização – Web-ECoTEC / Eliane Elias Ferreira dos Santos. - 2009.
161 f. : il.

Orientador: Gilberto Arantes Carrijo.
Co-orientadora: Elise Barbosa Mendes.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. Ensino gerenciado por computador - Teses. 2. Piaget, Jean, 1896-1980 - Teses. I. Carrijo, Gilberto Arantes, 1948- II. Mendes, Elise Barbosa. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 371.39:681.3

Elaborado pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC e seu Instrumento de Otimização – *Web*-ECoTEC

ELIANE ELIAS FERREIRA DOS SANTOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia por **Eliane Elias Ferreira dos Santos,** como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Processamento da Informação.

Prof. Gilberto Arantes Carrijo, Dr.	Prof. Alexandre Cardoso, Dr.
Orientador	Coordenador do curso de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

À memória de meus pais.

Dedico este trabalho ao meu marido Marco Paulo
por me amar sempre, até quando eu não mereço
(mas preciso) e aos meus filhos Marco Túlio e
Paulo César por suportarem minha ausência.
Frequentemente o cansaço e as preocupações foram
sentidos e compartilhados. Muitas vezes me afastei
de vocês e me apeguei aos livros e ao computador...
Hoje venci... cheguei lá...
A alegria desta conquista também é de vocês, afinal
amor, estímulo, carinho, compreensão e (muita)
paciência são a alma desta vitória.

AGRADECIMENTOS

"Obrigado Senhor por tudo isso..."

Sinceros agradecimentos:

Ao professor Dr. Gilberto Arantes Carrijo pela oportunidade e confiança em mim depositada e por conduzir com competência este trabalho.

À professora Drª. Elise Barbosa Mendes pela disponibilidade e pelas orientações.

Aos professores do programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT responsáveis por parte desta conquista.

Aos amigos Aleandra e Vinícius pela parceria e cumplicidade que só os verdadeiros amigos possuem. Foi mágico conviver e aprender com vocês.

À Marli, pelo profissionalismo e presteza.

À Cínara, uma convivência recente, mas com muita presteza.

À Valéria pelo incentivo e parceria no início do curso.

Aos amigos Alexandre, Claiton, Éderson, Ezequiel, Luciano, Marlene, Ricardo, Thayso e Vinícius (os meninos) pelo prazer da caminhada e pela disponibilidade, sempre.

Aos demais colegas da pós-graduação pelo convívio.

Na pessoa da Profª Elizabet Rezende de Faria agradeço a Universidade Federal de Uberlândia / Escola de Educação Básica – ESEBA, instituição à qual pertenço, pela oportunidade.

À minha irmã Sirlene pela revisão no texto e por dar "colo" aos meus filhos em momentos em que o cansaço e a correria me impediram de fazê-lo.

Aos meus irmãos Mauro e Renni pelo apoio discreto e por vezes silencioso, mas importante.

À minha sogra Maria Alice por dar "colo" aos meus filhos e por me apoiar sempre.

Muito obrigada a todos.

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas i
Lista de figuras ii
Lista de tabelas v
Resumo vi
Abstract vii
CAPÍTULO 1 – Introdução 01
1.1 – Objetivo geral e específico 02
1.2 – Justificativa 06
1.3 – Estrutura da tese 06
CAPÍTULO 2 – Referencial Teórico 09
2.1 – Aspectos pedagógicos em modelos de avaliação de FCE 10
2.1.1 – A escala de avaliação desenvolvida por Reeves & Harmon 12
2.1.2 – O modelo Jigsaw, de Squires & Preece 13
2.1.3 – Methodologie d'Evaluation des Didacticiels pour Adultes - a ferramenta MEDA 14
2.1.4 – Método de avaliação de software multimídia de Cronje 15
2.1.5– Técnica de Inspeção Ergonômica de Software Educacional – TICESE 17
2.1.6 – O método Evaluation des logiciels Multimédia Pédagogiques Interactifs - E.M.P.I. 19
2.1.7 – Modelo de avaliação de software educacional – TUP 20
2.1.8 – Método de Avaliação Ergopedagógica de Produtos Educacionais Informatizados - MAEP 22
2.1.9 – Conjunto de Métrica para Avaliar Software Educativo - MECSE 25
CAPÍTULO 3 – Metodologias para Elaboração e Validação 28
3.1 – Metodologia para elaboração da estrutura cognitiva ECoTEC 28
3.2 – Metodologia para elaboração do instrumento de otimização *Web*-ECoTEC 29
3.3 – Metodologia para validação do ECoTEC 30
CAPÍTULO 4 – Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas - ECoTEC 32

4.1 – Atividade operatória 34
4.1.1 – Atividade operatória no estágio operacional concreto 35
4.1.2 – Atividade operatória no estágio operacional formal.....37
4.2 – Interação 38
4.2.1 – A interação no estágio concreto 41
4.2.2 – A interação no estágio formal..... 42
4.3 – Cooperação 43
4.3.1 – A cooperação no estágio concreto 45
4.3.2 – A cooperação no estágio formal 46
CAPÍTULO 5 – Questões, Métricas e Medidas da Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas - ECoTEC 48
5.1 – O processo de medição 48
5.1.1 – A formulação do processo de medição 48
5.1.1.1 – O objetivo da medição 49
5.1.1.2 – O conjunto de questões: características e subcaracterísticas 49
5.1.1.3 – Questões do módulo Atividades Operatórias 51
5.1.1.4 – Questões do módulo Interação 59
5.1.1.5 – Questões do módulo Cooperação 61
5.2 – As métricas derivadas das questões e as medidas correspondentes 63
5.3 – As expressões das métricas..... 63
5.4 – O cálculo das expressões e o indicador de aplicação das ferramentas matemáticas 69
5.4.1 – Indicadores no módulo Atividades Operatórias 70
5.4.2 – Indicadores no módulo Interação 76
5.4.3 – Indicadores no módulo Cooperação 76
CAPÍTULO 6 - O Instrumento de Otimização *Web*-ECoTEC 79
6.1 - Características gerais..... 79
6.2 - A organização do *Web*-ECoTEC..... 80
6.3 - A estrutura da informação 81
6.4 - As interfaces..... 84
6.5 - Os *applets*..... 94
6.6 - Algumas funcionalidades do *Web*-ECoTEC 95
6.7 – A caracterização das FCE por meio do *Web*-ECoTEC 95
6.7.1 - Redes sistêmicas..... 95

6.7.2 – Conclusão geral do *checklist* 96
CAPÍTULO 7 - Resultados e Discussão 99
7.1 – Resultados 99
7.1.1 - Ferramenta A 99
7.1.1.1 - Ferramenta A – opção "Conclusão geral" 107
7.1.2 - Ferramenta B 111
7.1.2.1 - Ferramenta B – opção "Conclusão geral" 115
7.1.3 - Ferramenta C 118
7.1.3.1 - Ferramenta C – opção "Conclusão geral" 123
7.1.4 - Ferramenta D 126
7.1.4.1 - Ferramenta D – opção "Conclusão geral" 131
7.2 - Discussão 134
7.2.1 – Módulo Atividades Operatórias 134
7.2.2 – Módulo Interação 136
7.2.3 – Módulo Cooperação 137
CAPÍTULO 8 – Conclusão e Trabalhos Futuros 139
8.1 - Conclusão 139
8.2 – Trabalhos futuros 141

Referências Bibliográficas 143

LISTA DE ABREVIATURAS

ECoTEC - Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas

E.M.P.I. - *Evaluation des logiciels Multimédia Pédagogiques Interactifs*

FCE - Ferramentas Computacionais para a Educação

GQM - *Goal/ Question/Metric*

HTML - *HyperText Markup Language*

HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*

IMM - *Interactive Multimedia*

INRC - Identidade – Inversão (Negação) – Reciprocidade - Correlatividade

MAEP - Método de Avaliação Ergopedagógica de Produtos Educacionais Informatizados

MECSE - Conjunto de Métricas para Avaliar Software Educativo

MEDA - *Methodologie d'Evaluation des Didacticiels pour Adultes*

MySQL[1] - Acrônimo definido apenas para a parte SQL.

PHP - *Hypertext Preprocessor*

SGBD - Servidor e Gerenciador de Banco de Dados

SQL - *Structured Query Language* - Linguagem de Consulta Estruturada

TICESE - Técnica de Inspeção Ergonômica de Software Educacional

TUP - Technology Usability e Pedagogy

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

WWW - *World Wide Web*

[1] A origem do nome MySQL não é bem definida. O diretório base e um grande número de bibliotecas e ferramentas sempre tiveram o prefixo "my" por pelo menos 10 anos. A filha de Monty (um dos criadores do MySQL) também ganhou o nome My. Qual das duas originou o nome do MySQL continua sendo um mistério. <http://dev.mysql.com/doc/refman/4.1/pt/history.html> Acesso em 28 jan. 2008.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção do conhecimento 04
Figura 2 −Exemplo de aplicação da escala pedagógica de Reeves & Harmon..... 12
Figura 3 − Níveis das tarefas no modelo Jigsaw 14
Figura 4 − Modelo de Cronje. 15
Figura 5 − Critérios por categoria do MAEP..... 23
Figura 6 − Decomposição dos critérios pedagógicos..... 23
Figura 7 − Decomposição dos critérios de ensino-aprendizagem em subcritérios . . 24
Figura 8 - Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC. 33
Figura 9 - A atividade operatória 34
Figura 10 - A atividade operatória no estágio concreto 36
Figura 11 - A atividade operatória no estágio formal 37
Figura 12 - A interação..... 40
Figura 13 - A interação no estágio concreto..... 41
Figura 14 - A interação no estágio formal..... 42
Figura 15 - A cooperação 44
Figura 16 - A cooperação no estágio concreto 45
Figura 17 - A cooperação no estágio formal 46
Figura 18 - Diagrama-fluxograma da estrutura de comunicação do Web-ECoTEC ... 83
Figura 19 - A página principal do Web-ECoTEC..... 84
Figura 20 - Identificação do usuário-avaliador 85
Figura 21 - Cadastro de novo usuário 85
Figura 22 - A opção “Lembrar minha Senha”..... 86
Figura 23 - Opções disponíveis após login-usuário do usuário-avaliador. 87
Figura 24 - Tela do cadastro de software para avaliação 87
Figura 25 - A escolha da categoria de FCE..... 88
Figura 26 - A relação das FCE cadastradas para avaliação..... 88
Figura 27 - A relação das FCE cadastradas para “Ver Avaliação” 89
Figura 28 - A opção “Avaliar como anônimo” 90
Figura 29 - Link para os módulos do checklist 91

Figura 30 - Link dos módulos – opção “Ver conclusão” e botão “salvar conclusão” . 92
Figura 31 - Link dos módulos – opções “Ver conclusão” e “Refazer módulo”..... 93
Figura 32 - As três opções de respostas e o botão “Leia mais...” 94
Figura 33 - Mensagem de questões não respondidas 95
Figura 34 - As redes sistemas dos módulos: (A) Atividades Operatórias, (B) Interação e (C) Cooperação..... 96
Figura 35 - Organizador gráfico – conclusão geral 98
Figura 36 - Ferramenta A: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias 100
Figura 37 - Ferramenta A: laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias 101
Figura 38 - Ferramenta A: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação 105
Figura 39 - Ferramenta A: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação 106
Figura 40 - Rede Sistêmica – conclusão geral Ferramenta A..... .. 108
Figura 41 - Organizador gráfico – conclusão geral Ferramenta A..... 109
Figura 42 - Laudo de caracterização – conclusão geral Ferramenta A..... 110
Figura 43 - Ferramenta B: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias 112
Figura 44 - Ferramenta B: Laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias 113
Figura 45 - Ferramenta B: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação 114
Figura 46 - Ferramenta B: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação 115
Figura 47 - Rede sistêmica – conclusão geral Ferramenta B 116
Figura 48 - Organizador gráfico – conclusão geral Ferramenta B 117
Figura 49 - Organizador gráfico – conclusão geral Ferramenta B 118
Figura 50 - Ferramenta C: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias 119
Figura 51 - Ferramenta C: laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias. 120
Figura 52 - Ferramenta C: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação 122
Figura 53 - Ferramenta C: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação 123

Figura 54 - Rede sistêmica – conclusão geral Ferramenta C 124
Figura 55 - Organizador gráfico – conclusão geral Ferramenta C 125
Figura 56 - Laudo de caracterização – conclusão geral Ferramenta C 126
Figura 57 - Ferramenta D: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias 127
Figura 58 - Ferramenta D: laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias 128
Figura 59 - Ferramenta D: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação 130
Figura 60 - Ferramenta D: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação 131
Figura 61 - Rede sistêmica – conclusão geral Ferramenta D 132
Figura 62 - Organizador gráfico – conclusão geral Ferramenta D 133
Figura 63 - Laudo de caracterização – conclusão geral Ferramenta D 134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Publicações sobre checklists para área educacional de 1981 a 1992 10
Tabela 2 - Quadro sumário do modelo de Cronje..... 16
Tabela 3 - Carta de adequação do modelo de Cronje 17
Tabela 4 - Critérios didáticos avaliados e exemplos de questões do método E.M.P.I.....19
Tabela 5 - Subaspectos pedagógicos e questões associadas no Modelo TUP 21
Tabela 6 - Métricas do MECSE para avaliação da qualidade de software educativo..26
Tabela 7 - Métricas para os agrupamentos lógicos e para os esquemas operatórios com estrutura formal..... 51
Tabela 8 - Métricas para a interação entre sujeito-meio físico 60
Tabela 9 - Métricas para as trocas sociais lógicas de ações e de pensamentos 62
Tabela 10 - Indicadores de habilidades operatórias..... 65
Tabela 11 - Indicadores de recursos para habilidades de interação do sujeito com o meio físico e com o meio social 67
Tabela 12 - Indicadores de habilidades de cooperação entre os pares..... 67
Tabela 13 - Combinações possíveis com uma cara e um chapeu.....121

RESUMO

Nesta pesquisa se desenvolveu uma metodologia de avaliação para ferramentas computacionais para a educação – FCE, denominada de Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas - ECoTEC. Esta metodologia detecta a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático por meio das atividades propostas nas FCE. Na concepção do ECoTEC utilizou-se uma estratégia de análise que compreende: a organização da estrutura cognitiva do pensamento lógico-matemático segundo a teoria operatória de Piaget; a diferenciação dos conceitos essenciais desta teoria; e uma desconstrução da teoria operatória de Piaget. Fez-se um desdobramento ascendente dos principais conceitos e os organizou em uma espécie de rede integrada e complementar. A estrutura permite compreender as estruturas de pensamento nos períodos operatório concreto e operatório formal, segundo a atividade operatória, a interação e a cooperação. A partir desta estrutura estabeleceu-se um processo de medição. Utilizou-se como estratégia de desenvolvimento o paradigma GQM (Goal/ Question/Metric), uma técnica para identificação de métricas significativas. Para automatizar a coleta de dados para o usuário e auxiliar no cálculo das métricas para a caracterização das FCE desenvolveu-se um instrumento de otimização denominado de *Web*-ECoTEC. A validação do ECoTEC enquanto metodologia de avaliação de FCE revelou sua potencialidade para caracterizar estas ferramentas segundo a estrutura de pensamento desenvolvida. As avaliações geradas pela metodologia podem orientar professores, pedagogos e profissionais da educação na seleção de FCE, uma vez que estas avaliações apresentaram as estruturas do pensamento lógico-matemático que podem ser trabalhadas com as FCE avaliadas. A utilização do *Web*-ECoTEC para validação, também se apresentou eficiente na coleta das respostas e na geração dos resultados de caracterização das FCE.

Palavras-chave: avaliação de *software* educacional, pensamento lógico-matemático, teoria operatória, teoria de Piaget.

ABSTRACT

This research developed a method of evaluation for computer tools for education (FCE), called Structure Cognitive for Education Technologies Constructivists (ECoTEC). This methodology detects the construction of structures of logical-mathematical thinking through the proposed activities on FCE. In the ECoTEC conception was used a strategy of analysis which includes: organization of cognitive structure of logical-mathematical thinking according to Piaget operative theory; the differentiation of essential concepts of this theory; and the deconstruction of Piaget operative theory. It was made an ascendant unfolding of principal concepts and organized them in a sort of integrated network and additional. The structure allows comprehending the structures of thinking in the concrete operative periods and formal operative, according to the operative activities, the interaction and the cooperation. From this structure it was established a process of measurement. It was used as a strategy for development the paradigm GQM (Goal/Question/Metric), a technique for identification of significant metrics. To automate the collection for information to the user and assist in calculation of the metrics for the characterization of FCE was developed an instrument of optimization called *Web*-ECoTEC. The validation of *Web*-ECoTEC while methodology of evaluation of FCE revealed his potentiality to characterize these tools according to the structure of thinking developed. The evaluations generated by the methodology can guide teachers, educators and educational professionals in the selection of FCE, since that these evaluations showed the structures of logical-mathematical thinking which can be used with the FCE evaluated. The utilization of Web-ECoTEC for validation, also presented efficient in the collection of answers and in generation of results of characterization of FCE.

Keywords: evaluation of educational software, logical-mathematical thinking, operative theory, Piaget theory.

CAPÍTULO 1

Introdução

A partir da década de 70, houve um crescimento acelerado na produção de *softwares* educacionais no mercado mundial. Desde então Inglaterra, França, Estados Unidos, Brasil, entre outros países desenvolvem projetos de uso do microcomputador na educação. A evolução desses projetos levou ao desenvolvimento de *softwares* para os mais diversos conteúdos programáticos. Neste contexto, os pesquisadores, desenvolvedores e usuários utilizam os termos *software* educacional ou *software* educativo, *courseware*, programas educativos por computador, entre outros. Segundo Campos (1989) ambos os termos significam material educacional para microcomputadores. Nesta pesquisa refere-se a estes materiais como ferramentas computacionais para a educação (FCE).

Atualmente, a maioria das FCE é desenvolvida pela conjugação da tecnologia computacional ou informática com a tecnologia das telecomunicações, com ênfase na Internet. Este tipo de combinação tem sido aplicado aos diversos tipos e modalidades de formação presencial e/ou à distância. Existe uma expectativa de que as FCE desenvolvidas com base nesta conjugação possam agregar potencial pedagógico aos processos de ensino e aprendizagem. Entretanto, o que se observa é que a utilização de FCE ocorre de forma menos intensa do que o seu desenvolvimento. Muitas são as causas para esta realidade, desde aspectos financeiros até os didático-pedagógicos. Coburn, (1982), Ennals, Gwyn e Zdrachev (1986), Stahl, (1988), Campos, (1989), Rocha e Campos (1993), Crozat et al. (1999), Elissavet e Economides, (2000), Silva (2002) falam em falta de qualidade dessas ferramentas e apontam as inúmeras dificuldades que contribuem para tal. Do ponto de vista prático, a verdade é que existem muitas dúvidas por parte dos educadores, professores e outros profissionais em relação à escolha e utilização destes materiais.

Os pesquisadores buscam respostas para estes questionamentos. Desenvolvem-se metodologias e instrumentos para medir a qualidade de FCE. Buscam-se métodos mais eficazes para auxiliar a tomada de decisão em relação à utilização e/ou aquisição destas ferramentas. Mas ainda há muito a ser feito, Dudley-Marling e Owston (1987) e Bork (1987) *apud* Rocha e Campos (1993) assinalaram que as questões relativas à qualidade do software ainda persistem embora sua quantidade esteja aumentando.

Medir a qualidade de FCE é uma tarefa que envolve a determinação de medidas indiretas e de caráter subjetivo. A medição, enquanto processo, compreende a avaliação de fatores técnicos e pedagógicos (ELISSAVET e ECONOMIDES, 2000).

A avaliação dos fatores técnicos tem sua origem no contexto da engenharia de software. Para tanto, existem instrumentos oficiais (normas ISO 9126, ISO 12119, ISO 14598, ISO 9241, ISO 12207, entre outras) que estabelecem normas, critérios, recomendações e requisitos para avaliação da qualidade tanto no desenvolvimento do projeto quanto do produto.

A avaliação dos fatores pedagógicos compreende múltiplas dimensões não só de natureza pedagógica como também de natureza ideológica e psicológica, o que caracteriza o processo de avaliação da qualidade de FCE como uma atividade complexa (ROCHA e CAMPOS, 1993; ELISSAVET e ECONOMIDES, 2000; SILVA, 2002).

Segundo Depover et al. (1998), é no nível pedagógico que ocorre a identificação e a avaliação das escolhas dos projetistas das FCE quanto à natureza do objeto a aprender e à maneira pela qual a aprendizagem pode ocorrer.

Atualmente, a maioria das FCE tem como perspectiva epistemológica norteadora o construtivismo (ELISSAVET e ECONOMIDES, 2000, COSTA et al., 2005). Esta perspectiva apoia a prática pedagógica com relação à interatividade, à aprendizagem colaborativa, à autonomia do sujeito e à forma de trabalhar o erro (COSTA et al., 2005).

A teoria construtivista tem suas raízes no campo da ciência cognitiva, particularmente nos trabalhos de Jean Piaget, Lev Vygotsky, Jerome Bruner, Howard Gardner e Nelson Goodman. A abordagem considerada nesta pesquisa refere-se à epistemologia genética de Jean Piaget, mais especificamente sobre o modelo de inteligência das estruturas lógico-matemáticas. E assim sendo, outra questão insere-se no rol das dúvidas de professores, pedagogos e outros especialistas: Qual metodologia de avaliação utilizar para selecionar as FCE, tendo em vista a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático?

1.1 – Justificativa

A teoria de Piaget, dentre outros estudos epistemológicos do autor, foi elaborada por pesquisa sobre a origem e desenvolvimento da inteligência e não se ocupa diretamente da aprendizagem educacional. Entretanto, as implicações da epistemologia genética nesta temática fazem com que, algumas vezes, ele seja considerado como teórico da aprendizagem

formal. Como uma teoria cognitiva, investiga o ato de conhecer, de que forma o ser humano conhece o mundo.

Piaget utilizou os conceitos referentes ao desenvolvimento biológico para pesquisar o desenvolvimento cognitivo, estabelecendo um paralelismo entre a vida e o conhecimento. Segundo Piaget (1952), os organismos vivos adaptam-se constantemente às mudanças do meio físico e ajudam a organizar o ambiente. Da mesma forma, os sujeitos do conhecimento adaptam-se ao meio que contém os objetos por eles conhecidos e organizam suas experiências.

Para Piaget (1970), o conhecimento é um processo, uma espécie de espiral, em que o sujeito, por meio de sucessivas ações e equilibrações internas e externas, constrói e reconstrói as estruturas de ação e pensamento que lhe permitem organizar e compreender o mundo. Por esse motivo, o próprio Piaget (1979) caracteriza sua teoria como um construtivismo estruturalista de tal forma que não há estruturas inatas; qualquer estrutura supõe uma construção e todas estas construções remontam uma a uma a estruturas anteriores.

A construção do conhecimento (Figura 1) ocorre a partir de ações exploratórias, experiências sobre o meio ambiente; a partir das quais, o sujeito captura dados brutos (conteúdo) a serem assimilados nos objetos desconhecidos. Em relação às experiências, Piaget considera três tipos: a física, como a manipulação de objetos; a lógico-matemática, como pensar e coordenar proposições; e a social, como interagir com outras pessoas.

Enquanto na experiência física buscam-se os atributos do objeto, na lógico-matemática buscam-se as possibilidades de manipulá-los (numerar, medir, situar, etc.) e na social buscam-se as possibilidades de intercâmbio cultural (LIMA, 1998). Dessas experiências, decorre a construção dos conhecimentos físico, lógico-matemático e social.

Na teoria de Piaget, a abstração empírica, responsável pela construção do conhecimento físico, ocorre quando o sujeito manipula e explora os objetos o que leva a descoberta de suas propriedades. O sujeito fixa sua atenção em apenas uma propriedade enquanto ignora as demais. É por meio dessas ações sobre os objetos que se descobrem e se constroem as noções de tamanho, altura, espessura, densidade, cor, flexibilidade, entre outras. Neste processo, os esquemas do aprendiz se adaptam às formas que poderão captar essa propriedade. O movimento exploratório do objeto visa atingir um dado exterior, donde se pode afirmar que a fonte do conhecimento físico é externa ao indivíduo. Desta forma, a interação entre sujeito e objeto constitui um princípio fundamental para a construção do conhecimento físico.

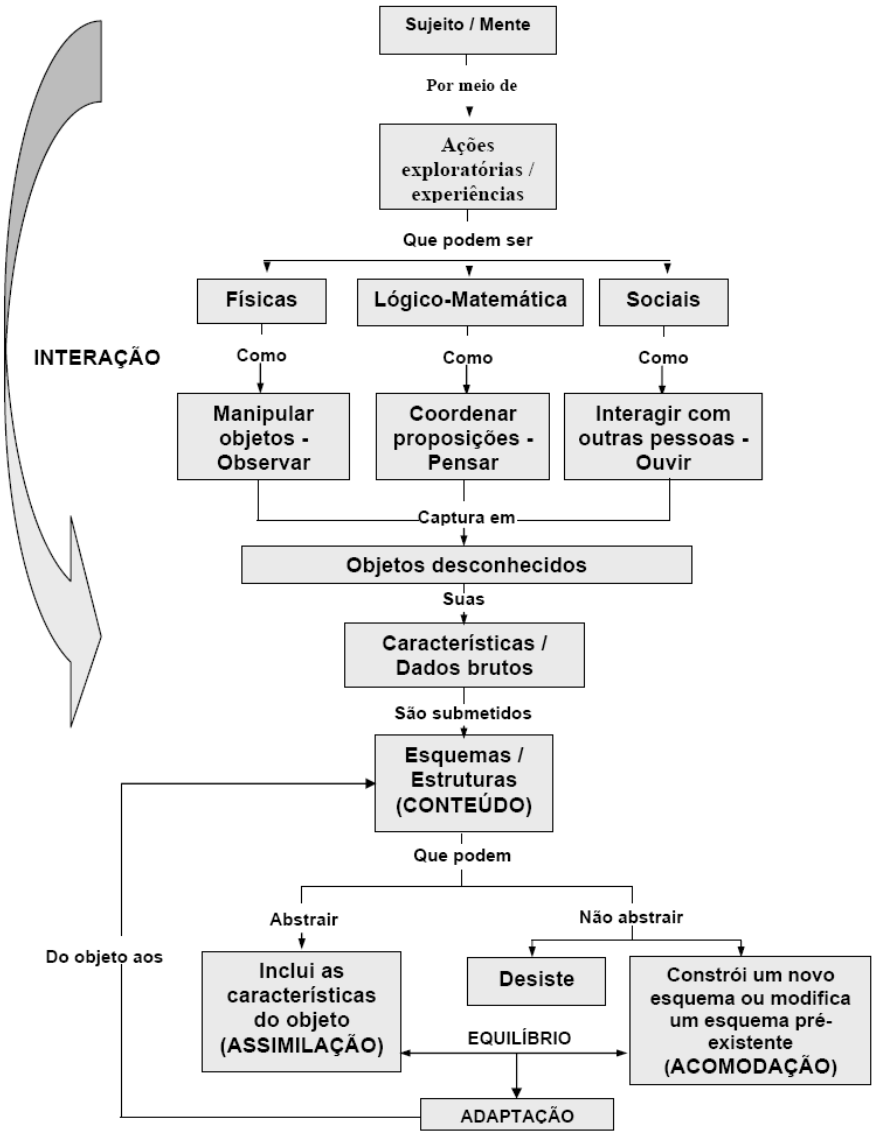

Figura 1- Construção do conhecimento.

Na teoria de Piaget, a abstração empírica, responsável pela construção do conhecimento físico, ocorre quando o sujeito manipula e explora os objetos o que leva a descoberta de suas propriedades. O sujeito fixa sua atenção em apenas uma propriedade enquanto ignora as demais. É por meio dessas ações sobre os objetos que se descobrem e se constroem as noções de tamanho, altura, espessura, densidade, cor, flexibilidade, entre outras. Neste processo, os esquemas do aprendiz se adaptam às formas que poderão captar essa propriedade. O movimento exploratório do objeto visa atingir um dado exterior, donde se pode afirmar que a fonte do conhecimento físico é externa ao indivíduo. Desta forma, a interação entre sujeito e objeto constitui um princípio fundamental para a construção do conhecimento físico.

O conhecimento lógico-matemático é construído a partir das ações exploratórias sobre os objetos. O componente mais importante deve ser a ação da criança e não o objeto em si (WADSWORTH, 1997). É por meio dessas ações e, mais ainda, das relações entre elas é que se constroem, por exemplo, os conceitos de número, comprimento, área, volume e massa.

O conhecimento lógico-matemático é estruturado a partir da abstração reflexiva, nela o sujeito organiza os objetos, coordena as ações e constrói relações entre eles através da sua representação mental. Neste processo, a forma se libera do conteúdo, a ação passa a não depender do objeto. "Essa abstração é uma construção verdadeira feita pela mente e não uma concentração sobre alguma coisa que já existe no objeto" (KAMII; DECLARK, 1993, p. 31), o que caracteriza a fonte do conhecimento lógico-matemático, as ações do sujeito, como interna.

Não existe abstração reflexiva sem a abstração empírica. A primeira apóia-se nas formas construídas na reflexão empírica e na coordenação de ações exploratórias mentais do sujeito. A abstração reflexiva propicia a reflexão interna, a reorganização mental, depura o pensamento ao se apropriar de um conhecimento já existente, já refletido para construir um novo conhecimento. Ocorre reflexão sobre a reflexão, denominada de pensamento reflexivo.

A ação do pensamento reflexivo, também chamada de meta-reflexão, propicia a constituição de sistemas lógico-matemáticos de caráter científico e de modelos mais complexos do pensamento.

O conhecimento físico, pela sua natureza, está associado com as operações concretas e sendo sua fonte externa ao indivíduo, é mais fácil criar situações de aprendizagem nas quais se podem evidenciar o comportamento do sujeito. Prova disso é que, segundo Flavell (1975), a formação das operações concretas é o capítulo mais rico da história evolutiva de Piaget, na medida em que contém uma abundância de dados empíricos extremamente interessantes. O mesmo não ocorre em relação ao conhecimento lógico-matemático, cuja fonte é interna.

1.2 – Objetivos geral e específicos

O **objetivo geral** desta pesquisa é propor uma metodologia de avaliação de FCE para detectar a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático características dos estágios operacionais concreto e formal por meio das atividades propostas nestas ferramentas.

Para tanto, se definiu como **objetivos específicos**:

a) construir e validar uma proposta, baseada na teoria operatória de Piaget[2], para caracterizar as FCE em função da construção das estruturas do pensamento lógico-matemático nos estágios operacionais concreto e formal;

b) desenvolver uma versão demonstrativa de um instrumento interativo da metodologia de avaliação para a coleta automatizada de dados e informações, e para o cálculo e a visualização dos resultados das avaliações.

1.3 – Relevância da pesquisa

É grande a diversidade de FCE, muitas delas são concebidas sob o paradigma construtivista. Desta forma, esta pesquisa mostra-se relevante por auxiliar professores, pedagogos e outros especialistas a selecionarem as FCE, tendo em vista a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático. Outra contribuição é promover diretrizes para a concepção de ferramentas computacionais que atendam a demanda por construção de conhecimento lógico-matemático.

1.4 - Estrutura da tese

A tese foi organizada em oito capítulos principais. No primeiro capítulo é apresentada uma introdução geral, os objetivos geral e específicos, bem como uma justificativa e relevância para a pesquisa e a forma estrutural do direcionamento da escrita do trabalho.

No segundo capítulo faz-se uma análise dos principais modelos de avaliação da qualidade de FCE que abordam os aspectos pedagógicos nestas ferramentas.

No terceiro capítulo descreve-se a metodologia para elaboração e validação da estrutura cognitiva, o ECoTEC. Utilizam-se métodos de pesquisa para o desenvolvimento da estrutura cognitiva e para a validação desta estrutura. Quanto ao tratamento das variáveis, optou-se pela pesquisa qualitativa (BOGDAN e BIKLEN, 1994; GODOY, 1995a; GODOY, 1995b) em função de uma análise da utilização da estrutura cognitiva para a real classificação de algumas ferramentas computacionais selecionadas pela pesquisadora.

No quarto capítulo apresenta-se a primeira etapa de uma proposta de metodologia para caracterização de FCE na perspectiva da construção das estruturas do pensamento lógico matemático. Para a elaboração desta proposta, denominada de ECoTEC – Estrutura Cognitiva

[2] A teoria operatória da inteligência de Piaget interpreta passo a passo as construções sucessivas e hierárquicas do pensamento em seu desenvolvimento (INHELDER e PIAGET, 1976).

para Tecnologias Educacionais Construtivistas, foi feita uma análise da teoria operatória de Piaget com vistas à organização da estrutura cognitiva do pensamento lógico-matemático. Fez-se uma diferenciação dos conceitos essenciais e uma desconstrução da teoria operatória de Piaget considerando-se três aspectos: a atividade operatória, a interação e a cooperação. Esses três aspectos foram interligados de forma complementar para a análise dos mecanismos de construção e coordenação do pensamento lógico-matemático no período operacional.

O objeto de estudo da pesquisa são as ferramentas computacionais construídas com base nos princípios construtivistas e direcionadas ao ensino de Matemática e Geometria no Ensino Fundamental. Sendo assim, no quinto capítulo apresenta-se a segunda etapa da proposta de metodologia da tese. Constrói-se um processo de medição para estas ferramentas com o objetivo de caracterizar as FCE, visando sua contribuição para o desenvolvimento das estruturas do pensamento lógico-matemático no período operatório. Para tanto, buscam-se recursos na engenharia de *software*. O foco do estudo está nas atividades propostas nas ferramentas. Neste sentido, como em Aebli (1978), a atividade é considerada um processo dinâmico, referente a manifestações que evoluem da infância à vida adulta, indo da ação efetiva à ação interiorizada e que, em dado nível torna-se operatória.

A ênfase da metodologia desenvolvida é a caracterização das FCE. Segundo Park, Goethert e Florac (1996) existem quatro razões para medir processos, produtos e recursos de *software*, ou mesmo de FCE: (1) para caracterizar, (2) para avaliar, (3) para prever ou (4) para aperfeiçoar. Dentre outras razões, eles argumentam que as medidas para a caracterização de *softwares* são realizadas para o entendimento dos processos, produtos, recursos e ambientes, e também para estabelecer marcos referenciais básicos e fazer comparação com futuras avaliações. A avaliação é feita para verificar o cumprimento de metas de qualidade. Faz-se previsões para poder planejar. As medidas por previsão envolvem o estabelecimento de relações entre processos e produtos, e a construção de modelos dessas relações. Deste modo, os valores observados podem ser usados para prever outros processos e produtos. As medidas para aperfeiçoar são realizadas quando se devem coletar informações quantitativas para ajudar a identificar bloqueios, causas fundamentais, ineficiências e outras oportunidades para melhorar a qualidade do produto e o desempenho do processo. Assim, o processo de medição estabelecido nesta pesquisa, por um lado, caracteriza as atividades propostas nas FCE buscando uma identificação dos processos intrínsecos a estas atividades com os processos de formação das estruturas do pensamento lógico-matemático segundo a teoria operatória de Piaget. Por outro lado, o ECoTEC, estrutura que originou esse processo de medição, poderá ser utilizado também para o *design* de FCE que atendam a demanda por FCE que ajudem a

construir as estruturas do pensamento formal. Desta forma, pode-se também utilizar o processo de medição para avaliar as FCE desenvolvidas com base no ECoTEC.

No sexto capítulo, faz-se o desenvolvimento do instrumento de otimização do ECoTEC, denominado de *Web*-ECoTEC. Este instrumento auxiliará numa coleta automatizada dos dados das FCE e no cálculo das métricas para a caracterização destas FCE. Esse instrumento tem a forma de um web site com localização no servidor da Universidade Federal de Uberlândia - UFU e é administrado pela pesquisadora. É formado por um conjunto de páginas na World Wide Web - WWW, no formato *HyperText Markup Language* - HTML, com ligações de hipertexto.

No sétimo capítulo faz-se a validação da metodologia proposta. Submeteram-se quatro FCE, denominadas de A, B, C e D, ao *Web*-ECoTEC. Apresentaram-se os respectivos resultados, bem como, a discussão. Para tal, fez-se uma comparação dos resultados obtidos por meio do *Web*-ECoTEC com os aspectos pedagógicos dos processos de medição analisados no capítulo dois.

No oitavo capítulo apresenta-se a conclusão da tese e perspectivas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Referencial Teórico

A presença ostensiva das tecnologias de informação no mundo atual tem impulsionado sua utilização também no meio escolar. Neste sentido, é crescente a oferta de FCE. Entretanto, o que se observa é que a utilização de FCE ocorre de forma menos intensa do que o seu desenvolvimento. Muitas são as causas para esta realidade, desde aspectos financeiros até os didático-pedagógicos. Coburn (1982), Ennals, et al. (1986), Stahl (1988), Campos (1989), Rocha e Campos (1993), Crozat et al. (1999), Elissavet e Economides (2000), e Silva (2002) falam em falta de qualidade dessas ferramentas e apontam as inúmeras dificuldades que contribuem para isso. Do ponto de vista prático, a verdade é que existem muitas dúvidas por parte dos educadores, professores e outros profissionais em relação à escolha e utilização destes materiais.

Os pesquisadores buscam respostas para estes questionamentos. Desenvolvem-se metodologias e instrumentos para medir a qualidade de FCE. Buscam-se métodos mais eficazes para auxiliar a tomada de decisão em relação à utilização e/ou aquisição destas ferramentas. Os *checklists* de avaliação são exemplos desses métodos. Os *checklists* são usados para "atribuir grau" a atributos específicos de *softwares* (CAVANO; MCCALL, 1978 *apud* PRESSMAN, 2002). Para a avaliação de FCE, esses instrumentos fornecem um conjunto compreensivo de questões de forma que os professores tenham critérios específicos para procederem ao prognóstico (GAMEZ, 1998). Os *checklists* permitem a sistematização dos processos de avaliação, orientando o olhar do avaliador sobre diversos aspectos de qualidade pré-definidos.

No processo de medição de FCE por meio de *checklists* utilizam-se escalas dimensionadas ou não dimensionadas na atribuição de grau a atributos específicos do *software*. Pode também ocorrer a utilização da forma binária, apresentada no formato sim ou não, o que indica presença ou ausência de determinados atributos nas FCE. Em qualquer dos casos, emitem-se laudos técnicos, conclusões, gráficos que de alguma forma atestam alguma manifestação da qualidade das FCE, nos termos da referência em que a avaliação foi definida.

2.1 - Aspectos pedagógicos em modelos de avaliação de FCE

Os estudos sobre avaliação relativos à aprendizagem assistida por computador são em número reduzido, de difícil acessibilidade e/ou são, muitas vezes, focalizados em situações específicas de uso (*softwares* profissionais) ou adaptações de metodologias existentes para formas de aprendizagens tradicionais (SILVA, 2002).

Squires e McDougall (1994) publicaram uma tabela (Tabela 1) com os principais *checklists* produzidos na área educacional entre 1981 e 1992.

Tabela 1 - Publicações sobre *checklists* para área educacional de 1981 a 1992.

Autores	**Ano de publicação**	**Título**
Heck, Johnson & Kansky	1981	Guidelines for Evaluating Computerized Instructional Materials
MicroSIFT	1982	Evaluation guide for Microcomputer−Based Instructional Packages. Microcomputer Software Information for Teachers.
Salvas & Tomas - Education Department of Victoria, Australia	1984	Evaluation of Software
Krause	1984	Choosing Computer Software that Works
Burt	1985	Software in the Classroom – A Form for Teacher Use
Coburn et al.	1985	Practical Guide to Computers in Education
Ministers of Education, Canada	1985	Software Evaluation
Preece & Jones	1985	Software Selection Criteria
Reay	1985	Evaluating Software for the Classroom
Templeton	1985	Choosing Software
Blease	1986	Choosing Educational Software: General Selection Criteria
Schall, Leake & Whitaker	1986	Computer Education: Literacy and Beyond
Office of Technology Assessment	1988	Characteristics considered in Evaluating Educational Software
EDUCOM	1989	Software snapshots: Where are you in the picture? An Invitation to Community College Faculty
National Council for Educational Technology	1992	Some Questions to Ask before Purchasing

Fonte: adaptado de Squires e McDougall (1994).

Squires e McDougall (1994), analisaram outros *checklists* além dos apresentados na tabela. Os autores afirmam que os modelos citados são suficientes para dar um panorama do que é produzido academicamente em torno da temática avaliação de FCE. Na análise desses *checklists* Squire e McDougall (1994) afirmam que quase todos apresentados tratam de aspectos técnicos como itens relativos à parte de *hardware* necessária para rodar o programa, à presença e qualidade da documentação e ao suporte para a impressão de materiais. Quanto

ao conteúdo do programa, verificam a facilidade de uso e a confiabilidade da operação. Na interface verificam o uso de cores, gráficos e som. Muitos desses itens são agrupados em títulos que expressam determinadas características do programa. Existem consideráveis variações na forma como essa organização é feita e nos títulos usados. Essas variações são atribuídas ao país de origem da lista, ao seu propósito específico e às preferências particulares dos designers do *checklist*.

A educação formal está associada aos diferentes contextos em que ela ocorre. Em sentido amplo, esse contexto engloba fatores econômicos, históricos, sociais e culturais. Desta forma, a produção de materiais para a educação, especificamente as FCE, é entendida como um processo dinâmico que procura englobar os avanços nos diferentes aspectos. E é natural que o desenvolvimento dos métodos de avaliação dessas ferramentas também evolua dinamicamente. Neste sentido, a partir de meados da década de 1990, a concepção e a avaliação de FCE adquiriu uma configuração caracterizada por diferentes interseções entre as áreas de Ergonomia de *Software*, Pedagogia, Psicologia da Aprendizagem e Engenharia de *Software.*

Nesta perspectiva, as propostas para avaliação de FCE examinam a atividade de ensino ou aprendizagem sob diferentes aspectos. Enfatizam conjuntos de temas diversificados como técnicos, pedagógicos, ergonômicos, comunicacionais, dentre outros. Existe uma preocupação clara em criar mecanismos de integração entre esses diferentes aspectos e facilitar a tomada de decisão. Para o propósito deste trabalho, analisaram-se alguns modelos de avaliação de FCE. Selecionaram-se, a partir de 1996, os modelos que de alguma forma fazem referência aos fatores pedagógicos presentes nas FCE. Observou-se para a escolha, os modelos que são citados em outros trabalhos desenvolvidos com a mesma finalidade e que não foram mencionados nesta pesquisa. A seleção de modelos foi organizada de maneira a fornecer um panorama do que tem sido desenvolvido academicamente nesta temática. Para a análise não se fez uma descrição detalhada desses processos. Ateve-se a uma descrição sucinta, suficiente para compreender, nestes modelos, os critérios analisados no fator pedagógico ou didático ou psicológico conforme as diferentes nomenclaturas utilizadas. Nesta pesquisa refere-se a estes fatores de maneira geral, como fatores pedagógicos. Esta análise será utilizada como escopo para o objetivo deste trabalho.

2.1.1 - A escala de avaliação desenvolvida por Reeves & Harmon

O modelo desenvolvido por Reeves e Harmon (1996) é formado por 24 critérios sendo que 14 referem-se à avaliação pedagógica e 10 à avaliação da interface com o usuário. Os critérios pedagógicos investigam a epistemologia, a filosofia pedagógica, a psicologia subjacente, a objetividade, o sequenciamento instrucional, a validade experimental, o papel do instrutor, a valorização do erro, a motivação, a estrutura, a acomodação das diferenças individuais, o controle do aluno, a atividade do usuário e o aprendizado cooperativo.

A avaliação de cada critério é feita por meio de procedimento gráfico. Utiliza-se uma escala não dimensionada. Em cada extremidade da escala são colocados os conceitos antagônicos que caracterizam o critério em avaliação. À direita fica o conceito mais positivo e, à esquerda, o conceito mais negativo. A conclusão da avaliação é obtida graficamente analisando-se a disposição dos pontos marcados nas setas e que devem ser ligados (Figura 2).

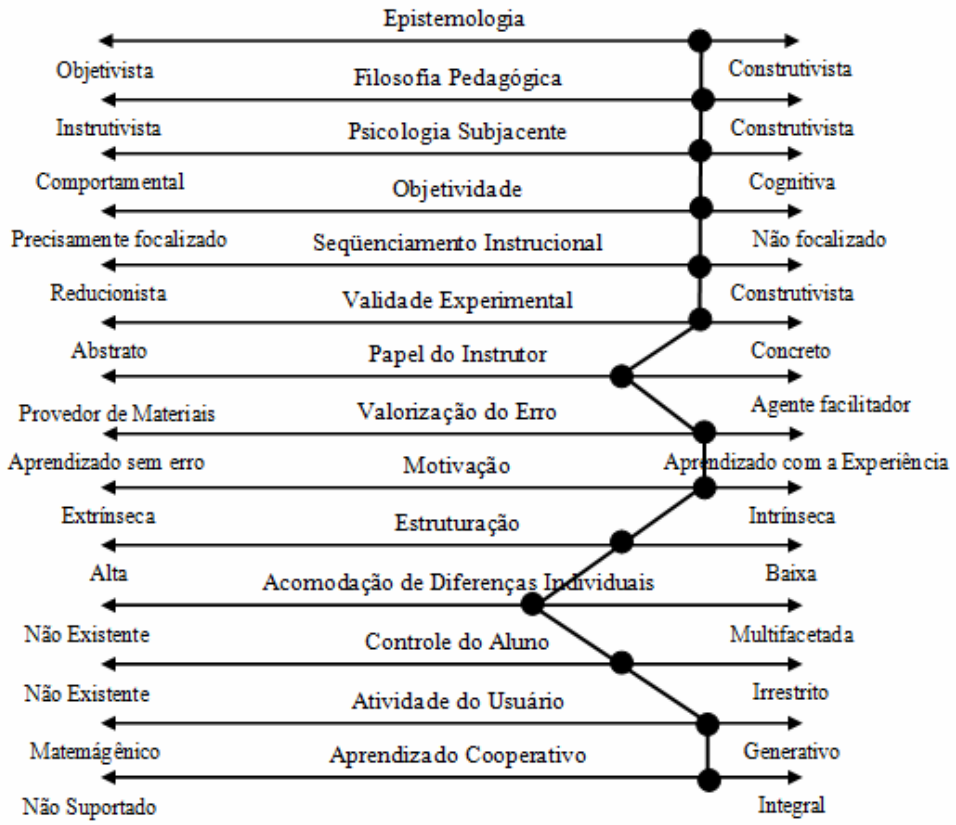

Figura 2 - Exemplo de aplicação da escala pedagógica de Reeves e Harmon.
Fonte: adaptado de Reeves e Harmon (1996)

Os critérios pedagógicos adotados por Reeves e Harmon (1996) não contemplam a caracterização de FCE em função da sua contribuição para a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático.

2.1.2 - O modelo Jigsaw, de Squires & Preece

O modelo Jigsaw, de Squires e Preece (1996), enfoca a integração da temática educacional e da usabilidade. A usabilidade está associada com a aplicação educacional em questão e não com o sistema operacional subjacente ou mesmo com questões de hardware e periféricos. Para Squires e Preece (1996), a cognição está distribuída entre os usuários, o meio ambiente e os artefatos de aprendizagem, o que inclui o computador. Segundo os autores, tal consideração tem como consequência a interpretação da aprendizagem auxiliada por computador com ênfase na teoria construtivista e em pesquisas sobre como o indivíduo constrói conceitos nos domínios de temas relevantes. Outro ponto apontado pelos autores é que a utilização de FCE é dependente do contexto educacional. Neste sentido, a aprendizagem por meio de FCE envolve além do desenvolvimento de conceitos e habilidades dentro do domínio de estudo, a necessidade do estudante aprender a operar o software efetivamente. O modelo Jigsaw (Figura 3) propõe uma integração entre três domínios: (a) das tarefas relativas à aprendizagem propriamente dita, (b) das tarefas computacionais e (c) das de aplicação das tecnologias de informação. Este modelo contempla três níveis de avaliação divididos conforme a integração dos diferentes domínios.

Destaca-se nesse modelo o domínio das atividades relacionadas com a tarefa de aprendizagem. Independente de o material utilizado ser ou não uma FCE, para que ocorra uma aprendizagem efetiva deve haver uma correlação entre os conceitos específicos e os conceitos mais gerais de um determinado domínio.

O domínio das tarefas computacionais preocupa-se com a utilização eficiente e efetiva do *software*. Neste domínio investiga-se a interação no nível de interface, por meio de funcionalidades tais como imprimir, salvar arquivos, utilizar as potencialidades dos sistemas operacionais. Investigam-se também as características específicas do aplicativo.

O domínio das atividades de aplicação das TI relaciona-se com as atividades requeridas pelo *software* para auxiliar a tarefa de aprendizagem em questão. As funções que o *software* provê devem ser pertinentes aos conceitos relacionados com a tarefa de aprendizagem. Isto

significa que as funções devem ser relacionadas tanto aos tópicos específicos em estudo quanto aos tópicos pertinentes aos conceitos e pré-requisitos básicos da área geral de estudo.
A análise realizada no modelo Jigsaw não revela preocupação com os aspectos relativos às contribuições da FCE na construção das estruturas do pensamento lógico-matemático.

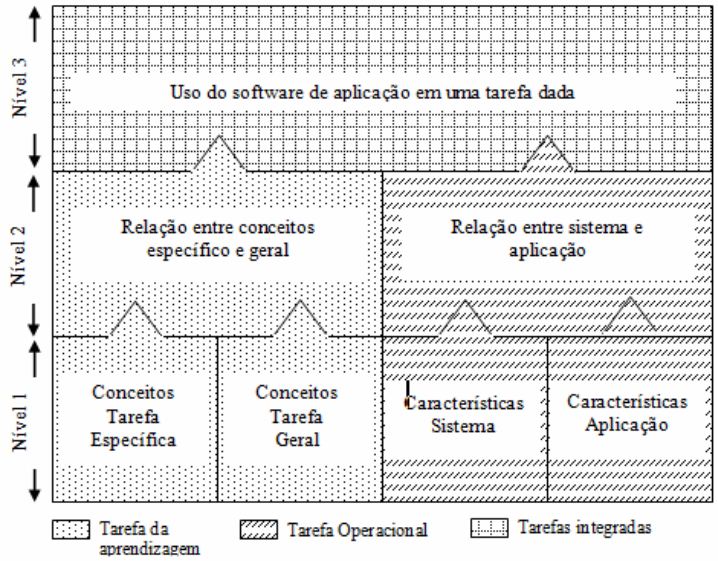

Figura 3 - Níveis das tarefas no modelo Jigsaw.
Fonte: adaptado de Squire e Preece (1996)

2.1.3 - Methodologie d'Evaluation des Didacticiels pour Adultes - a ferramenta MEDA

O MEDA (*apud* SILVA, 2002) é uma ferramenta multimídia de ajuda à avaliação de produtos educativos, resultado de um esforço conjunto de pesquisadores da Bélgica, França, Alemanha, Ingraterra e Itália pertencentes a *Réseau Européen de Recherche em Éducation et Formation*. Esta ferramenta tem como objetivo avaliar diferentes aspectos no desenvolvimento de FCE. Avalia-se a concepção, a utilização e a difusão do produto. A partir de cada um desses aspectos, foram definidas preocupações chamadas de polos de interesse. E a partir desses polos definiram-se como etapas a serem considerados na avaliação: estudo preliminar; concepção e desenvolvimento do produto; características do produto; difusão do produto; utilização do produto; e efeitos do produto. Em cada etapa fez-se desdobramentos de aspectos a serem considerados. O MEDA 97 apresenta-se segundo um sistema de entradas múltiplas. Sua concepção modularizada permite a cada avaliador, a partir de seus próprios objetivos, construir a trama de sua própria avaliação (SILVA, 2002).

Uma análise desses aspectos revela que não existe em nenhum polo a preocupação em caracterizar as FCE do ponto de vista da contribuição para o desenvolvimento de estruturas do pensamento lógico-matemático.

2.1.4 - Método de avaliação de software multimídia de Cronje

O modelo desenvolvido por Cronje (2009[3]) envolve critérios da concepção e da avaliação em todas as etapas de desenvolvimento do projeto de softwares interativos de tipo multimídia (Figura 4).

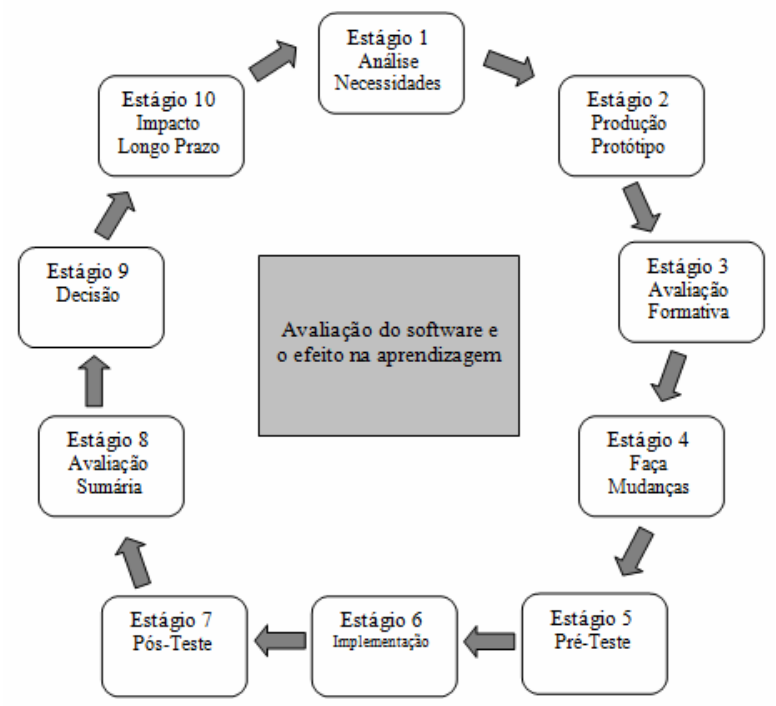

Figura 4 - Modelo de Cronje.
Fonte: adaptado de Cronje (2009).

Esse modelo é organizado a partir de um quadro sumário (Tabela 2), que o autor chama de matriz sumária. O quadro define os procedimentos básicos para cada estágio do processo de avaliação do *software*: o que (objetivos), quem (profissionais envolvidos), questões (principais questionamentos a serem respondidos em cada fase) e ferramentas utilizadas (instrumentos e ações para levantamento de dados). O destaque neste modelo é o segundo estágio, referente à produção de um protótipo. Neste estágio define-se a base pedagógica da

[3] Referência por meio digital, entretanto outras referências consultadas citam Cronje (1998) o que leva a crer que o trabalho foi desenvolvido em 1998.

abordagem: epistemológica, filosófica ou psicológica. As questões principais a serem respondidas são: “Como nós vemos os aprendizes?” e “Qual é o melhor caminho para reunir as necessidades apontadas na análise (Estágio 1)?”. Como ferramentas para se obter respostas a essas questões, Cronje (2009) sugere o modelo de Reeves e Harmon (1996).

Tabela 2 – Quadro sumário do modelo de Cronje.

Estágio	O que	Quem	Questões	Ferramentas
1 Análise Necessidades	Determina as necessidades educacionais do público alvo. Decide quando IMM é o melhor método.	Formadores Educadores Pesquisadores Gerentes	Qual é o problema que temos que resolver? O problema pode ser resolvido por IMM. Se pode, o que queremos alcançar com o uso de IMM? O que queremos ensinar?	Questionários Entrevistas Observação
2 Produção Protótipo	Decide sobre a abordagem pedagógica: Epistemologia Filosofia Psicologia Produção de um modelo de trabalho para IMM.	Educadores Designers Escritores Artistas Especialistas Programadores	Como vemos os aprendizes? Qual é a melhor maneira para alcançar o objetivo determinado na análise de necessidades?	Dimensão pedagógica de Reeves. Software de autoria

Fonte: adaptado de Cronje (2009).

Para transformar esta matriz em processo de avaliação, Cronje (2009) definiu os aspectos de adequação instrucional, curricular, estéticos e técnicos. Estes aspectos foram agrupados em um documento (Tabela 3), que o autor chamou de carta de adequação. Elencam-se as necessidades de avaliação somativa e formativa. Para cada aspecto fez-se um desdobramento em subaspectos.

Para cada subaspecto foram elaborados critérios de avaliação na forma de *checklist*. Uma análise no método de Cronje (2009) mostra que os critérios não contemplam a caracterização referente à contribuição das FCE para a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático.

Tabela 3 – Carta de adequação do modelo de Cronje.

Carta de Adequação	
Forma de Adequação	**Subaspectos**
Instrucional	Motivação Interação e *feedback* Objetividade Papel da Instrução Tratamento do erro Controle da aprendizagem
Curricular	Sequenciamento Experiências Carga cognitiva Área de conhecimento Compreensibilidade
Estética	Cor Formatação de textos Uso de hipertextos Diagramação da tela Gráficos Animação/Vídeo Som Instruções Menus e ícones Interface
Técnica	Tratamento individual Registros Segurança

Fonte: adaptado Cronje (2009).

2.1.5 - Técnica de Inspeção Ergonômica de Software Educacional – TICESE

No TICESE - Técnica de Inspeção de Conformidade Ergonômica de Software Educacional, Gamez (1998) desenvolve um *checklist* no qual os critérios de análise consideram aspectos cognitivos, ergonômicos, psicológicos da aprendizagem e pedagógicos. Esses critérios são agrupados em três módulos: classificação, avaliação e contextualização. Os aspectos cognitivos são utilizados para classificar o software em uma determinada modalidade (tutorial, exercício e prática, simulador, hipertexto ou outra classificação); para identificar a abordagem pedagógica subjacente (construtivista, behaviorista, construcionista ou outra) e,

por fim, para identificar as habilidades cognitivas exigidas (aplicação, análise, síntese, e avaliação – extensão da taxonomia de Bloom). O módulo de avaliação está associado com os padrões ergonômicos da qualidade. A contextualização busca auxiliar no processo de tomada de decisão sobre a aquisição ou não do produto. Para a tomada de decisão considera-se a adequação do produto ao programa de ensino, às características e contextos próprios, a projetos político-pedagógicos distintos e a recursos financeiros variados.

No TICESE, Gamez (1998) atribui pesos às questões e valores de acordo com a resposta. Esses dados são utilizados em equações que determinam uma nota a ser interpretada. Para a interpretação sugere-se a construção de gráficos e tabelas.

Gamez (1998) propõe um formulário de inspeção que engloba os três módulos. No módulo I, faz-se a identificação da abordagem pedagógica da FCE e a classificação da complexidade cognitiva. As questões deste módulo, não se prestam à avaliação do produto e sim à sua classificação.

A questão 2 (dois) – "O software traz explicitamente a abordagem pedagógica na qual foi formulado e qual é esta abordagem?" - identifica a abordagem pedagógica do produto. As questões 3.1 – "O software evoca conhecimentos prévios e específicos, necessários para a compreensão de seu conteúdo?" - e 3.4.d – "O software, para além de proporcionar a aplicação dos conhecimentos, oferece ao aluno a oportunidade de desenvolver um comportamento criador, através de exercícios que solicitem a união de elementos e partes, combinado-os para que constituam uma configuração ou estrutura." - fazem, respectivamente, referência à utilização de conhecimentos prévios e ao pensamento combinatório.

No módulo II, de avaliação, na seção de "Identificação dos Objectivos Pedagógicos" investiga-se se na documentação e na versão *on line* do produto, estão descritos: "Alguma sugestão para trabalhos individuais ou em grupos correlacionados com as actividades desenvolvidas no software?".

No módulo II, de avaliação, na seção "Recursos de apoio à compreensão dos conteúdos" investiga-se se a ferramenta apresenta recursos para simulações: "Simulações são utilizadas pertinentemente e contribuem para a motivação e compreensão dos conteúdos?".

Embora aborde alguns aspectos importantes para a elaboração do pensamento lógico-matemático, não existe no TICESE uma preocupação clara e explícita em caracterizar a FCE em relação à sua contribuição para o desenvolvimento das estruturas do pensamento lógico-matemático.

2.1.6 - O método Evaluation des logiciels Multimédia Pédagogiques Interactifs - E.M.P.I.

O E.M.P.I (Hû et al., 2001) é um modelo de avaliação de aplicações multimídia. Este modelo, em forma de *checklist*, integra a qualidade técnica, a usabilidade, os recursos de multimídia, o cenário e a concepção didática das FCE.

A Tabela 4 mostra os critérios didáticos e alguns exemplos de questões associadas aos critérios.

Tabela 4 - Critérios didáticos avaliados e exemplos de questões do método E.M.P.I.

1. Situação de aprendizagem	Que tipo de situação é pertinente, tendo em vista o contexto pedagógico?
1.1 Comunicação	O usuário está conectado à rede local? Internet? Ele está isolado?
1.2 Relação entre usuários	Os estudantes trabalham sozinhos? Ou em grupo?
1.3 Tutoria	Existe um instrutor para o software?
1.4 Fator tempo	O tempo em cada sessão ou entre sessões é levado em conta?
2. Conteúdos	As informações são pertinentes?
2.1 Validade	Os conteúdos são adaptados para o nível do estudante?
2.2 Impacto social	As informações são neutras em termos de opinião sexual, racial ou religiosa?
3. Personalização	Que tipo de ferramentas são oferecidas para se considerar as individualidades?
3.1 Informação	Os estudantes são corretamente informados sobre as habilidades requeridas para cada lição?
3.2 Parâmetro de controle	È possível adaptar o conteúdo de acordo com a idade e gostos?...
3.3Adaptabilidade automática	Existem agentes inteligentes capazes de permitir ao software providenciar diferentes atividades ou adaptações dependendo do perfil do estudante?
4. Estratégia pedagógica	Qual é a estratégia geral do software? Descoberta? Lições clássicas?...
4.1 Métodos	É aplicada a técnica do reforço? As ferramentas usadas são pertinentes?
4.2 Assistência	O sistema de ajuda é pedagogicamente útil (estruturado com diferentes níveis...)?
4.3 Interatividade	O software permite manipulação? Experimentação? Criação?
4.4 Avaliação de conhecimento	Qual é a qualidade das avaliações feitas antes da utilização do software (calibração) durante a utilização (progressão) e depois (teste final)?
4.5 Progressão pedagógica	O progresso do estudante é considerado? Por exemplo, pode o software providenciar exercícios mais difíceis quando o resultado é bom?

Fonte: adaptado de Hû et al. (2001).

No E.M.P.I destacam-se os critérios 1.2 e 4.3. Estes critérios investigam, respectivamente, a possibilidade de realização de operações conjuntas, se os estudantes trabalham sozinhos ou em grupo, e a interatividade, se o software permite manipulação,

experimentação e criação. O E.M.P.I não apresenta critérios que permitam caracterizar a contribuição das FCE para a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático.

2.1.7 – Modelo de avaliação de software educacional – TUP

O TUP - **T**echnology, **U**sability, e **P**edagogy, é um modelo de avaliação de ambientes educacionais estabelecido por Bednarik (2002) e Bednarik et all (2004). Esse modelo concentra-se igualmente nos aspectos tecnológicos, de usabilidade e pedagógicos dos ambientes educacionais. Segundo o autor, o TUP fornece uma avaliação completa desses ambientes. O foco dos aspectos tecnológicos está nas questões como a interação entre o ambiente e o próprio software, a parte de hardware. Também apresenta questões relativas à segurança e privacidade, material de compartilhamento e reutilização. Os aspectos de usabilidade em ambientes educacionais referem-se em certa medida as questões de usabilidade tradicionais como conhecidas na Engenharia de Software. Os aspectos pedagógicos refletem a necessidade de avaliar as qualidades pedagógicas dos ambientes educacionais. Assim, preocupam-se com as questões como o contexto de aprendizagem, os papéis dos participantes, a motivação, o progresso da aprendizagem e a avaliação.

Para cada categoria Bednarik (2002) e Bednarik et all (2004) criaram um conjunto de questões, totalizando 96 questões. Os aspectos tecnológico e de usabilidade contém 27 questões cada um e o pedagógico contém 42 questões. Os autores consideram o aspecto pedagógico o núcleo do *checklist* e o divide em subaspectos (Tabela 5).

Destaca-se nos subaspectos pedagógicos a sequência da tarefa e o estilo de aprendizagem. Eles investigam respectivamente, a possibilidade de a ferramenta disponibilizar vários caminhos para se atingir um objetivo e se ela favorece o trabalho em grupo. Embora estes subaspectos sejam importantes para a elaboração do pensamento lógico-matemático não existe no TUP uma preocupação clara e evidente em caracterizar as FCE em relação às estruturas para este tipo de pensamento, segundo a teoria de Piaget.

Tabela 5 - Subaspectos pedagógicos e questões associadas no Modelo TUP.

Aspecto Pedagógico - Subaspectos	Questões
Contexto	
Contexto	O objeto de aprendizagem é apresentado em um contexto autêntico?
	O uso da ferramenta se encaixa com a configuração de aprendizagem (por exemplo, classe versus aprendizagem individual)?
	A ferramenta complementa outras atividades realizadas em classe?
	O conteúdo se encaixa com o currículo institucional?
Papéis	O sistema faz uma distinção entre os papéis dos usuários no processo de aprendizagem?
Personalização	O ambiente é auto-adaptável para refletir o crescimento dos educandos?
Customização	O sistema permite a personalização das perspectivas dos objetos de aprendizagem de acordo com as necessidades de aprendizagem dos educandos?
Diversidade cultural	Questões culturais são abordadas e corretamente geridas pelo ambiente?
Credibilidade	Os recursos e referências usados na ferramenta têm credibilidade?
	As informações apresentadas são atualizadas?
Confiança	Você confia na ferramenta?
	As características dos educandos são respeitadas pelo ambiente?
Tarefa	
Motivação	As tarefas mantêm ou aumentam a motivação do estudante?
Metas	A seleção dos objetivos de aprendizagem é adequada?
	É possível modificar um objetivo de aprendizagem?
Seqüência da tarefa	A ferramenta disponibiliza vários caminhos para alcançar os objetivos da aprendizagem?
	A seqüência da tarefa é adaptável de acordo com o crescimento dos educandos?
Abstração da tarefa	O nível de abstração corresponde com o crescimento dos aprendentes?
Correspondência com o mundo real	As tarefas de aprendizagem correspondem a atividades no mundo real?
Representação do conhecimento	O sistema oferece meios suficientes para a representação adequada do conhecimento?
	O ambiente oferece várias possibilidades para a representação do conhecimento?
Ferramentas	
Gerenciamento de materiais	O professor pode preparar e modificar materiais usando a ferramenta de aprendizagem?
	Os professores podem compartilhar materiais de aprendizagem utilizando a ferramenta?
	É possível aos usuários preparar uma apresentação usando este ambiente?
Gerenciamento do processo	A ferramenta facilita a avaliação do processo de aprendizagem?
	É possível criar testes ou exames ou outras avaliações usando a ferramenta?
	A ferramenta oferece gerenciamento de processos para ser seguro para todas as partes?
	O gerenciamento de processos segue requisitos organizacionais?
Estilos de aprendizagem	A ferramenta oferece aprendizagem autodirigida?
	A ferramenta disponibiliza diferentes estilos de aprendizagem (por exemplo, aprendizagem pela exploração, aprender fazendo etc..)?
	A ferramenta facilita o trabalho em grupo?
	É possível criar anotações, marcadores dentro da ferramenta?
	A ferramenta oferece suporte à criação e partilha de artefatos de aprendizagem?
	A ferramenta estimula as discussões para a solução da atividade?
Interface	
Layout	A interface oferece suporte para atingir os objetivos da aprendizagem?
	A interface contém todas as informações necessárias para atingir objetivos de aprendizagem?

... continua...

Tabela 1, Cont.

Aspecto Pedagógico - Subaspectos	Questões
Tailorização	A interface da ferramenta é projetada segundo as necessidades dos educandos (público alvo)?
	É possível adaptar a interface para necessidades individuais dos educandos?
	Durante a interação com estudantes, a ferramenta aceita também respostas alternativas?
Pedagogia global	Você atingirá seus objetivos de aprendizagem com a ferramenta?
	Você recomenda a ferramenta para fins de aprendizagem?
	O que você acha dos recursos educativos da ferramenta?

Fonte: adaptado de Bednarik (2002).

2.1.8 – Método de Avaliação Ergopedagógica de Produtos Educacionais Informatizados - MAEP

O método MAEP - Método de Avaliação Ergopedagógica de Produtos Educacionais Informatizados, iniciado por Silva (1998), Silva e Vargas (1999) e concluído por Silva (2002), procura integrar as contribuições dos modelos, instrumentos, ferramentas e abordagens de maneira a obter um conjunto articulado de critérios definidos segundo três categorias: interface ergonômica, interface pedagógica e interface comunicacional (Figura 5). Organizado em forma de um *checklist*, o MAEP se propõe a ajudar na tomada de decisão e também no desenvolvimento de FCE.

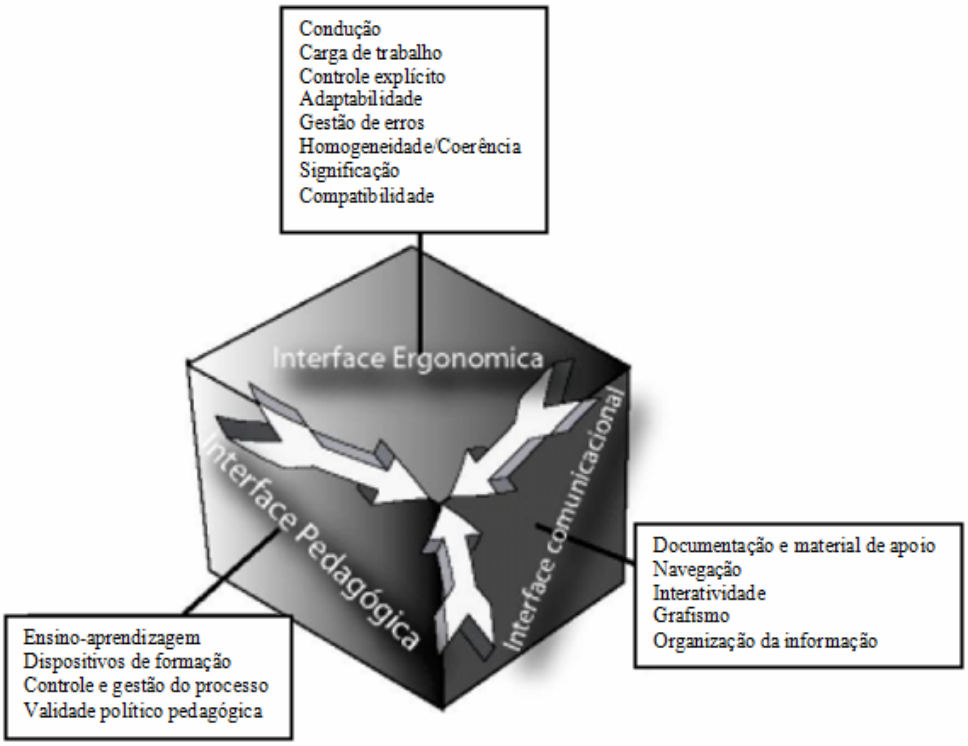

Figura 5 - Critérios por categoria do MAEP.
Fonte: adaptado de Silva (2002).

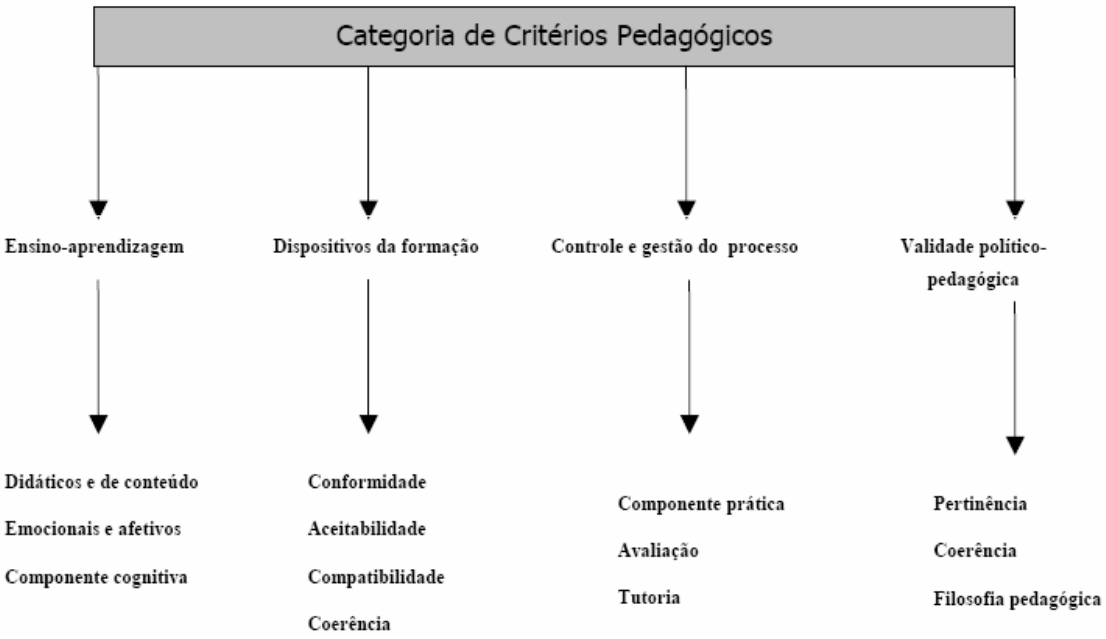

Figura 6 - Decomposição dos critérios pedagógicos
Fonte: Silva (2002)

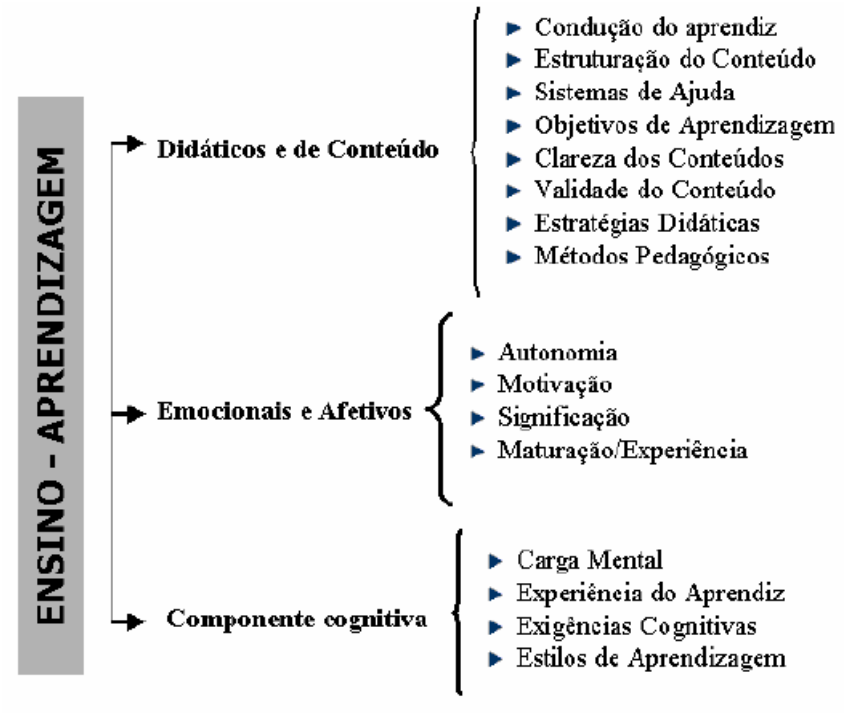

Figura 7 - Decomposição dos critérios de Ensino-aprendizagem em subcritérios.
Fonte: Silva (2002).

A interface pedagógica é decomposta em critérios (Figura 6). O critério Ensino-aprendizagem é decomposto em subcritérios (Figura 7). A partir destes subcritérios, Silva (2002) elaborou um conjunto de questões, das quais destacam-se algumas. No sub-critério "Didáticos e de Conteúdo", item "Métodos Pedagógicos" as questões são: "O cenário pedagógico e os conteúdos do programa favorecem um processo ativo interno do aprendiz como agente de sua própria aprendizagem?; "Os métodos e procedimentos pedagógicos do programa são centrados na atividade do aprendiz?; "Os métodos e procedimentos pedagógicos invocam no aprendiz sua experiência pessoal quando da manipulação e realização de tarefas, de modo a interiorizar rapidamente as informações e resultados esperados?; "Os métodos e procedimentos pedagógicos favorecem a recuperação de conhecimentos, idéias e experiências anteriores aplicadas a uma nova situação de aprendizagem?

No subcritério "Emocionais e Afetivos", item "Motivação", a questão é "O programa favorece e estimula o trabalho cooperativo?".

No subcritério "Componente Cognitiva", item "Experiência do Aprendiz" destacam-se as questões: "O programa prevê estratégias contendo microssituações significativas de experiências concretas para aprendizes iniciantes?"; "O programa permite ultrapassar um estágio analítico de escolhas lógicas e aplicações de regras pelo aprendiz de modo que ele

faça um reconhecimento intuitivo instantâneo das relações que se estabelecem a partir de comparações automáticas entre experiências passadas e presentes?"

No subcritério "Componente Cognitiva", item "Estilos de Aprendizagem", as seguintes questões são destaque: "O programa faz referência ao contexto social e afetivo da aprendizagem para que permita a utilização do que foi aprendido no meio ambiente?"; "O programa favorece a evocação de conhecimentos prévios específicos para a compreensão do conteúdo?"; "O programa oferece a possibilidade de trabalhar com elementos ou partes e combiná-los entre si para favorecer a percepção de sua configuração e estrutura?"

As questões destacadas e a análise como um todo revelam que no MAEP, Silva (2002) aborda alguns aspectos importantes para a elaboração do pensamento lógico-matemático, sem, contudo, caracterizar a FCE do ponto de vista de sua contribuição para a construção das estruturas desse tipo de pensamento.

2.1.9 – Conjunto de Métricas para Avaliar Software Educativo – MECSE

O MECSE (2005) é um conjunto de métricas para avaliar software educativo. As métricas foram deduzidas tomando como base a norma ISO9126. Às características básicas do software Figueroa (2005) agregou fatores que permitam avaliar aspectos pedagógicos do software. Para tanto, a autora considera características referentes ao ensino-aprendizagem tais como os conteúdos, o tipo de capacidade que potencialmente se desenvolve, a estrutura do conteúdo, a complexidade cognitiva das tarefas e o tratamento do erro. Os fatores são hierarquizados de acordo com a influência no *software* educativo. As medidas são estabelecidas segundo critérios binários e multinível. Os critérios binários indicam a presença ou a ausência do fator e os multiníveis utilizam uma escala de valores. Para a determinação de uma medida global utiliza-se uma função. No conjunto de métricas o aspecto pedagógico corresponde a 40% na hierarquização dos fatores (Tabela 6) e nenhum dos atributos refere-se à caracterização das FCE segundo sua contribuição para o desenvolvimento das estruturas do pensamento lógico-matemático.

Tabela 6 - Métricas do MECSE para avaliação da qualidade de *software* educativo.

Aspecto	Fator	Atributo	Peso e critério de avaliação	
Pedagógico 40%	Facilidade de uso	Facilidade de aprendizagem.	4	Binário
		Diversidade nas atividades propostas	4	Binário
		Atividades adequadas para reforçar a aprendizagem.	4	Multinivel
		Atividades motivadoras para o aluno.	4	Binário
		Diversidade na forma de avaliação.	4	Multinível
		Considera-se o nível inicial de conhecimentos do aluno.	4	Binário
		Existe relação com o que o professor ensina.	4	Binário
		A pontuação da avaliação é apropriada.	4	Multinível
	Funcionalidade	Garante o alcance dos objetivos educativos	4	Binário
		Manejo automático do histórico acadêmico.	4	Binário
Interface H-C 36%	Facilidade de uso	Elementos do software são atrativos.	3	Binário
		Existe conformidade com o design do menu.	3	Multinível
		A interface é inovadora.	3	Binário
	Funcionalidade	Imagens claras e compreensíveis.	3	Multinível
		Música apropriada ao tema.	3	Multinível
		Vídeos adequados ao tema.	3	Multinível
		Cores adequadas.	3	Multinível
		Manejo adequado das características do texto.	3	Multinível
		O mouse movimenta diferentes formas de acordo com as ações executadas pelo usuário.	3	Binário
		Acesso direto a temas.	3	Multinível
		Acesso a temas anteriores.	3	Multinível
		Organização adequada das telas.	3	Multinível
De conteúdo 12%	Facilidade de uso	O conteúdo é compreensível.	3	Multinível
		A apresentação tem uma seqüência lógica.	3	Multinível
	Confiabilidade	O conteúdo é confiável.	3	Binário
		O conteúdo está de acordo com os programas de estudo vigentes.	3	Multinível
Técnico 12%	Facilidade de uso	Compreende facilmente as funções de cada módulo do software.	1	Binário
		Facilidade de aprendizagem do software.	1	Binário
		Em qualquer ponto do software tem ajuda disponível.	1	Binário
	Funcionalidade	A execução do software se realiza de maneira fácil.	1	Binário
		Tem um manual simples e completo.	1	Binário
		Tem um manual que indica a forma de instalação do software.	1	Binário
	Eficiência	A resposta do software a qualquer ação do usuário é adequada.	1	Binário
		O tempo de resposta é adequado.	1	Binário

... continua ...

Tabela 6, Cont.

Aspecto	Fator	Atributo	Peso e critério de avaliação	
Técnico 12%	Confiabilidade	Facilidade de recuperação quando ocorrem erros.	1	Binário
		Permite gravar a sessão de forma automática.	1	Binário
	Portabilidade	Facilidade de instalação	1	Binário

Fonte: adaptado de Figueroa (2005).

CAPÍTULO 3

Metodologias para Elaboração e Validação do ECoTEC

Ao apresentar a proposta da Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC, foi necessário utilizar métodos de pesquisa para o desenvolvimento da estrutura cognitiva e para a validação desta estrutura. Quanto ao tratamento das variáveis, optou-se pela pesquisa qualitativa (BOGDAN; BIKLEN, 1994; GODOY, 1995a; 1995b) em função de uma análise da utilização da estrutura cognitiva para a real caracterização de algumas ferramentas computacionais selecionadas pela pesquisadora.

3.1- Metodologia para elaboração da estrutura cognitiva ECoTEC

A pesquisa possui um caráter empírico-exploratório e de desenvolvimento de uma proposta para avaliação de produto. A natureza exploratória é atribuída ao levantamento bibliográfico necessário para a construção da base teórica, alicerce da pesquisa. A finalidade básica será desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias em relação à teoria operatória de Piaget para a formulação de abordagens posteriores. Dessa forma, este tipo de estudo visa proporcionar um maior conhecimento acerca do assunto, e posteriormente formular problemas mais precisos ou criar hipóteses que possam ser pesquisadas por estudos posteriores (GIL, 1999). Segundo o autor, as pesquisas exploratórias visam proporcionar uma visão geral de um determinado fato, do tipo aproximativo.

A natureza empírica é revelada ao longo da pesquisa. O empirismo é o resultado de uma cuidadosa e ampla elaboração das idéias e fatos procedentes tanto da teoria estudada quanto da vivência e da experiência da pesquisadora. É um processo de construção teórica que, segundo Rey (2002, p. 125), não se orienta para a produção de resultados finais que possam ser tomados como referências universais e invariantes sobre o estudado. E sim à produção de novos momentos teóricos que se integrem organicamente ao processo geral de construção de conhecimentos.

No desenvolvimento da estrutura cognitiva para a caracterização das FCE utiliza-se uma estratégia de análise que compreende: a organização da estrutura cognitiva do pensamento lógico-matemático segundo a teoria operatória de Piaget; a diferenciação dos

conceitos essenciais desta teoria; e uma desconstrução da teoria operatória de Piaget. Para tanto, faz-se uma análise bibliográfica nas obras de Piaget (1952, 1958, 1963, 1970, 1973, 1976, 1979), de Inhelder e Piaget (1976) e de interpretações consagradas na literatura sobre as obras de Piaget, tais como Flavell (1975), Aebli (1974), Castorina et al. (1982), Faria (1998) e Lima (1998). Busca-se, por meio desta análise, a compreensão sobre o desenvolvimento do pensamento segundo três fatores principais e complementares: a atividade operatória, a interação e a cooperação. Cada um desses fatores foi considerado segundo uma abordagem de decomposição ascendente. Faz-se um desdobrando ascendente dos conceitos em cada um dos fatores. Estes desdobramentos foram organizados em uma espécie de rede integrada e complementar formando o ECoTEC. A estrutura permite compreender as estruturas de pensamento nos períodos operatório concreto e operatório formal, segundo os fatores estudados.

Para cada fator foi desenvolvido um módulo. Para cada módulo foram identificadas as características e suas subcaracterísticas recomendadas como parâmetros desejáveis nas FCE que visam a construção de estruturas do pensamento lógico-matemático. A partir destas características e subcaracterísticas foram deduzidas as métricas que ajudarão a caracterizar as FCE. Estas métricas foram organizadas em grades de análise no formato de questionários. A caracterização das FCE com base nas recomendações que se apoiam sobre estas grades visam à diminuição da subjetividade no processo (PRESMAN, 2002). Para a quantificação do resultado final foram elaboradas medidas e expressões para as métricas. Estas expressões foram inspiradas no modelo de qualidade de *software* desenvolvido por McCall et al. (1977) *apud* Pressman (2002). Pela análise do cálculo das expressões foi possível a emissão de laudos com as características cognitivas das FCE, o que denominamos de indicadores.

3.2- Metodologia para elaboração do instrumento de otimização Web-ECoTEC

A coleta e a análise de dados são as atividades que dirigem o processo de medição e sempre que possível devem ser automatizadas (PRESSMAN, 2002). Nesta perspectiva, para facilitar a caracterização das FCE por meio do ECoTEC foi desenvolvido uma versão demonstrativa de um instrumento de otimização, denominado *Web*-ECoTEC. O instrumento foi estruturado no formato de um *checklist* interativo e é formado por um conjunto de páginas na web.

O desenvolvimento do *Web*-ECoTEC segue uma construção metodológica inspirada

em projetos de avaliação da qualidade de *software*. Para tanto, utilizou-se como estratégia de desenvolvimento o paradigma GQM (Goal/ Question/Metric), uma técnica para identificação de métricas significativas. Cada fator descrito no ECoTEC foi considerado um módulo de caracterização das FCE no instrumento. A divisão em módulos permite compreender o conteúdo de um determinado fator e seus respectivos desdobramentos. Esta técnica tornou possível a inclusão de conhecimentos específicos de cada fator. A finalidade do *Web*-ECoTEC foi automatizar a coleta de dados para o usuário e auxiliar no cálculo das métricas para a caracterização das FCE.

Seu desenvolvimento segue também princípios da arquitetura da informação em web sites. Esta área de conhecimento tem como propósito organizar os padrões próprios dos dados e criar a estrutura ou mapa da informação de forma a permitir que outros encontrem seus próprios caminhos para o conhecimento tornando o complexo claro (WURMAN, 1997). Neste sentido, a estratégia utilizada foi elaborar um diagrama-fluxograma de comunicação para o desenvolvimento do projeto do *Web*-ECoTEC. Este diagrama explicita o relacionamento entre os *links* sugerindo o sistema de navegação. A partir deste mapa fez-se a codificação das páginas.

3.3- Metodologia para validação do ECoTEC

A validação tem como objetivo verificar a veracidade da estrutura cognitiva para a caracterização de FCE e a contribuição do instrumento de otimização na coleta das respostas e na geração dos resultados de caracterização das FCE.

As unidades de análise foram ferramentas computacionais para Matemática e Geometria desenvolvidas com base nos princípios construtivistas. Optou-se pela caracterização de 4 (quatro) ferramentas escolhidas aleatoriamente. Embora a escolha das ferramentas tenha sido aleatória, não se perdeu de vista que segundo Inhelder e Piaget (1976), a capacidade para construir os esquemas de ação correspondentes ao pensamento operatório não se manifesta necessariamente, mas aparece quando o exige a natureza dos problemas que devem ser resolvidos. A caracterização das ferramentas foi feita pela própria pesquisadora.

Para o levantamento das características de cada ferramenta foi utilizado o instrumento de otimização desenvolvido na pesquisa – *Web*-ECoTEC. *A priori*, a pesquisadora explorou as atividades propostas pelas ferramentas computacionais para uma análise detalhada das habilidades exigidas. Na sequência, o instrumento de otimização foi alimentado em função

desta análise.

Para a interpretação e análise dos dados finais, os resultados das avaliações, gerados pelo instrumento *Web*-ECoTEC, foram confrontados com a análise de outros instrumentos de medição (aspectos pedagógicos) feita *a priori* pela pesquisadora no capítulo dois. Esse confronto visa encontrar o nível de eficiência da estrutura cognitiva para a classificação de FCE em função da construção do pensamento lógico-matemático.

CAPÍTULO 4

Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas - ECoTEC

Para a elaboração da proposta estrutural da metodologia para o pensamento lógico-matemático, denominada de Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC (Figura 8), fez-se uma diferenciação dos conceitos essenciais e uma desconstrução da teoria operatória de Piaget considerando-se três aspectos: a atividade operatória, a interação e a cooperação. Esses três aspectos foram interligados de forma complementar para analisar os mecanismos de construção e coordenação do pensamento lógico-matemático no período operacional.

Piaget chama de operações cognitivas, ou simplesmente operações, as ações, principalmente mentais, que gradualmente se conectam e formam sistemas de ações cada vez mais complexos e bem integrados e com propriedades bem definidas. De maneira que uma ação pode anular ou compensar a outra realizada anteriormente; duas ações podem ser combinadas para produzir uma terceira e assim por diante. Esse tipo de operação constitui o domínio especial dos anos intermediários da infância e da adolescência (FLAVELL, 1975), donde se justifica o nome operacional dado aos estágios correspondentes a estas etapas.

Embora a descrição do desenvolvimento intelectual tenha sido organizada por Piaget (1963) em quatro estágios: sensório-motor (0 – 2 anos); pré-operacional (2 – 7 anos); operacional concreto (7 – 11 anos); operacional formal (11 – 15 anos), nesta pesquisa as atividades operatórias, a interação e a cooperação foram analisados nos estágios operacional concreto e operacional formal.

A escolha desses dois estágios fundamenta-se no fato de que o pensamento formal, adquirido na última etapa, constitui uma orientação generalizada, explícita ou implícita, para a solução de problemas no sentido de organizar dados, isolar e controlar variáveis, formular hipóteses e justificativas baseadas na lógica dos fatos (FLAVELL, 1975). Uma vez que o raciocínio formal se refere a noções construídas no nível concreto, para entender os mecanismos operacionais que atuam no raciocínio formal é necessário entender também os mecanismos operacionais que atuam no raciocínio concreto (INHELDER e PIAGET, 1976).

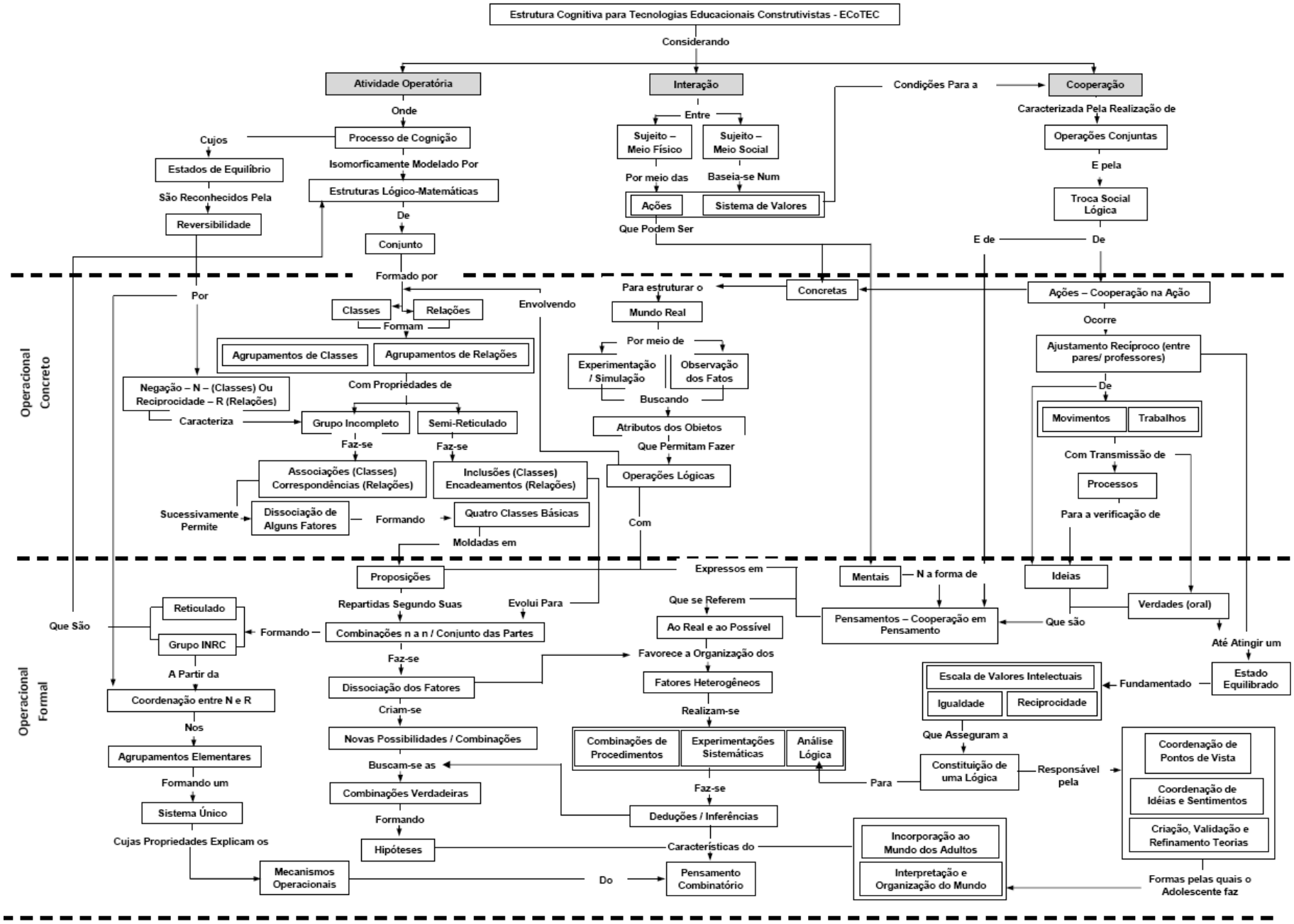

Figura 8 - Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC.

4.1- Atividade operatória

No ECoTEC a atividade operatória (Figura 9) compreende a análise dos mecanismos de construção e coordenação do pensamento lógico-matemático do ponto de vista das estruturas cognitivas.

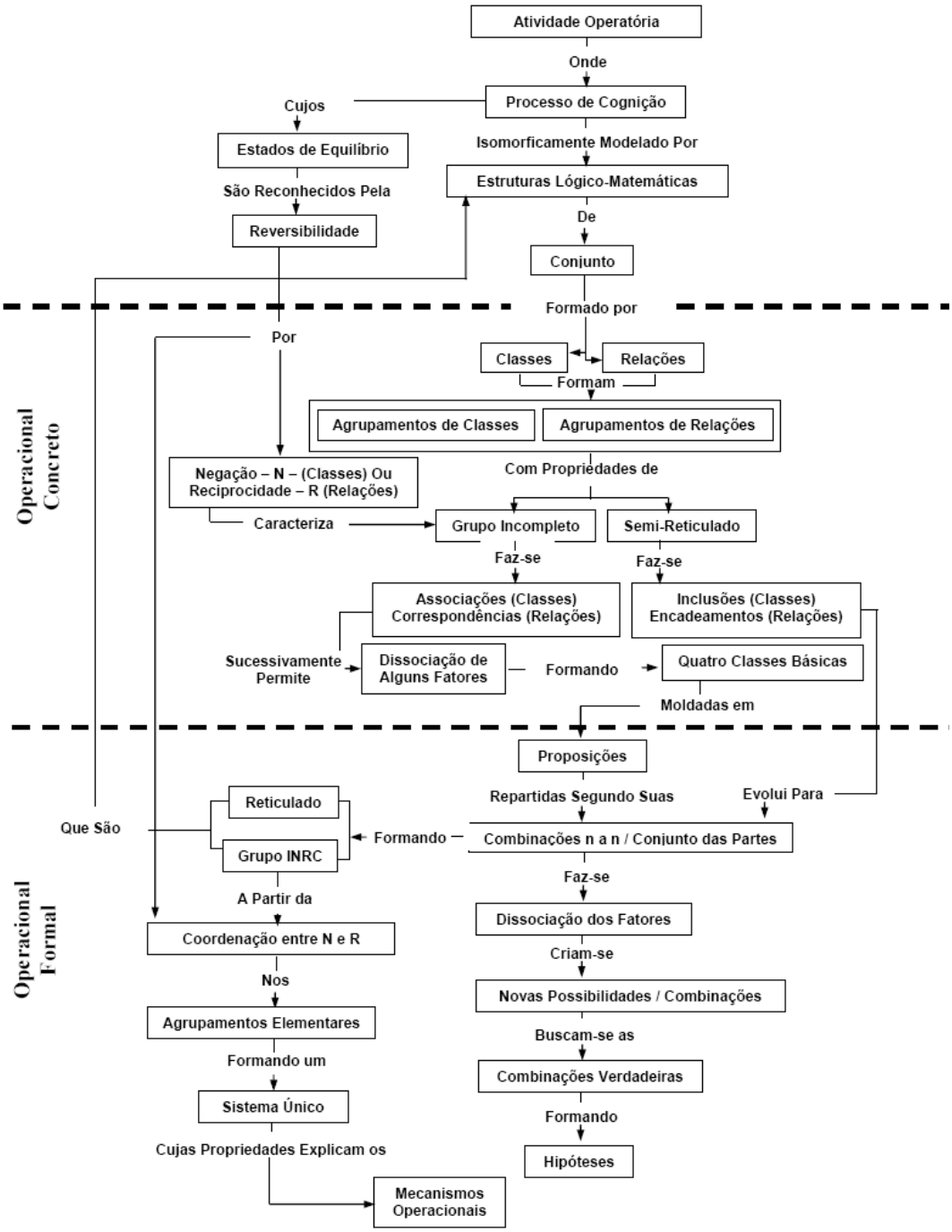

Figura 9 - A atividade operatória.

A construção das estruturas cognitivas entendida como processo de cognição consiste no percurso descrito pelo sujeito do conhecimento, ao realizar operações reais ou virtuais

buscando um estado de equilíbrio para um sistema de ações. Do ponto de vista psicológico, um sistema está em equilíbrio quando uma perturbação que modifica o estado do sistema tem seu oposto numa ação espontânea que o compensa (INHELDER; PIAGET, 1976). Desta forma, um estado de equilíbrio é reconhecido pela reversibilidade.

A reversibilidade expressa a possibilidade de retornar ao ponto de partida, e inclui as operações de negação e recíproca. A negação significa o cancelamento ou a anulação literal de uma operação. Embora a recíproca produza o mesmo efeito final da negação, ela não desfaz a operação original, a recíproca compensa ou neutraliza seu efeito realizando outra operação.

Para explicar o processo de cognição, Piaget (1976) utiliza de estruturas lógico-matemáticas de conjunto como o agrupamento, o reticulado e o grupo. Segundo o autor, as estruturas cognitivas são modeladas por sistemas lógico-matemáticos. A compreensão desses sistemas, enquanto estruturas lógico-matemáticas fornece subsídios para a construção de uma imagem de como o sujeito do conhecimento se organiza (FLAVELL, 1975; CASTORINA et al., 1982).

O agrupamento é uma estrutura abstrata criada por Piaget e seus colaboradores (FLAVELL, 1975), e apresenta propriedades de reticulado e de grupo algébrico. A estrutura resultante desta combinação foi considerada adequada por Piaget para representar operações lógicas de classe e de relação, que são os elementos do agrupamento. E satisfazem as operações direta, inversa, idêntica e idênticas especiais.

O reticulado é composto por um conjunto de elementos e de uma relação que pode ocorrer entre dois ou mais destes elementos, tal que para todo par de elementos deste conjunto se pode definir o supremum (menor majorante comum) e o infimum (maior minorante comum). O reticulado é uma estrutura de encaixes (PIAGET, 1976).

O grupo é uma estrutura algébrica abstrata composta por um conjunto de elementos e por uma operação que se aplica a esses elementos satisfazendo as propriedades de composição, associatividade, identidade e reversibilidade.

4.1.1 - Atividade operatória no estágio operacional concreto

As crianças entre 7 e 11 anos de idade tornam-se lógicas, isto é, suas estruturas cognitivas são isomorfas às da estrutura lógico-matemática do agrupamento. Segundo a teoria de Piaget, as crianças, nesta faixa etária, apresentam uma tendência natural para organizar em

classes, seriar, igualar, colocar em correspondência os diversos aspectos que condicionam a solução de um problema, entendida como um sistema equilibrado. Nesta proposta de organização, formam-se conjuntos de classes e de relações, originando os agrupamentos elementares de classes e de relações (Figura 10). Nos agrupamentos de classes fazem-se associações de classes e nos agrupamentos de relações fazem-se correspondências entre as relações. Sendo que tanto as associações quanto as correspondências satisfazem as operações direta, inversa, idêntica e idênticas especiais que caracterizam o agrupamento.

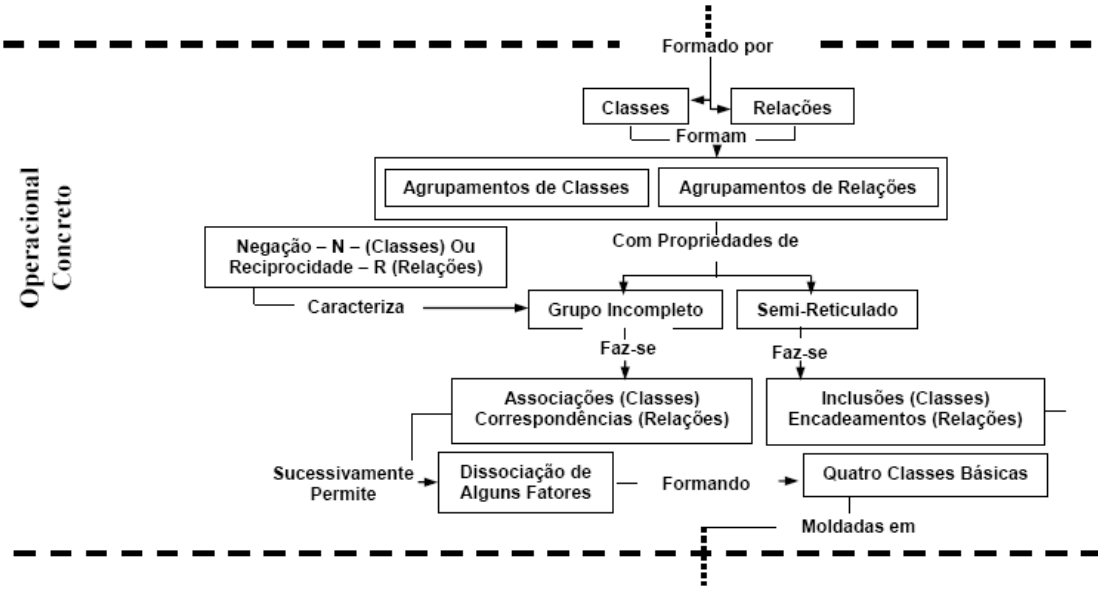

Figura 10 - A atividade operatória no estágio concreto.

Segundo Inhelder e Piaget (1976), as estruturas de conjunto de classes e de relações que modelam as operações do pensamento concreto são estruturas limitadas, que apenas reúnem cada vez mais tais classes ou tais relações por meio de inclusões ou de encadeamentos contíguos. Esta limitação impede que o sujeito atinja a combinatória que caracteriza o conjunto das partes e que ligue os diversos elementos de n por n. Como consequência, o sujeito não atinge a estrutura do reticulado e permanece no estado de semi-reticulado.

A reversibilidade é considerada a principal atividade lógica realizada com as classes e com as relações.

No estágio operacional concreto a reversibilidade ocorre por negação nos agrupamentos de classe e por reciprocidade nos agrupamentos de relações. Estas formas excludentes de reversibilidade conferem aos agrupamentos elementares propriedades de grupo incompleto.

As sucessivas associações (entre classes) e correspondências (entre relações) permitem que o sujeito no estágio concreto dissocie certo número de fatores sem, contudo, conseguir descobrir todos os fatores e também não demonstra a ação dos que descobriu (INHELDER e PIAGET, 1976). A dissociação de alguns fatores permite que se formem, por meio de associações multiplicativas, quatro classes básicas. Assim, na análise de dados envolvendo dois fatores a e b, o sujeito os dissocia, e considera, por exemplo, a' e b' como sendo a ausência desses fatores. E por associações multiplicativas, ele obtém as quatro classes chamadas de básicas: ab, ab', a'b e a'b'.

4.1.2 - Atividade operatória no estágio operacional formal

A transição das operações concretas para as formais caracteriza-se pela adoção de métodos verdadeiramente científicos e não significa um abandono das conquistas cognitivas realizadas no período anterior. O adolescente mantém o sentido de ordem que caracteriza a criança operacional concreta. Inicialmente, suas estruturas mentais são modeladas pela estrutura abstrata do agrupamento. O adolescente combina todas as possíveis associações básicas de classes (feitas na fase concreta, operações de primeira ordem) formando um reticulado (Figura 11), uma espécie de rede que garante que todas as possibilidades serão examinadas (operações de segunda ordem). Este reticulado constitui um instrumento cognitivo, um meio para atingir o objetivo.

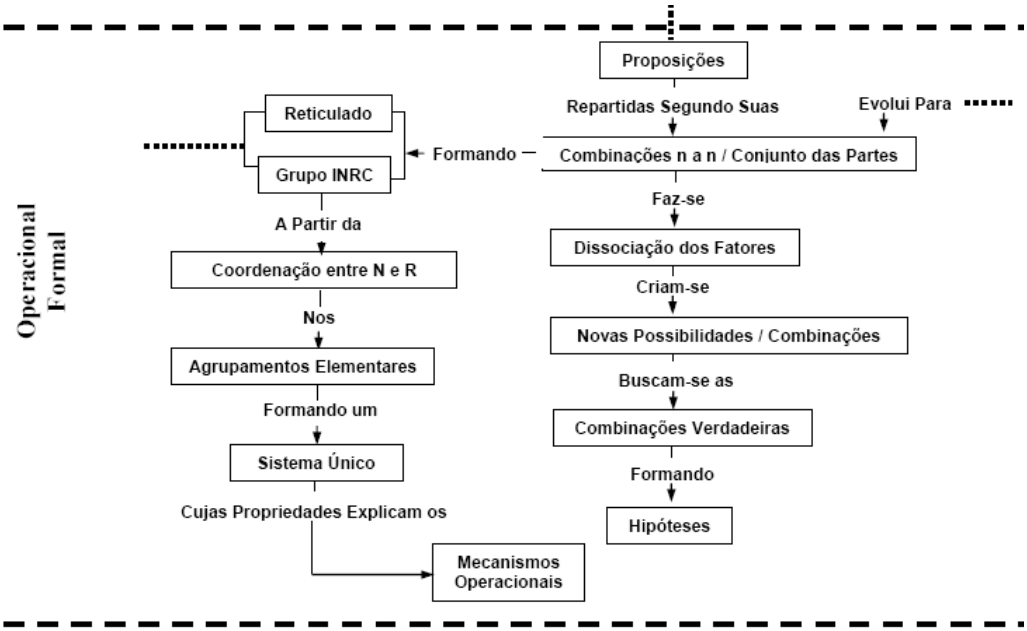

Figura 11 - A atividade operatória no estágio formal.

O grupo é a estrutura abstrata lógico-matemática que modela as estruturas cognitivas no estágio operacional formal. Nesta estrutura, a reversibilidade caracteriza-se por coordenar ações de negação e reciprocidade nos agrupamentos elementares formando um sistema único, cujas propriedades explicam os mecanismos operacionais do pensamento combinatório. Segundo Faria (1998), a fusão da negação e da reciprocidade faz com que cada operação seja, ao mesmo tempo, a inversa da outra e a recíproca de uma terceira, dando assim quatro transformações: direta, inversa, recíproca e inversa da recíproca (correlata). Esta estrutura é chamada de grupo INRC onde Identidade (I); Inversão (N); Reciprocidade (R) e, Correlatividade (C) correspondem às transformações das operações proposicionais. Esta estrutura explica a lógica operatória[4] presente no comportamento, no discurso e no raciocínio do ser humano no período operacional formal. Assim, a partir do comportamento do adolescente é possível inferir que suas estruturas cognitivas têm propriedades semelhantes às de um grupo.

No estágio formal, o sujeito pode atuar no nível das combinações de proposições e no da combinação de objetos (FARIA, 1998). Inicialmente, o adolescente se apoia nos dados extraídos da realidade com as técnicas próprias da fase concreta. São feitas associações multiplicativas e formam-se quatro classes básicas. Moldadas em proposições, estas quatro classes básicas podem ser combinadas de várias maneiras, formando o conjunto das partes. Diante da multiplicidade de ligações possíveis, o adolescente supõe que apenas algumas sejam verdadeiras (FLAVEL, 1975, p. 211). A busca pelas combinações verdadeiras, ou o processo de prova, consiste em fazer variar um fator e manter "todas as outras coisas iguais" (INHELDER e PIAGET, 1976, p. 208). Nesse percurso, chamado de dissociação dos fatores, o adolescente elimina alguns fatores e cria novas possibilidades, novas combinações denominadas hipóteses. São estas hipóteses que serão verificadas.

4.2 - Interação

No ECoTEC, a interação compreende a análise dos mecanismos de construção e coordenação do pensamento lógico-matemático, ao considerar a experiência adquirida em função do meio físico.

A teoria de Piaget mostra uma continuidade na formação das estruturas cognitivas, desde os primeiros esquemas até as estruturas que respondem pelo pensamento formal

[4] Castorina (1982), referindo-se aos estudos de Piaget, afirma que a lógica operatória estuda as estruturas de conjunto da lógica natural própria do sujeito, mediante o aparato teórico da lógica formal.

abstrato. Na construção dos primeiros esquemas de natureza lógico-matemática, as crianças se apoiam em ações sensório-motoras sobre objetos materiais. E por meio de exercícios de repetição espontânea chegam ao domínio e generalização da ação (estágio pré-operatório). No estágio seguinte, o operatório concreto, as estruturas lógico-matemáticas surgem por meio das operações. As ações em pensamento ainda dependem dos objetos concretos para que se constituam em conceitos. Finalmente, no estágio das operações formais, as estruturas lógico-matemáticas assumem sua plenitude. Por meio de operações sobre objetos abstratos, já não dependendo mais de ações concretas ou de objetos concretos, constitui-se o pensamento puramente abstrato.

Em suma, como processo construtivo e contínuo, as experiências mentais, que dão origem à formação do pensamento operacional, iniciam-se com ações concretas. E não se reduzem a elas, mas ao mesmo tempo não podem prescindir delas.

Na teoria de Piaget o desenvolvimento intelectual é assegurado pela interação entre o sujeito do conhecimento e o meio ambiente (Figura 12). Esta interação pode ser entre o sujeito e o meio físico por meio de ações concretas ou mentais; e entre o sujeito e o meio social por meio de um sistema de valores.

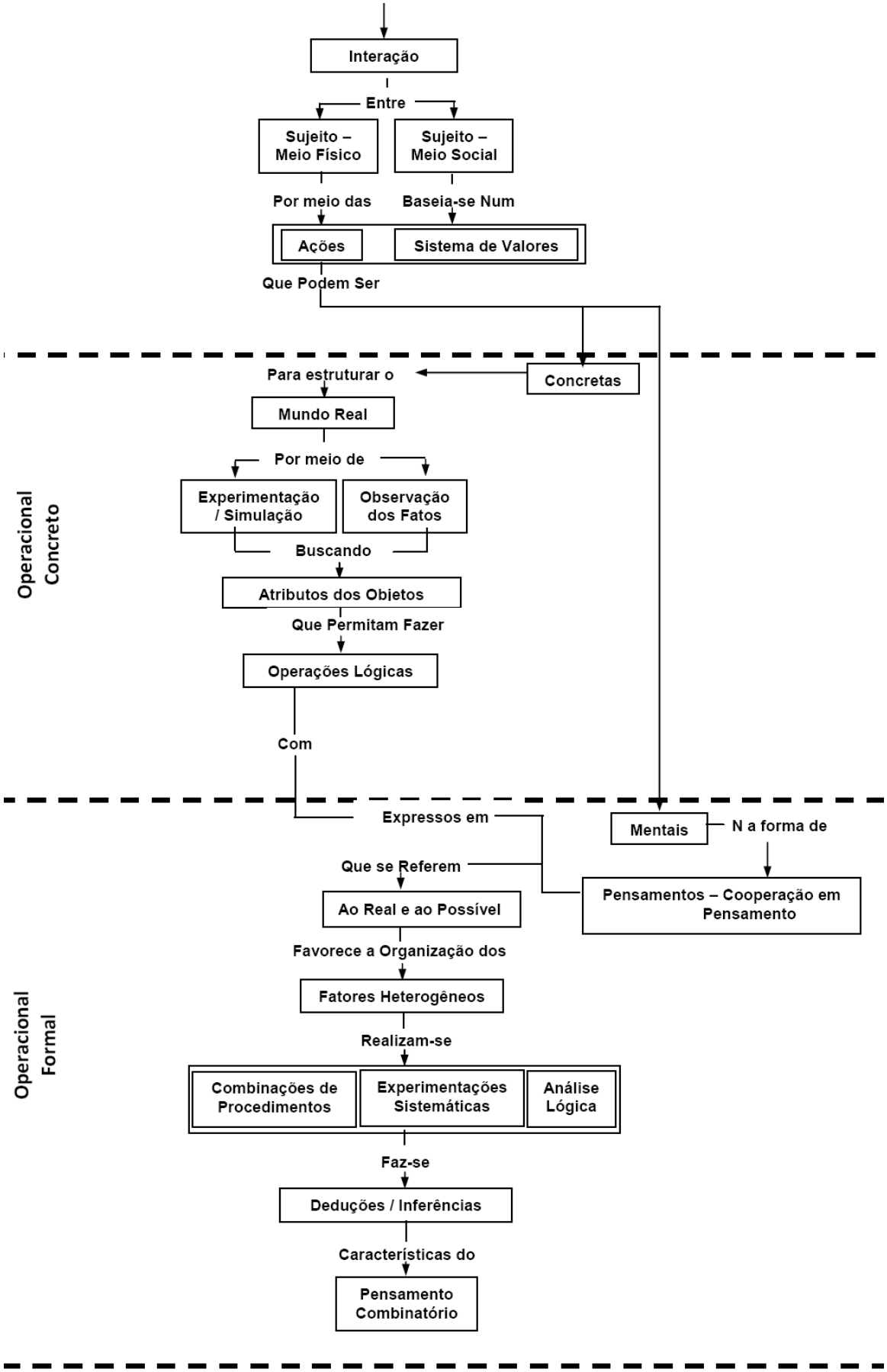

Figura 12 - A interação.

4.2.1 - A interação no estágio concreto

Entre 7 e 11 anos de idade, a criança torna-se capaz de resolver, no presente imediato, a maioria dos problemas cognitivos que envolvam objetos e fatos concretos, reais, observáveis, o que caracteriza a etapa como operacional concreta. Por meio de ações concretas a criança estrutura o mundo real; organiza e ordena o que está presente em um momento específico. Por meio da experimentação, da simulação e da observação dos fatos a criança busca os atributos dos objetos (dados brutos) que permitem realizar operações lógicas de classificação e de seriação, e o estabelecimento de relações entre classes e séries (Figura 13).

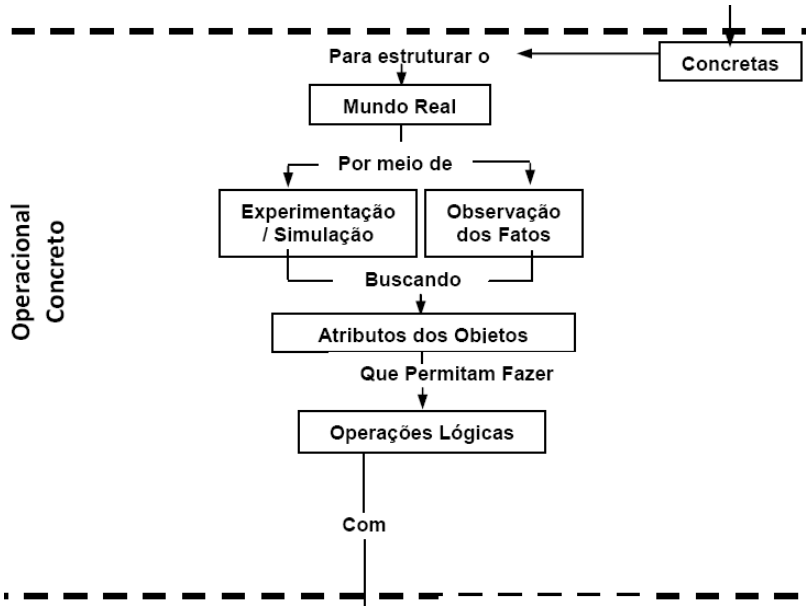

Figura 13 - A interação no estágio concreto.

A classificação de objetos significa construir conjuntos de tal forma que novos objetos possam ser ligados aos objetos já classificados, e novas inclusões se tornem possíveis. E a seriação significa colocá-los em ordem crescente ou decrescente de tamanho, peso, volume etc., de tal forma que também seja possível fazer novas inclusões a uma sequência já ordenada (INHELDER e PIAGET, 1976).

Depois de ter classificado, seriado um conjunto de conteúdos, ou estabelecido correspondências entre seriações relativas a dois ou mais domínios distintos, o pensamento concreto não chega a resolver todos os problemas propostos, falta-lhes a dimensão do possível, cognição alcançada apenas no nível formal. Além disso, neste estágio, a criança não consegue resolver problemas puramente verbais ou abstratos. De fato, propondo-se um problema e apresentando-o no modo concreto, as crianças conseguem aplicar as operações

lógicas e resolvê-lo, enquanto que sua apresentação na forma verbal ou abstrata não produz o mesmo resultado (INHELDER; PIAGET, 1976).

4.2.2 - A interação no estágio formal

No estágio formal, a interação entre o sujeito e o meio físico é caracterizada pelas ações mentais, sem prescindir das ações concretas (Figura 14). As ações mentais, agora na forma de pensamento, são expressas por proposições e é com elas que o adolescente realiza operações lógicas, caracterizando o que Piaget chama de pensamento proposicional.

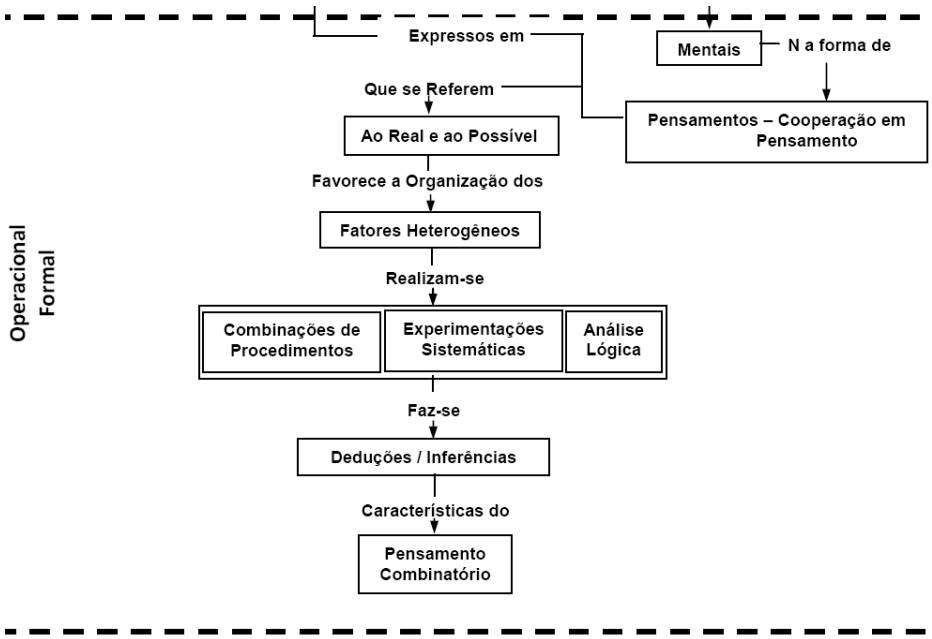

Figura 14 - A interação no estágio formal.

O pensamento proposicional é o resultado de operações proposicionais realizadas tanto com dados reais (real), obtidos com as técnicas da fase concreta e moldados em proposições, quanto com dados hipotéticos (possível) também na forma de proposições. Segundo Piaget (1976), é esta dimensão do possível que faltava à criança operacional concreta para que ela pudesse realizar completamente a dissociação dos fatores e, desta forma, resolver problemas que envolvam mais de uma variável. É por meio da dissociação que o adolescente organiza os fatores heterogêneos (as variáveis). Ele combina procedimentos, faz experimentações sistemáticas e analisa logicamente as diferentes combinações. Esse procedimento permite que o adolescente faça deduções e inferências, é assim que ele verifica quais, dentre as possíveis combinações, são realmente verdadeiras.

Segundo Piaget (1976), esse tipo de raciocínio que combina simultaneamente lógica e imaginação, teorias e hipóteses possibilita a solução de todas as classes de problemas. Incluindo presente, passado e futuro, problemas hipotéticos e proposicionais verbais com muitas variáveis. Esta maneira de lidar com os problemas faz com que o pensamento formal, também chamado de pensamento combinatório, tenha como características estruturais ser hipotético-dedutivo, científico-indutivo e reflexivo-abstrato (WADSWORTH, 1977).

No raciocínio hipotético-dedutivo, o sujeito faz deduções baseadas em suposições, e não em fatos realmente verificados. A realidade passa a ser apenas uma parte do conjunto dos possíveis: o raciocínio torna-se independente do conteúdo ou independente do concreto.

O raciocínio científico-indutivo parte dos fatos específicos para as conclusões gerais, é um processo científico que permite fazer generalizações. Caracteriza-se pela capacidade de pensar de modo coordenado sobre diversas variáveis ao mesmo tempo. Os sujeitos que possuem o raciocínio formal podem determinar o efeito de uma, de todas ou de algumas combinações de um conjunto de variáveis, é o raciocínio combinatório (FLAVELL, 1975; WADSWORTH, 1977; FARIA, 1998).

O raciocínio reflexivo-abstrato parte da reflexão sobre ações e representações mentais de objetos. É o pensamento sobre o pensamento, refere-se à capacidade do sujeito de construir conhecimento novo a partir da reflexão interna.

4.3 - Cooperação

No ECoTEC, a cooperação compreende a análise dos mecanismos de construção e coordenação do pensamento lógico-matemático em função da experiência adquirida pela ação do sujeito no meio social.

Segundo Piaget (1973), as operações lógicas procedem da ação e a socialização dessas ações é imprescindível para a transição da ação irreversível às operações reversíveis. A socialização das ações é assegurada pela interação do sujeito com o meio social e baseia-se em um sistema de ações e valores. Assim, as atividades do sujeito quando agem sobre objetos, e as atividades dos sujeitos quando agem uns sobre os outros se reduzem a um só sistema de conjunto, no qual o aspecto social e o aspecto lógico são inseparáveis. Nesse sistema, a coordenação das ações individuais e interações interindividuais têm propriedades de agrupamento e constituem condições para a cooperação entre os indivíduos.

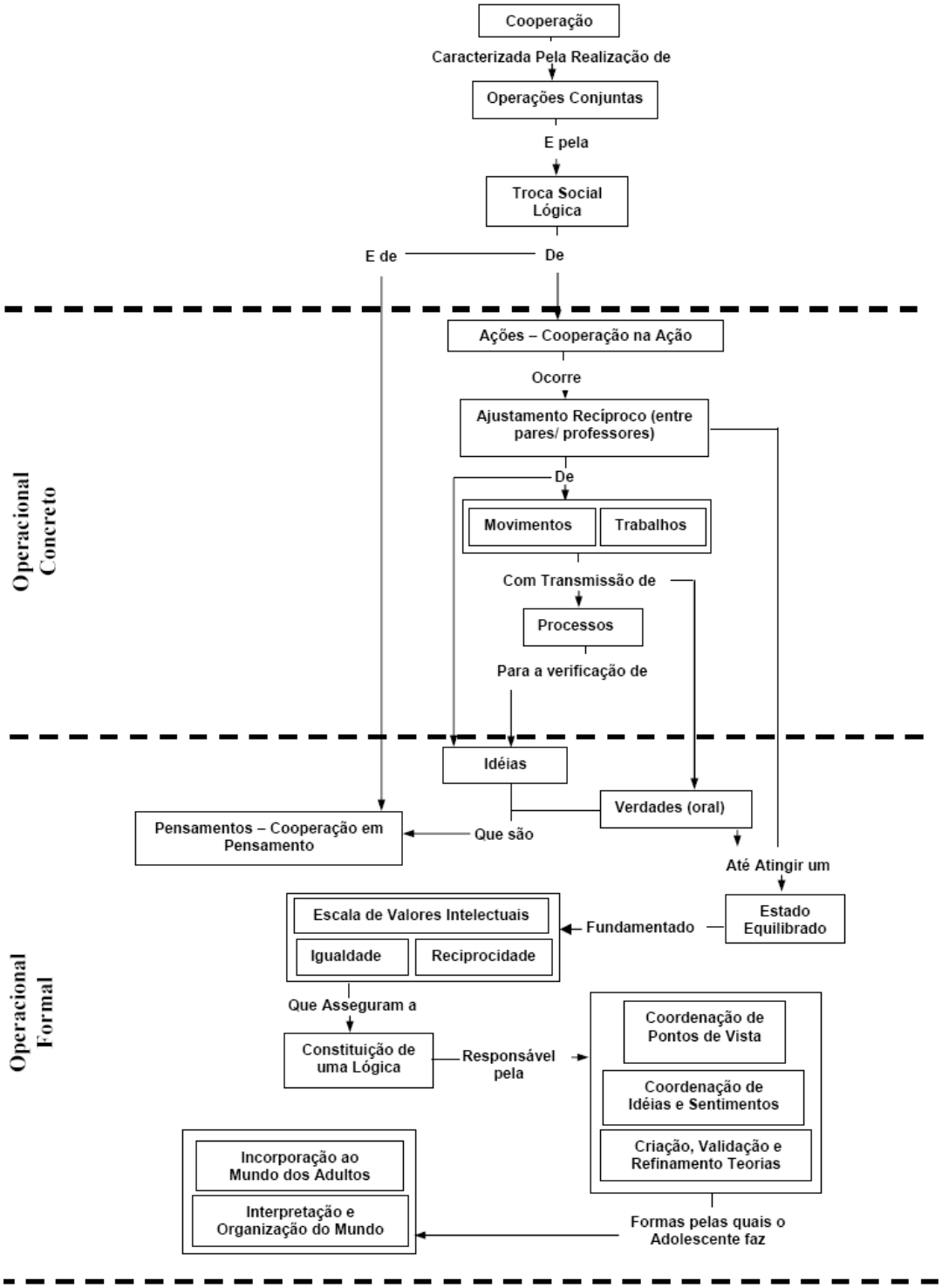

Figura 15 - A cooperação.

A cooperação é um processo caracterizado pela realização de operações conjuntas de correspondência, reciprocidade ou complementaridade com os objetos e/ou com as proposições (Figura 15). A realização de operações conjuntas implica necessariamente na troca social de ações e pensamentos. São feitos ajustes nessas operações até que se atinja um

estado no qual os interlocutores se encontram em acordo ou intelectualmente satisfeitos, o que é chamado por Piaget (1973) de estado de equilíbrio.

Um estado equilibrado é fundamentado em uma escala comum de valores intelectuais expressa por meio de uma linguagem; por uma condição de igualdade geral dos valores em jogo; e pela reciprocidade que expressa a possibilidade de retornar continuamente às validades estabelecidas anteriormente e atualizar a escala de valores.

Essas condições de equilíbrio acarretam a constituição de uma lógica, o que caracteriza a troca social como troca social lógica. A troca social lógica assegura a coordenação de pontos de vista.

4.3.1 - A cooperação no estágio concreto

Entre 7 e 11 anos de idade as crianças realizam trocas sociais lógicas de ações por meio de operações conjuntas com os objetos do mundo real, caracterizando a cooperação na ação (Figura 16). As trocas de ações consistem num ajustamento recíproco de movimentos e trabalhos, com transmissão de processos que supõe uma cooperação efetiva ou em atos. Na cooperação na ação ocorre uma sincronização de ações cuja meta é a obtenção de um objetivo comum que representa um estado equilibrado. Neste percurso, o indivíduo começa por ações irreversíveis e egocêntricas, isto é, centradas sobre elas mesmas e sobre seu resultado. A passagem da ação à operação consiste em ajustar as ações dos parceiros (aluno-aluno ou aluno-professor) umas às outras, até poder compô-las em sistemas gerais aplicáveis a todas as transformações. Estes sistemas é que permitem unir as operações de um indivíduo às dos outros.

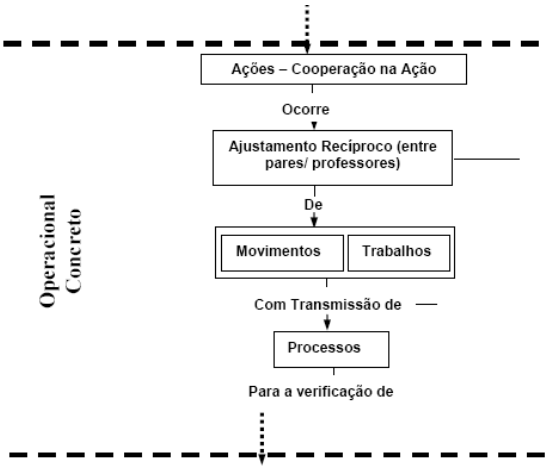

Figura 16 - A cooperação no estágio concreto.

Mais social e menos egocêntrica, a criança não pensa mais em função dela própria, sozinha. Por meio da linguagem e do convívio social, envolvendo jogos e brincadeiras coletivas, a criança constrói a compreensão de que as outras pessoas podem chegar a conclusões diferentes das suas. Embora, nesta etapa, a criança ainda não coordene os diferentes pontos de vista, ela admite fazer a verificação de idéias.

4.3.2 - A cooperação no estágio formal

No estágio formal, o adolescente realiza trocas sociais lógicas de pensamentos expressos na forma de proposições. Uma proposição é por essência, um ato que, via linguagem, comunica uma operação efetuada (PIAGET, 1973). Assim, as trocas de pensamentos têm lugar na comunicação verbal e consistem num ajustamento recíproco de idéias, com transmissão oral de verdades constituídas anteriormente. A cooperação em pensamento é própria do estágio formal por que supõe um sistema abstrato de avaliações e de normas por meio do qual se busca atingir um estado equilibrado (Figura 17).

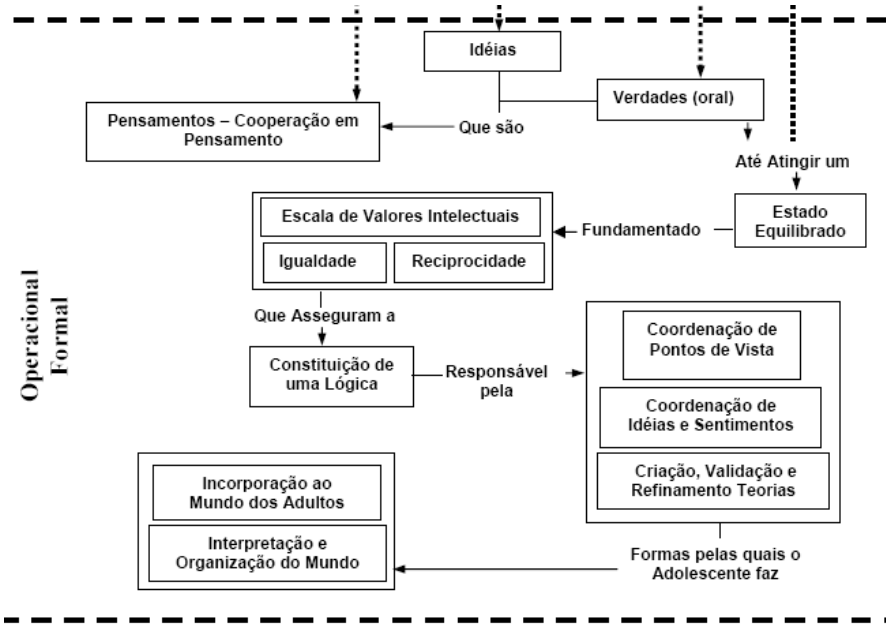

Figura 17 - A cooperação no estágio formal.

Segundo Piaget (1973), existe cooperação em pensamento se, para a obtenção de um estado equilibrado, os possíveis acordos entre os parceiros (professor-aluno ou aluno-aluno) tomam uma das seguintes formas: (a) as proposições de um podem corresponder simplesmente às do outro; (b) as proposições de um constituem o recíproco ou o simétrico das

de outro, o que supõe seu acordo sobre uma verdade comum do tipo explicitado no item (a), justificando a diferença de seus pontos de vista; ou (c) se as proposições de um dos parceiros completam simplesmente a do outro por adição de conjuntos complementares. Desta forma, as trocas proposicionais realizadas com vistas à obtenção do equilíbrio permitem a coordenação de idéias e sentimentos; a criação, validação e refinamento de teorias. Este tipo de troca só é possível entre sujeitos capazes de um pensamento equilibrado e representa a forma pela qual o adolescente passa a incorporar o mundo dos adultos, interpretando-o e organizando-o.

CAPÍTULO 5

Questões, Métricas e Medidas da Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas – ECoTEC

Neste capítulo será definido um processo de medição que permitirá uma caracterização de FCE em relação à sua contribuição efetiva para a construção do conhecimento lógico-matemático, no período operacional.

5.1 - O processo de medição

A definição do processo de medição seguirá os princípios da atividade na análise da qualidade na engenharia de *software*. Segundo Roche (1994) *apud* Pressman (2002) um processo de medição é caracterizado pelas atividades de formulação, coleta, análise, interpretação e realimentação. Neste percurso, o primeiro passo é originar as questões, as métricas e as medidas que serão adequadas para a representação que está sendo considerada. Na sequência, os dados necessários para o cálculo das expressões das métricas formuladas serão coletados. Uma vez calculados, os resultados das expressões das métricas são analisados com base em diretrizes pré-estabelecidas e em dados anteriores. Os resultados da análise são interpretados numa visão mais profunda da qualidade do *software* e os resultados indicarão a presença ou a ausência dos aspectos operatórios da teoria de Piaget.

5.1.1- A formulação do processo de medição

A formulação seguirá o paradigma GQM (Goal/ Question/Metric), uma técnica para identificação de métricas significativas. Esta técnica consiste em estabelecer um objetivo explícito de medição; definir um conjunto de questões que precisam ser respondidas para se alcançar o objetivo; e identificar métricas que ajudam a responder a essas questões (SOLINGEN e BERGHOUT, 1999).

5.1.1.1- O objetivo da medição

O objetivo desta medição é identificar nas ferramentas computacionais, desenvolvidas com base nos princípios construtivistas, aspectos da teoria operatória de Piaget no que se refere à construção do conhecimento lógico-matemático no período operacional. Mais especificamente, o que se pretende é identificar, nas atividades propostas pelas ferramentas, contribuições para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas responsáveis pela modelagem do comportamento, do discurso e do raciocínio do ser humano no período operacional.

5.1.1.2 - O conjunto de questões: características e subcaracterísticas

Para atingir o objetivo da medição definiu-se um conjunto de questões elaboradas com base na teoria operatória de Piaget.

Piaget (1976) estabelece um isomorfismo entre as estruturas de conjunto e as estruturas cognitivas do pensamento operacional. Assim, para identificar a presença ou a ausência de aspectos da teoria operatória nas atividades das ferramentas computacionais, é preciso responder algumas questões básicas para a caracterização das ferramentas:

1) É possível identificar na proposta da atividade parâmetros correspondentes ao esquema antecipador?
2) A atividade contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes aos Agrupamentos?
3) A atividade contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Grupo INRC?
4) A atividade contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes aos esquemas operatórios?
5) A ferramenta computacional dispõe de recursos para a interação do sujeito com o meio físico?
6) A ferramenta computacional dispõe de recursos que viabilizem a interação do sujeito com o meio social?
7) A atividade proposta na ferramenta pressupõe a realização de operações conjuntas nas quais se ajustam movimentos e trabalhos com objetos concretos?

8) A atividade proposta na ferramenta pressupõe a realização de operações conjuntas nas quais se coordenam ideias e sentimentos?

Neste contexto, o esquema antecipador, o agrupamento, o grupo, os esquemas operatórios são considerados as principais características a serem identificadas no módulo Atividades Operatórias. A interação sujeito-meio físico e sujeito-meio social são características do módulo Interação. As operações conjuntas com os objetos e as operações conjuntas com as proposições são características do módulo Cooperação. Considerando a teoria operatória, estas questões são muito densas e foi necessário fazer um refinamento detalhando cada uma delas. Para tanto, derivou-se, a partir do ECoTEC e da análise de experimentos de Piaget, um conjunto de questões em forma de *checklist* (CAVANO, 1978 *apud* PRESSMAN, 2002). Esta técnica é, em geral, utilizada para coletar dados subjetivos relativos a opiniões de especialistas em relação a um produto analisado. Neste aspecto, cada questão será entendida como uma subcaracterística, ou seja, uma habilidade desejável, enquanto realização intelectual a ser construída por meio da utilização da ferramenta computacional analisada. Cada conjunto de subcaracterísticas fornecerá respostas para cada uma das 8 (oito) questões básicas apresentadas anteriormente.

Ao estudar as estruturas cognitivas, Piaget considerou que o agrupamento, o reticulado e o grupo são uma caracterização estrutural precisa e econômica da cognição "ideal" no reino das operações lógicas; que essas estruturas constituem um quadro de referência para interpretar algumas qualidades globais do pensamento operacional formal quando comparado com o pensamento operacional concreto; e ainda que estas estruturas funcionem como um quadro de referência útil na investigação ou no "diagnóstico" de realizações intelectuais específicas nesta área (FLAVELL, 1975, p. 194).

Assim, nesta pesquisa, considera-se o ECoTEC como um modelo estrutural que fornecerá a referência para o diagnóstico da presença ou da ausência de componentes do agrupamento e dos esquemas operatórios com estrutura formal em ferramentas computacionais. Esse diagnóstico não pretende oferecer uma afirmação precisa e detalhada sobre isomorfismos existentes entre o modelo operatório de Piaget, ou mesmo entre o ECoTEC e o comportamento. Em vez disso, fornecerá um contexto ou um quadro de referência para a identificação das realizações intelectuais do sujeito em decorrência da utilização de ferramentas computacionais construtivistas. Estas realizações intelectuais serão reveladas por meio das habilidades adquiridas pelo sujeito. Além do diagnóstico das estruturas cognitivas faz-se também, nas ferramentas computacionais, um diagnóstico sobre

os recursos para a interação e para a cooperação entre os pares, aspectos considerados importantes na teoria operatória de Piaget.

As questões para o *checklist* foram elaboradas para um público alvo formado por professores e pesquisadores que avaliam ferramentas computacionais com vistas na sua aplicabilidade na sala de aula. Além disso, esse trabalho não exclui a possibilidade de auxiliar os desenvolvedores a produzirem ferramentas computacionais que atendam a demanda por construção de conhecimento lógico-matemático.

Para o *checklist* foram elaborados cinquenta e seis questões divididas em três módulos: atividades operatórias, interação e cooperação.

5.1.1.3 - Questões do módulo Atividades Operatórias

O módulo Atividades Operatórias é composto por 40 questões (Tabela 7) que foram agrupadas em categorias. Cada grupo de questões investiga a presença ou a ausência de componentes dos agrupamentos lógicos e dos esquemas operatórios com estrutura formal, ao considerar as habilidades alcançadas pelos alunos ao utilizarem a ferramenta computacional.

Tabela 7 - Questões para os agrupamentos lógicos e para os esquemas operatórios com estrutura formal.

Atividades Operatórias	**Questões**
Esquema Antecipador Contido na Proposta da Atividade	1. A atividade proposta envolve uma classificação do objeto ou fenômeno considerando "O QUE É"? 2. A atividade proposta permite colocar em evidência diferenças e equivalências entre os objetos (grande, pesado, longe, etc.)? 3. Na atividade proposta é necessária a ordenação no espaço e no tempo considerando "ONDE" e/ou "QUANDO"? 4. Em algum momento, a atividade exige uma explicação do aluno do tipo "POR QUE MOTIVO"? 5. A atividade proposta pede uma avaliação dos fins e meios para relacionar à "COM QUE OBJETIVO"? 6. A atividade proposta ao aluno envolve contagem do tipo "QUANTO"?

... continua ...

Tabela 7, Cont.

Atividades Operatórias			Questões
Estruturas Lógico-Matemáticas de Conjunto	**Agrupamentos** Operações Lógicas de Classes e Relações	Agrupamento I	7. A atividade pressupõe a combinação sucessiva de classes elementares (somar classes) formando classes superiores? 8. A atividade pressupõe que se inicie por classes de nível mais alto e as decomponha em classes componentes (subtrair classes)? 9. A atividade pressupõe que o aluno relacione as subclasses (A e A') com a classe superior que as contém (B), da mesma forma que relaciona a classe superior (B) com as subclasses (A e A') de forma que A+A'=B e B=A+A' tenham o mesmo significado? 10. A atividade pressupõe que o aluno relacione a parte (subclasse) menor que o todo (classe superior) ou reciprocamente o todo maior que a parte? 11. A atividade pressupõe que o aluno considere a fragmentação de um todo (partes) e refaça o todo?
		Agrupamento II	12. A atividade pressupõe que o aluno faça classificações de certa coleção de objetos de maneiras diferentes, considerando ora um atributo, ora outro?
		Agrupamento III	13. A atividade pressupõe que o aluno coloque cada elemento de uma série (ou um conjunto) em correspondência com um elemento de uma outra série (ou conjunto) formando uma matriz de dupla entrada? 14. A atividade pressupõe que o aluno faça a classificação dos objetos considerando vários atributos ao mesmo tempo? 15. A atividade permite que o aluno realize a intersecção de duas classes com atributos diferentes que se superpõem?
		Agrupamento V	16. A atividade pressupõe que o aluno relacione três ou mais objetos (ou classes de objetos) de forma a colocá-los em ordem crescente ou decrescente de tamanho, peso, volume etc.? 17. A atividade pressupõe a inserção de um novo objeto (ou classe) numa sequência ordenada (crescente ou decrescente)?
		Agrupamento VI	18. A atividade pressupõe que o aluno utilize indistintamente as operações direta e inversa de relações simétricas?

... continua ...

Tabela 7, Cont.

Atividades Operatórias			Questões
Estruturas Lógico-Matemáticas de Conjunto	**Agrupamentos** Operações Lógicas de Classes e Relações	Agrupamento VII	19. A atividade pressupõe que se estabeleça a correspondência termo a termo entre os objetos de duas séries assimétricas? 20. A atividade pressupõe que o aluno ordene os elementos constituintes de duas séries assimétricas segundo uma matriz de dupla entrada?
	Grupos Operações Lógicas de Proposições	Dissociação e Reversibilidade (Raciocínio Compensatório)	21. Para restabelecer o equilíbrio de um sistema ou para analisar separadamente os efeitos de uma variável (propriedade ou acontecimento), podem-se excluir seus efeitos apenas por supressão, ou seja, pela simples eliminação desta variável (propriedade ou acontecimento)? 22. Para restabelecer o equilíbrio de um sistema ou para analisar separadamente os efeitos de uma variável (propriedade ou acontecimento), podem-se neutralizar seus efeitos apenas por meio da adjunção, ou seja, pela associação de outra variável cujo efeito a neutraliza? 23. Para restabelecer o equilíbrio de um sistema ou para analisar separadamente os efeitos de uma variável (propriedade ou acontecimento), pode-se tanto excluir como neutralizar seus efeitos?
		Combinações e Hipóteses (Pensamento combinatório - Reticulado)	24. A atividade pressupõe que o aluno, por meio de situações reais, associe fatores (variáveis, propriedades, acontecimentos), combine objetos (partes dos objetos ou atributos entre si) por meio de comparações 2 a 2 e/ou 3 a 3? 25. A atividade pressupõe que o aluno, considerando diferentes possibilidades, por meio de deduções/abstrações, associe fatores (variáveis, propriedades, acontecimentos), combine objetos, partes dos objetos ou atributos formando proposições ou hipóteses? 26. Na atividade existem instruções explícitas para instigar o aluno a realizar as combinações com os objetos, partes dos objetos ou atributos? 27. Na atividade não existem instruções explícitas para instigar o aluno a realizar as combinações com objetos, partes dos objetos ou atributos, ao contrário, pressupõe-se que o aluno as realize espontaneamente? 28. É possível observar que as tentativas feitas, pelos alunos para combinar objetos, partes dos objetos ou atributos, buscando (o equilíbrio) a solução do problema proposto no software, são baseadas na simples tentativa e erro?

... continua ...

Tabela 7, Cont.

Atividades Operatórias			Questões
Estruturas Lógico-Matemáticas de Conjunto	**Grupos** Operações Lógicas de Proposições	Combinações e Hipóteses (Pensamento combinatório - Reticulado)	29. É possível observar que as tentativas feitas, pelos alunos para combinar objetos, partes dos objetos ou atributos, buscando (o equilíbrio) a solução do problema proposto no software, seguem um <u>método sistemático</u>? 30. A atividade pressupõe que o aluno, ao fazer as combinações com objetos, partes dos objetos ou atributos, se refira aos objetos enquanto <u>simples unidades</u>? 31. A atividade pressupõe que o aluno, ao fazer as combinações com objetos, partes dos objetos ou atributos, se refira às suas <u>qualidades</u>?
		Grupo I,N,R,C (Esquemas Operatórios Isomorfos ao Grupo de Transformações INRC)	32. A solução do problema proposto no software (entendida como um sistema em equilíbrio) pressupõe uma interdependência das modificações por inversão e reciprocidade? 33. Para descobrir ou construir uma noção ou operação, a atividade pressupõe a necessidade de operações lógicas proposicionais (atribuição de valores do tipo "Verdadeiro" ou "Falso")? 34. A atividade pressupõe que o aluno construa frações ou relações numéricas e forme com elas proporções? 35. A atividade pressupõe a coordenação simultânea de dois sistemas de referência distintos (movimentos relativos), sendo possível compor duas ou mais ações e produzir o mesmo efeito de uma terceira ação? 36. A atividade pressupõe que o aluno construa ou utilize qualitativamente (sem cálculos) noções que envolvam o princípio da igualdade entre ação e reação? 37. A atividade pressupõe que o aluno construa ou utilize qualitativamente (sem cálculos) noções que permitam estabelecer relações entre os casos favoráveis e os casos possíveis da ocorrência de um determinado evento? 38. A atividade pressupõe que o aluno construa ou utilize qualitativamente (sem cálculos) a noção de correlação entre duas ou mais variáveis? 39. A atividade pressupõe que o aluno construa ou utilize qualitativamente (sem cálculos) a noção de compensação multiplicativa? 40. A atividade pressupõe que o aluno construa ou utilize qualitativamente (sem cálculos) a noção de conservação do movimento retilíneo e uniforme?

Toda atividade proposta representa um projeto mais ou menos esquemático de ações ou de operações que o aluno se apresta a aplicar a um novo objeto ainda não classificado, situado no espaço, quantificado etc. (AEBLI, 1974). As questões de 1 a 6 (Tabela 7) identificam o esquema antecipador contido na proposta da atividade. O diagnóstico das ações ou das operações que deverão ser aplicadas aos dados é feito por meio de perguntas fechadas.

Segundo Piaget (1958), cada uma dessas perguntas é função de um agrupamento ou de um grupo prévios. Se a atividade relaciona-se a:

(1) "O QUE É?": a operação cuja execução é exigida manda classificar o objeto ou o fenômeno em questão.

(2) "É MAIS OU MENOS?": a operação cuja execução é exigida pede uma comparação de modo a permitir que se ponham em evidência as diferenças e equivalências entre os objetos.

(3) "ONDE?" ou "QUANDO?": a operação cuja execução é exigida pede que uma coisa seja ordenada no espaço e no tempo.

(4) "POR QUE MOTIVO?": a operação cuja execução é exigida pede uma explicação.

(5) "COM QUE OBJETIVO?": a operação cuja execução é exigida pede uma avaliação dos fins e meios.

(6) "QUANTO?": a operação cuja execução é exigida pede para quantificar.

Pode ocorrer também que a atividade proposta na FCE apresente um esquema antecipador que corresponde a um plano muito global e esquemático da operação a ser efetuada. Como consequência, não se sabe de antemão como realizar os pormenores da operação projetada. Agindo sobre os objetos é que o esquema antecipador global se estruturará e se diferenciará numa operação nova (AEBLI, 1974). Neste caso, nenhuma das perguntas acima é adequada para a atividade proposta.

No *checklist*, para diagnosticar as características das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao estágio concreto, os agrupamentos elementares, investigam-se nas ferramentas computacionais a presença de operações lógicas realizadas com classes, pelos agrupamentos I, II, III, e com relações, pelos agrupamentos V, VI e VII. Para tanto, as questões de 7 a 20 foram elaboradas com base nas provas experimentais produzidas por Piaget. Extraem-se das provas as capacidades elencadas para as crianças no estágio concreto.

No Agrupamento I, a exemplo do que fez Piaget, não se analisa isoladamente a capacidade de considerar determinados elementos como membros de uma classe. Piaget

afirma que esta operação seria impossível sem a existência anterior de uma orientação classificatória mais geral. Segundo o autor, para propor uma classe e conhecê-la como uma classe realmente lógica e não como uma configuração ou coleção momentânea de elementos, é preciso que se tenha a capacidade generalizada de propor outras classes, somar várias classes para formar classes superiores, subtrair uma classe da outra e incluir uma classe na outra (FLAVELL, 1975). Assim sendo, no *checklist* investiga-se, no que se refere ao Agrupamento I, as capacidades de somar, subtrair e incluir classes (Tabela 7). E no que se refere ao Agrupamento II, a capacidade de propor outras classes, isto é, investiga-se a capacidade da criança desfazer mentalmente uma classificação e propor outra considerando novo atributo (Tabela 7).

Além de somadas e subtraídas, as classes podem também ser multiplicadas e divididas (FLAVELL, 1975, p. 180). A multiplicação lógica de classes pertence aos experimentos de Piaget relacionados às capacidades do Agrupamento III e foi fundamentada na correspondência termo a termo. Nos domínios dos problemas propostos por Piaget supõem a presença de uma matriz de dupla entrada. Em cada uma das entradas, o sujeito coloca objetos ou classes. Os elementos da matriz assim formada correspondem ao produto lógico ou a intersecção das duas classes. Assim sendo, no *checklist* (Tabela 7) investiga-se a capacidade da criança colocar elementos de dois conjuntos formando uma matriz/quadro/tabela de dupla entrada; a capacidade de ele classificar um objeto considerando vários atributos pela intersecção de classes com diferentes atributos que se superpõem.

Como já foi dito, os Agrupamentos V, VI e VII referem-se às operações realizadas sobre as relações que podem existir entre dois ou mais elementos ou entre duas ou mais classes. O Agrupamento V refere-se especificamente às relações assimétricas. Estas relações são estabelecidas entre objetos, pessoas, fatos, idéias (ou classes) seriados, isto é, ordenados pelas diferenças de tamanho, cor, volume, peso etc. Por exemplo, ao ordenar um conjunto de objetos pelo tamanho pode-se estabelecer entre eles a relação assimétrica de maior (>) ou de menor (<). Uma vez montada a série, outros elementos podem ser inseridos na sequência. No *checklist*, o Agrupamento V (Tabela 7) investiga a capacidade do sujeito em relacionar três ou mais objetos (ou classes de objetos) de forma a colocá-los em ordem crescente ou decrescente de tamanho, peso, volume, etc. Investiga-se também a capacidade de realizar operações transitivas com os elementos da série. Esta capacidade é revelada quando a criança consegue inserir um novo elemento em uma seqüência já ordenada.

No Agrupamento VI, Piaget considerou as relações simétricas. Estas relações são estabelecidas entre objetos, pessoas, fatos ou idéias que são agrupados segundo suas

semelhanças ou segundo suas diferenças não ordenadas. Por exemplo, classificando-se os objetos pela semelhança na forma obtém-se, por exemplo, a classe A dos triângulos. Considerando-se a e b dois objetos da classe A, pode-se estabelecer entre eles a relação simétrica de igualdade (=) tal que se a=b necessariamente b=a. Segundo Flavell (1975), existem poucas provas experimentais diretas relacionadas a este agrupamento. As investigações de Piaget referem-se quase que exclusivamente à aquisição da propriedade de simetria nas relações simétricas. Assim sendo, no *checklist* investiga-se a capacidade da criança realizar operações diretas e inversas em relações simétricas (Tabela 7).

No Agrupamento VII, Piaget explora, de forma complementar, as capacidades de estabelecer correspondências termo a termo de elementos não seriados, construída no Agrupamento III, e a de desenvolver séries assimétricas isoladas, construída no Agrupamento V. Nos experimentos, ele propõe a correspondência termo a termo de séries assimétricas. Esta correspondência pressupõe a formação de uma matriz de dupla entrada em que cada uma das entradas é formada por uma série assimétrica ordenada. Os elementos da matriz formam a multiplicação das duas séries. No *checklist* investiga-se a capacidade de a criança estabelecer a correspondência termo a termo entre duas séries assimétricas e também a capacidade de organizar estas séries segundo uma matriz de dupla entrada (Tabela 7).

As questões de 7 a 20 fornecem critérios para diagnosticar a presença de operações lógicas de classificações, seriações e correspondências no estágio concreto. Enquanto que nas questões de 21 a 23 investiga-se a presença de características da dissociação de fatores nas atividades das FCE (Tabela 7). Piaget afirma que no nível concreto já existem algumas formas de dissociação de fatores. Para decidir se determinado fator interfere ou não no resultado, o sujeito do nível concreto observa que este fator ora está presente, ora ausente. Além da observação, o sujeito faz também experimentações introduzindo ou afastando o fator em questão. Portanto, a observação e a experimentação permitem que se realizem transformações por inversão ou negação. No caso em que o fator não pode ser afastado, pois está necessariamente presente (peso e comprimento de um objeto, por exemplo), a criança do nível concreto não consegue afastá-lo e não chega a provocar sua variação para observá-lo. Falta-lhe a dimensão do possível, cognição alcançada somente no nível formal. Nesta etapa, o sujeito adquire a compreensão de que se pode afastar um fator, suprimindo-o quando sua natureza o permite ou neutralizando-o por igualização quando sua natureza exclui a supressão. O sujeito adquire a compreensão que no mesmo sistema em que se afasta um fator pode-se também, reciprocamente, fazer variar outro por supressão ou por adjunção.

A dissociação de fatores ocorre por meio da coordenação de inversão, negação e reciprocidade num único sistema. Esse processo desencadeia a necessidade da constituição da combinatória, objeto de investigação das questões 24 a 31 (Tabela 7).

As primeiras combinações, ainda no estágio concreto, aparecem na forma de associações e multiplicações de classes e se referem aos objetos concretos, considerados simples unidades. Nesta etapa, são necessárias instruções explícitas que instiguem a criança a realizar as combinações com os objetos, partes dos objetos ou atributos. Além disso, as tentativas feitas pelas crianças para realizar estas combinações são baseadas na simples tentativa e erro.

A distinção entre o que é real e o que é possível faz com que ao examinar um problema com que se defronta, o adolescente imagine todas as relações possíveis. Por um método sistemático ele busca as possíveis soluções do problema. Espontaneamente, ele faz deduções/abstrações e associa fatores. Ele combina objetos, partes dos objetos ou qualidades desses objetos, formando proposições.

As conquistas cognitivas do adolescente podem ser classificadas numa dimensão que vai do geral para o específico. Em seus experimentos, Piaget identifica conceitos mais específicos e particulares e relacionados a uma tarefa que a estrutura global permite que o adolescente trabalhe. O conjunto de instrumentos conceituais que Piaget chama de esquemas operacionais formais encontra-se num nível intermediário de generalidade (FLAVELL, 1975). Cada esquema operacional apresenta semelhanças com as estruturas de reticulado e de grupo e vários deles com o grupo das inversões e reciprocidades, ou seja, INRC. O sujeito constrói essas noções ou operações deduzindo-as ou inventando-as durante a pesquisa e depois de combinações experimentais. A relevância em se estudar estes esquemas no desenvolvimento cognitivo é que eles especificam estratégias importantes, parcialmente independentes, mas não totalmente gerais, que podem ser diagnosticadas no comportamento inteligente do adolescente quando este tenta resolver problemas concretos (FLAVELL, 1975; INHELDER; PIAGET, 1976).

O adolescente constrói os esquemas formais por intermédio das operações proposicionais. Seu pensamento apresenta características de estrutura total e integrada de grupo e reticulado (INHELDER; PIAGET, 1976). Desta forma, investiga-se, nas questões 32 e 33, se a atividade pressupõe a necessidade de operações proposicionais para construir uma noção ou operação e se existe a interdependência das modificações por inversões e reciprocidades (Tabela 7).

Piaget descreve um total de oito esquemas operacionais formais, a saber: (a) as operações combinatórias; (b) as proporções; (c) a coordenação de dois sistemas de referência e a relatividade dos movimentos e das velocidades; (d) a noção de equilíbrio mecânico; (e) a noção de probabilidade; (f) a noção de correlação; (g) as compensações multiplicativas; (h) a noção da conservação do movimento retilíneo e uniforme. Nas experiências de Piaget a maioria dessas noções é investigada apenas qualitativamente, sem cálculos.

As operações combinatórias não foram investigadas enquanto esquema operacional formal por já terem sido investigadas enquanto componente do pensamento combinatório pelas questões de 24 a 31.

A capacidade para construir os esquemas de operações formais não se manifesta necessariamente, mas aparece quando a natureza dos problemas que devem ser resolvidos o exige (INHELDER; PIAGET, 1976, p. 231). Assim sendo, no *checklist* as questões de 34 a 40 investigam a natureza dos problemas propostos nas FCE com o intuito a identificar traços dos esquemas operacionais formais (Tabela 7).

Na teoria de Piaget os esquemas operacionais formais aparecem simultaneamente. Por esta razão, no *checklist* a constatação de pelo menos um traço de um dos esquemas já é suficiente para inferir a presença de contribuições da FCE para o desenvolvimento das estruturas cognitivas correspondentes ao estágio formal.

5.1.1.4 - Questões do módulo Interação

Na teoria de Piaget, a cognição é uma questão de ações reais realizadas pelo sujeito (FLAVELL, 1975, p. 81). Desta forma, o desenvolvimento intelectual é assegurado pela interação entre o sujeito do conhecimento e o meio ambiente. Como já foi dito, no módulo Interação analisa-se as experiências adquiridas em função da interação entre o sujeito e o meio físico (Tabela 8), com vistas à compreensão dos mecanismos de construção e coordenação do pensamento lógico-matemático. As interações entre os sujeitos serão investigadas no módulo Cooperação (Tabela 9).

Tabela 8 - Questões para a interação entre sujeito-meio físico.

Módulo Interação				Questões
Sujeito-Meio Físico	Ações Concretas (Mundo Real)	Experimentação Simulação Observação dos fatos	Atributos dos Objetos Operações Lógicas (Classes e Relações)	41. Existem recursos para que o aluno capture os atributos dos objetos? 42. Existem recursos para que o aluno manipule os objetos e realize experimentos / simulações?
	Ações Mentais (Mundo Possível)	Pensamento Proposicional	Operações Lógicas (Proposições) Registro de Idéias e Opiniões	43. Existem recursos para que os alunos registrem suas idéias e opiniões? 44. Os alunos podem consultar o registro das idéias e opiniões dos demais colegas?
			Deduções Inferências	45. Existem recursos para que o aluno realize efetivamente os diferentes caminhos imaginados / deduzidos para uma possível solução da atividade proposta?
Sujeito-Meio Social	Cooperação	Troca Social Lógica	Operações Conjuntas	46. Existem recursos para a utilização em rede?

No estágio concreto, as operações lógicas de classificação, seriação e correspondência dependem das ações concretas do sujeito sobre os objetos reais. É por meio dessas ações que o sujeito observa os fatos e realiza experimentações que permitem capturar os atributos dos objetos. Assim, no *checklist*, as questões 41 e 42 investigam os recursos oferecidos pela ferramenta computacional para capturar os atributos dos objetos, para manipulá-los e realizar experimentos (operações lógicas) (Tabela 8).

O pensamento formal é, acima de tudo, um pensamento proposicional (FLAVELL, 1975). Ao raciocinar, o adolescente manipula afirmações, proposições que contém dados concretos. As proposições constituem a verbalização das ações mentais, podendo também exprimir idéias, sentimentos e opiniões. O adolescente realiza operações interproposicionais correspondentes aos vários tipos de conexão lógica entre as proposições, tais como implicação, conjunção, identidade, disjunção etc. O pensamento proposicional está intimamente relacionado com a orientação para o possível e o hipotético. Diante de um problema, o adolescente determina todas as relações implícitas no problema para se certificar de que nada foi omitido. As diferentes combinações constituem hipóteses que precisam ser

verificadas. O pensamento proposicional permite que ele elimine algumas possibilidades por meio de deduções e inferências e investigue outras por meio de experimentações e/ou simulações. Nas questões 43 e 44 do *checklist* é investigado os recursos das FCE para o registro e a socialização das idéias e opiniões dos alunos (Tabela 8). Na questão 45 investiga-se os recursos da ferramenta para que o adolescente possa realizar efetivamente experimentações e/ou simulações (Tabela 8).

Os recursos da ferramenta computacional para efetivar a interação entre sujeito e meio-social são investigados na métrica 46 (Tabela 8).

5.1.1.5 - Questões do módulo Cooperação

A cooperação é estabelecida por meio de operações conjuntas nas quais se realizam trocas sociais lógicas de ações e de pensamentos. A Tabela 9 apresenta as questões correspondentes ao módulo Cooperação.

No *checklist* investigam-se, nas questões 47 e 48, a possibilidade de realizar as atividades propostas nas FCE de forma individual ou conjunta, respectivamente (Tabela 9).

Como já foi dito, a cooperação pode ocorrer na forma de ações efetivas ou na forma de pensamentos, expressos por proposições. As questões de 47 a 50 investigam traços da cooperação na ação (Tabela 9).

Segundo Aebli, (1974), as atividades que exigem a construção de uma noção ou conceito requerem a conciliação das idéias divergentes no âmbito da concepção de conjunto. Assim sendo, a questão 49 diagnostica se a atividade proposta nas FCE pressupõe a realização de discussão comum para a introdução de um conceito ou tema (Tabela 9). Na discussão comum a troca social lógica ocorre entre a sala toda, trocam-se observações e reflexões acerca do objeto de estudo. O aluno constrói uma noção ou operação, diferencia e coordena de maneira nova suas ideias anteriores, confronta diferentes pontos de vista e reconhece que um mesmo problema pode ter soluções diferentes.

Nas atividades de aplicação de noções, operações, métodos de trabalho que o aluno já possui, a tarefa é então, segundo Aebli, (1974), identificar quais são os que deve aplicar e como aplicá-los. Esta habilidade é investigada, no *checklist* na questão de número 50 (Tabela 9).

Tabela 9 - Questões para as trocas sociais lógicas de ações e de pensamentos.

Módulo Cooperação			**Questões**
Troca Social Lógica (Convívio Social)	Operações Conjuntas (Objetos)	Cooperação na Ação	47. A atividade pressupõe que as experiências e observações sejam realizadas pelos alunos apenas de forma independente, individualmente? 48. A atividade pressupõe que as experiências e observações sejam realizadas pelos alunos de forma conjunta? 49. A atividade pede que o aluno diferencie e coordene de maneira nova suas idéias – é um trabalho de introdução que envolve discussão comum – sala toda? 50. A atividade pressupõe que o aluno aplique operações conhecidas a situações novas – é um trabalho de aplicação realizado em equipes?
	Operações Conjuntas (Coordenação de Ideias e Sentimentos)	Cooperação em Pensamento	51. A atividade pressupõe a utilização de ideias geradas a partir do convívio social entre os alunos? 52. A atividade pressupõe que os alunos considerem situações vivenciadas por eles fora da escola?
		Criação Validação Refinamento de Teorias	53. A atividade permite que o aluno escolha caminhos diferenciados para a resolução dos problemas? 54. A atividade pede que os alunos registrem suas ideias e opiniões? 55. A atividade pressupõe que os alunos consultem o registro das ideias e opiniões dos demais colegas, confrontando pontos de vista diferentes do seu próprio?
		Interpretação e Organização do Mundo	56. Ao término da atividade, é possível observar de alguma maneira (pelo registro dos alunos e/ou pelas atitudes e/ou pelas discussões) que eles sabem justificar criteriosamente o conjunto de operações que executam?

Na cooperação em pensamento as contribuições para a realização das atividades conjuntas ocorrem a partir de ideias geradas pelo convívio social entre os alunos dentro e fora da escola. Neste sentido, as questões 51 e 52 investigam se a atividade proposta na ferramenta computacional pressupõe a utilização destas ideias na solução do problema (Tabela 9).

Por meio das diferentes formas de cooperação o sujeito coordena ideias e sentimentos, cria, valida e refina teorias. É assim que, segundo Piaget, o adolescente se insere no mundo dos adultos. O refinamento destas teorias requer a aceitação do grupo como um todo, inclusive dos adultos. É assim que o adolescente aprende a reconhecer os diferentes caminhos para a solução de um mesmo problema. Para validar suas ideias ele passa também a

confrontar e coordenar os diferentes pontos de vista sobre o objeto de estudo. O diagnóstico destas habilidades é feito nas questões de número 53 a 56 (Tabela 9).

Interpretar, compreender, organizar e integrar o mundo dos adultos pressupõe também uma justificativa criteriosa para o conjunto de operações executadas durante a solução de um problema. Assim, a questão 56, investiga a presença desta habilidade na atividade das FCE (Tabela 9).

5.2 - As métricas derivadas das questões e as medidas correspondentes

Para cada uma das questões derivaram-se as métricas: SIM, NÃO e NÃO SE APLICA. Estas métricas correspondem às alternativas predeterminadas que indicam a presença (SIM) ou a ausência (NÃO) da habilidade analisada na questão ou a impossibilidade de avaliá-la (NÃO SE APLICA).

Para efeitos dos cálculos a serem definidos no item 5.3 a seguir, a cada métrica será atribuída uma medida. Se a habilidade em questão estiver presente (SIM) atribui-se o valor 10 (dez); se estiver ausente (NÃO) atribui-se o valor 0 (zero) e se não for possível avaliar (NÃO SE APLICA), atribui-se o valor -1 (um negativo). A escolha desse tipo de resposta deve-se à facilidade e rapidez do usuário ao responder as questões do *checklist* e também à facilidade da compilação por um sistema de captação e tratamento de dados.

5.3 - As expressões das métricas

Para obter uma indicação quantitativa da habilidade analisada e diminuir a subjetividade do processo de medição desenvolveram-se expressões envolvendo as medidas atribuídas às métricas. Para tanto, faz-se uma adaptação da expressão de McCall et al. (1977) *apud* Pressman (2002) para a qualidade de *softwares*.

O modelo de qualidade de *software* desenvolvido por McCall et al. (1977) *apud* Pressman (2002) utiliza um conjunto de métricas para desenvolver expressões para cada um dos fatores de qualidade. As expressões são desenvolvidas de acordo com a relação $F_q = c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3 + ... + c_n m_n$, onde F_q é o fator de qualidade de software; c_n são coeficientes de regressão tais que $c_1 + c_2 + c_3 + ... + c_n = 1$ e m_n são notas atribuídas às métricas que afetam o fator de qualidade tais que $0 \leq m_n \leq 10$.

Na adaptação feita nesta pesquisa em vez de medir a qualidade de softwares, faz-se uma caracterização de FCE, em vez dos fatores de qualidade (F_q) consideram-se as habilidades (H) que caracterizam as estruturas de conjunto que modelam o comportamento da criança e do adolescente no período operacional. Fez-se uma apropriação do termo habilidade para indicar os recursos da ferramenta para interação e cooperação. Utiliza-se o conjunto de métricas e medidas definidas anteriormente para desenvolver expressões para cada uma das habilidades. Os coeficientes de regressão c_n serão interpretados como pesos destas habilidades e também serão tais que $c_1 + c_2 + c_3 + ... + c_n = 1$. As notas atribuídas às métricas m_i com $1 \leq i \leq 56$ corresponderão, como já definido anteriormente, às medidas 10 (dez), ou 0 (zero) ou -1 (um negativo) atribuídas a cada questão.

Cada subcaracterística ou grupos de subcaracterísticas formam uma habilidade. As subcaracterísticas de 1 a 40 (Tabela 10) relacionam-se às habilidades operatórias a serem construídas pelo aluno ao utilizar a ferramenta computacional em questão.

Nas subcaracterísticas de 41 a 46 (Tabela 11) é feita uma apropriação do termo habilidade para indicar os recursos da ferramenta necessários para que haja a interação do sujeito com o meio físico e com o meio social. Em ambientes informatizados, a interação do sujeito com o meio físico adquire uma nova configuração. Nestes ambientes admite-se a possibilidade de mudar os limites entre o concreto e o formal (PAPERT, 1988). Em vez de interagir com os objetos concretos e reais, interage-se com o que Hebenstreint (1987) *apud* Gravina et. al (1998) chama de objetos concreto-abstratos. Segundo o autor, concretos porque existem na tela do computador e podem ser manipulados; abstratos por se tratarem de realizações feitas a partir de construções mentais. Assim sendo, no contexto desta pesquisa a interação do sujeito com o meio físico será considerada do ponto de vista dos objetos concreto-abstratos.

As subcaracterísticas de número 47 a 56 (Tabela 12) investigam as habilidades relacionadas à cooperação entre os pares.

Tabela 10 - Indicadores de habilidades operatórias.

Característica EL-M	Subcaracterística	Questão nº	Peso	Expressão
Esquema Antecipador	O que é?	1	$c_1 = 1$	$H(1) = 1.m_1$
	É mais? ou É menos?	2	$c_2 = 1$	$H(2) = 1.m_2$
	Onde? Ou quando?	3	$c_3 = 1$	$H(3) = 1.m_3$
	Por que motivo?	4	$c_4 = 1$	$H(4) = 1.m_4$
	Com que objetivo?	5	$c_5 = 1$	$H(5) = 1.m_5$
	Quanto?	6	$c_6 = 1$	$H(6) = 1.m_6$
Agrupamentos	Agrupamento I	7	$c_7 = 0{,}2$	$H(7) = 0{,}2.m_7 + 0{,}2.m_8 + 0{,}2.m_9 + 0{,}2.m_{10} + 0{,}2.m_{11}$
		8	$c_8 = 0{,}2$	
		9	$c_9 = 0{,}2$	
		10	$c_{10} = 0{,}2$	
		11	$c_{11} = 0{,}2$	
	Agrupamento II	12	$c_{12} = 1$	$H(8) = 1.m_{12}$
	Agrupamento III	13	$c_{13} = \frac{1}{3}$	$H(9) = \frac{1}{3}.m_{13} + \frac{1}{3}.m_{14} + \frac{1}{3}.m_{15}$
		14	$c_{14} = \frac{1}{3}$	
		15	$c_{15} = \frac{1}{3}$	
	Agrupamento V	16	$c_{16} = 0{,}5$	$H(10) = 0{,}5.m_{16} + 0{,}5.m_{17}$
		17	$c_{17} = 0{,}5$	
	Agrupamento VI	18	$c_{18} = 1$	$H(11) = 1.m_{18}$

... continua ...

Tabela 10, Cont.

Característica EL-M	Subcaracterística	Questão nº	Peso	Expressão
Agrupamentos	Agrupamento VII	19	$c_{19} = 0{,}5$	$H(12) = 0{,}5.m_{19} + 0{,}5.m_{20}$
		20	$c_{20} = 0{,}5$	
Grupos	Dissociação e reversibilidade	21	$c_{21} = 0{,}2$	$H(13) = 0{,}2.m_{21} + 0{,}3.m_{22} + 0{,}5.m_{23}$
		22	$c_{22} = 0{,}3$	
		23	$c_{23} = 0{,}5$	
	Combinações e hipóteses	24	$c_{24} = 0{,}25$	$H(14) = 0{,}25.m_{24} + 0{,}25.m_{26} + 0{,}25.m_{28} + 0{,}25.m_{30}$
		26	$c_{26} = 0{,}25$	
		28	$c_{28} = 0{,}25$	
		30	$c_{30} = 0{,}25$	
		25	$c_{25} = 0{,}25$	$H(15) = 0{,}25.m_{25} + 0{,}25.m_{27} + 0{,}25.m_{29} + 0{,}25.m_{31}$
		27	$c_{27} = 0{,}25$	
		29	$c_{29} = 0{,}25$	
		31	$c_{31} = 0{,}25$	
Esquemas operatórios (INRC)	Coordenação de inversão e reciprocidade	32	$c_{32} = 1$	$H(16) = 1.m_{32}$
	Operações proposicionais	33	$c_{33} = 1$	$H(17) = 1.m_{33}$
	Proporções	34	$c_{34} = 1$	$H(18) = 1.m_{34}$
	Coordenação de sistemas de referência	35	$c_{35} = 1$	$H(19) = 1.m_{35}$
	Princípio da Ação e reação	36	$c_{36} = 1$	$H(20) = 1.m_{36}$
	Probabilidade	37	$c_{37} = 1$	$H(21) = 1.m_{37}$
	Correlação	38	$c_{38} = 1$	$H(22) = 1.m_{38}$
	Compensação multiplicativa	39	$c_{39} = 1$	$H(23) = 1.m_{39}$
	Conservação do Movimento Retilíneo e Uniforme	40	$c_{40} = 1$	$H(24) = 1.m_{40}$

Tabela 11 - Indicadores de recursos para habilidades de interação do sujeito com o meio físico e com o meio social.

Característica	Subcaracterística	Questão nº	Peso	Expressão
Interação sujeito meio físico	Atributos dos Objetos Operações lógicas com Classes e relações	41	$c_{41} = 0{,}5$	$H(25) = 0{,}5.m_{41} + 0{,}5.m_{42}$
		42	$c_{42} = 0{,}5$	
	Operações lógicas com proposições	43	$c_{43} = 0{,}5$	$H(26) = 0{,}5.m_{43} + 0{,}5.m_{44}$
		44	$c_{44} = 0{,}5$	
	Deduções e inferências	45	$c_{45} = 1$	$H(27) = 1.m_{45}$
Interação Sujeito meio social	Operações conjuntas	46	$c_{46} = 1$	$H(28) = 1.m_{46}$

Tabela 12 - Indicadores de habilidades de cooperação entre os pares.

Característica	Subcaracterística	Questão nº	Peso	Expressão
Operações conjuntas - Objetos	Cooperação na ação	47	$c_{47} = 1$	$H(29) = 1.m_{47}$
		48	$c_{48} = 0{,}6$	$H(30) = 0{,}6.m_{48} + 0{,}1.m_{49} + 0{,}3.m_{50}$
		49	$c_{49} = 0{,}1$	
		50	$c_{50} = 0{,}3$	
Operações conjuntas – Proposições	Cooperação em pensamento	51	$c_{51} = 0{,}5$	$H(31) = 0{,}5.m_{51} + 0{,}5.m_{52}$
		52	$c_{52} = 0{,}5$	
	Criação validação e refinamento de teorias	53	$c_{53} = 1$	$H(32) = 1.m_{53}$
		54	$c_{54} = 0{,}5$	$H(33) = 0{,}5.m_{54} + 0{,}5.m_{55}$
		55	$c_{55} = 0{,}5$	
	Interpretação e organização do mundo	56	$c_{56} = 1$	$H(34) = 1.m_{46}$

As habilidades formadas por apenas um componente terão peso 1 (um). Aquelas formadas por mais de um componente, o cálculo do peso apoia-se no critério de Piaget ao realizar a análise diagnóstica de estruturas cognitivas por meio da experimentação. Segundo o autor, se forem encontradas provas razoáveis da existência de um ou dois desses componentes se pode inferir a existência da estrutura do agrupamento como um todo (FLAVELL, 1975). Assim, os componentes relativos aos agrupamentos terão pesos iguais. E como se deve ter $c_1 + c_2 + c_3 + ... + c_n = 1$, para obter os pesos, basta dividir 1 (um) pelo total de componentes da habilidade.

Na Tabela 10, em $H(7)$, como são 5 componentes obtém-se os pesos dividindo-se 1 por 5. Em $H(9)$, divide-se 1 por 3, em $H(10)$, e $H(12)$, divide-se 1 por 2.

Na expressão de $H(13)$, considerou-se a reversibilidade por supressão com peso 0,2; a por adjunção com peso 0,3 e a coordenação destas duas formas em um único sistema com peso 0,5. Esta distribuição de pesos deve-se ao fato de que a supressão, a adjunção e a coordenação da supressão e da adjunção em um único sistema são níveis crescentes de cognição, cuja construção inicia-se no estágio concreto até atingir sua plenitude no estágio formal.

Na elaboração do raciocínio combinatório as primeiras combinações com objetos, partes ou atributos deles requerem instruções explícitas em situações reais. As ações da criança são baseadas na tentativa e erro. Nesse estágio, as crianças referem aos objetos como simples unidades. Quaisquer destas subcaracterísticas consideradas isoladamente revelam atitudes e comportamentos do estágio concreto, por esta razão atribui-se na expressão de $H(14)$ pesos iguais (Tabela 10).

Na fase final da construção do raciocínio combinatório as diferentes possibilidades de combinações com objetos, partes destes objetos ou atributos são realizadas espontaneamente por meio de deduções/abstrações, por um método sistemático de ação e faz referência a qualidades dos objetos. Quaisquer destas subcaracterísticas consideradas isoladamente revelam atitudes e comportamentos do estágio formal. Desta forma, atribuem-se na expressão $H(15)$ pesos iguais (Tabela 10).

A organização do mundo real em classes e o estabelecimento de relações entre as classes e os objetos requerem de igual forma a captura dos atributos desses objetos e a realização de experimentos e simulações. Sendo assim, na expressão de $H(25)$ considera-se pesos iguais (Tabela 11) para estas duas subcaracterísticas.

Para a realização das operações mentais na forma de pensamentos expressas por proposições, tão necessário quanto o registro das próprias idéias e opiniões, é a consulta de registros de idéias e opiniões dos colegas. Assim, em $H(26)$ e em $H(33)$ consideram-se pesos iguais (Tabela 11) para as subcaracterísticas correspondentes ao registro e a consulta de ideias e opiniões.

A cooperação é caracterizada pela realização de operações conjuntas. Considerando o maior rendimento do trabalho realizado em pequenos grupos, dada a maior facilidade em coordenar os diferentes pontos de vista, atribui-se maior peso para a possibilidade de realizar essas operações conjuntas em pequenos grupos. Assim, em $H(30)$ atribui-se peso 0,6 para a subcaracterística que revela a possibilidade de realizar operações conjuntas, peso 0,1 para a subcaracterística segundo a qual a atividade envolve a sala toda e 0,3 para a subcaracterística segundo a qual as operações conjuntas são realizadas em pequenos grupos (Tabela 12).

Em $H(31)$ considera-se pesos iguais (Tabela 12) para a troca social lógica entre as ideias geradas a partir do convívio social dentro e fora da escola.

Segundo Roche (1994) *apud* Pressman (2002) depois de originar as medidas e métricas faz-se necessário coletar os dados e analisá-los. Sempre que possível recomenda-se que a coleta de dados seja automatizada.

5.4 - O cálculo das expressões e o indicador de aplicação das ferramentas matemáticas

Na pesquisa desenvolveram-se expressões com as medidas das métricas com o intuito de obter um indicador[5] da presença ou da ausência de habilidades a serem construídas por meio da utilização de FCE. Esse indicador será o resultado da análise e interpretação dos dados coletados por meio do *checklist.* E deverá fornecer a compreensão necessária a professores, pedagogos e demais profissionais da educação para a escolha adequada de FCE para a construção do conhecimento lógico-matemático. Outra função deste indicador será realimentar os processos de desenvolvimento de ferramentas computacionais com demanda para a construção do conhecimento lógico-matemático.

[5] **Indicador:** é uma métrica, ou combinação de métricas, que fornece a compreensão de um processo de software, de um projeto de software ou de um produto de software. Um indicador fornece a compreensão que possibilita ao interessado (no caso o engenheiro de software) ajustar o processo, o projeto ou o produto para torná-los melhores e mais eficientes (PRESSMAN, 2002).

Para o cálculo das expressões utiliza-se efetivamente os valores 0 (zero) se o requisito estiver ausente ou 10 (dez) se ele estiver presente na ferramenta. O valor -1 (um negativo) atribuído quando não for possível avaliar a presença ou a ausência do requisito não será computado na fórmula. Se a habilidade for formada por mais de um componente e alguns deles (não todos) tiver medida -1 (um negativo) deve-se eliminar da expressão as parcelas correspondentes a estes requisitos e efetuar o cálculo com as demais medidas. Se a todos os componentes da habilidade forem atribuídas medida -1 (um negativo), então a habilidade como um todo terá valor -1 (um negativo), independente da expressão definida.

A partir do cálculo efetuado em cada expressão e com base no ECoTEC serão estabelecidas diretrizes e recomendações interpretativas para cada questão ou grupos de questões, em cada um dos três módulos.

5.4.1 - Indicadores no módulo Atividades Operatórias

O primeiro módulo, Atividades Operatórias, compreende as habilidades $H(1)$ a $H(24)$ (Tabela 10), sendo que as questões utilizadas em $H(1)$ a $H(6)$ investigam qual é o esquema antecipador da atividade. Assim, a atividade proposta na ferramenta computacional apresenta como esquema antecipador a:

(a) classificação do objeto ou do fenômeno em questão, se $H(1) = 10$;

(b) comparação, evidencia as diferenças e equivalências entre objetos ou fenômenos se $H(2) = 10$;

(c) se $H(3) = 10$, ordenação de coisas e/ou acontecimentos no espaço e no tempo;

(d) as explicações para processos e operações se $H(4) = 10$;

(e) a avaliação dos fins e dos meios se $H(5) = 10$;

(f) a operação de contar se $H(6) = 10$.

Se por outro lado, ocorrer simultaneamente que $H(1) = 0 \;\; e \;\; H(2) = 0 \;\; e \;\; H(3) = 0 \;\; e \;\; H(4) = 0 \;\; e \;\; H(5) = 0 \;\; e \;\; H(6) = 0$, então se conclui que a atividade proposta na ferramenta computacional apresenta um esquema antecipador que corresponde a um plano muito global e esquemático da operação a ser efetuada. E como consequência, não se sabe de antemão como realizar os pormenores da operação projetada.

Agindo sobre os objetos é que o esquema antecipador global se estruturará e se diferenciará numa operação nova (AEBLI, 1978).

Pode também ocorrer a impossibilidade de avaliar a habilidade em questão, neste caso a medida atribuída será -1 (um negativo) . Neste caso, tem-se $H(1) = -1 \quad e \quad H(2) = -1 \quad e \quad H(3) = -1 \quad e \quad H(4) = -1 \quad e \quad H(5) = -1 \quad e \quad H(6) = -1$ cuja interpretação é que não foi possível detectar na ferramenta computacional a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes à identificação do esquema antecipador da atividade.

Se na análise diagnóstica de estruturas cognitivas por meio da experimentação forem encontradas provas razoáveis da existência de um ou dois desses componentes (INHELDER e PIAGET, 1976), pode-se inferir a existência da estrutura do agrupamento como um todo (FLAVELL, 1975). Assim sendo, na análise das habilidades $H(7), H(9), H(10) \quad e \quad H(12)$ adota-se o mesmo critério; se for diagnosticado pelo menos um componente do agrupamento, infere-se a presença da estrutura desse agrupamento como um todo.

Os componentes de $H(7)$ tratam as habilidades relacionadas ao Agrupamento I (Tabela 10). Se ocorrer a impossibilidade de avaliar qualquer um dos componentes desta habilidade atribui-se medidas -1 (um negativo) para qualquer dos m_i para $7 \leq i \leq 11$ e exclui-se a parcela correspondente a este componente na expressão da métrica. De modo que $2 \leq H(7) \leq 10$ e conclui-se que a atividade proposta na ferramenta contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Agrupamento I. As capacidades inerentes a esta estrutura de agrupamento estão associadas à composição e decomposição de classes numa hierarquia ascendente e/ou descendente. Se tivermos $m_i = -1 \quad \forall \quad 7 \leq i \leq 11$, então, por definição, faz-se $H(7) = -1$ e conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características lógico-matemáticas do Agrupamento I.

A habilidade $H(8)$ refere-se ao Agrupamento II (Tabela 10). Se $H(8) = 10$ a atividade proposta na ferramenta contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Agrupamento II. As capacidades inerentes a esta estrutura de agrupamento estão associadas às reclassificações de certa coleção de objetos de tal forma que uma coleção A de objetos pode ser decomposta em coleções B, B', C e C' tais que A = B + B' e A = C + C'. Caso $H(8) = -1$, conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características lógico-matemáticas do Agrupamento II.

Os componentes de $H(9)$ tratam as habilidades relacionadas ao Agrupamento III (Tabela 10). Se ocorrer a impossibilidade de avaliar qualquer um dos componentes desta habilidade atribui-se medidas -1 (um negativo) para os m_i para qualquer $13 \leq i \leq 15$ e exclui-se a parcela correspondente a este componente na expressão da métrica. De modo que $\frac{1}{3}.10 \leq H(9) \leq 10$ e conclui-se que a atividade proposta na ferramenta contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Agrupamento III. As operações deste agrupamento são fundamentadas nas operações simples de correspondência termo a termo de elementos não-seriados. Se tivermos $m_i = -1 \quad \forall \quad 13 \leq i \leq 15$, então faz-se $H(9) = -1$ e conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características lógico-matemáticas do Agrupamento III.

Os componentes de $H(10)$ tratam as habilidades relacionadas ao Agrupamento V (Tabela 10). Se ocorrer a impossibilidade de avaliar qualquer um dos componentes desta habilidade atribui-se medidas -1 (um negativo) para qualquer dos m_i para $16 \leq i \leq 17$ e exclui-se a parcela correspondente a este componente na expressão da métrica. De modo que $5 \leq H(10) \leq 10$ e conclui-se que a atividade proposta na ferramenta contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Agrupamento V. A operação fundamental deste agrupamento é a operação de seriação; isto é, a disposição de elementos numa série transitiva, assimétrica como, por exemplo, A < B < C < D < E. Se tivermos $m_i = -1 \quad \forall \quad 16 \leq i \leq 17$, então faz-se $H(10) = -1$ e conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características lógico-matemáticas do agrupamento V.

A habilidade $H(11)$ refere-se ao Agrupamento VI (Tabela 10). Se $H(11) = 10$ a atividade proposta na ferramenta contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Agrupamento VI. A característica fundamental deste agrupamento é a aquisição da propriedade de simetria das relações simétricas: a noção de, se $A \leftrightarrow B$, então segue necessariamente que $B \leftrightarrow A$. Caso $H(11) = -1$, conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características lógico-matemáticas do agrupamento VI.

Os componentes de $H(12)$ tratam as habilidades relacionadas ao Agrupamento VII (Tabela 10). Se ocorrer a impossibilidade de avaliar qualquer um dos componentes desta habilidade atribui-se medidas -1 (um negativo) para qualquer dos m_i para $19 \leq i \leq 20$ e exclui-se a parcela correspondente a este componente na expressão da métrica. De modo que

$5 \leq H(12) \leq 10$ e conclui-se que a atividade proposta na ferramenta contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Agrupamento VII. As operações deste agrupamento são fundamentadas na correspondência termo a termo entre duas séries assimétricas e também na capacidade de ordenação de coleções de objetos segundo matrizes de dupla entrada. Se tivermos $m_i = -1 \quad \forall \quad 19 \leq i \leq 20$, então faz-se $H(12) = -1$ e conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características lógico-matemáticas do Agrupamento VII.

Os componentes de $H(13)$ diagnosticam habilidades relacionadas com a dissociação dos fatores e com a reversibilidade das ações (Tabela 10). Se ocorrer a impossibilidade de avaliar qualquer um dos componentes desta habilidade atribui-se medidas -1 (um negativo) para qualquer dos m_i para $21 \leq i \leq 23$ e exclui-se a parcela correspondente a este componente na expressão da métrica. Na reversibilidade por inversão ou negação o produto de uma operação direta e de seu inverso é a operação nula. Na reversibilidade por reciprocidade o produto de duas operações recíprocas é uma equivalência. Ambas as formas são encontradas sob aspectos diferentes em todos os estágios de desenvolvimento, elas constituem condições de equilíbrio das ações mais elementares às operações superiores (INHELDER e PIAGET, 1976). Isoladamente a inversão e a reciprocidade aparecem no estágio concreto, coordenadas em um único sistema aparecem no estágio formal. Desta forma, $H(13) = 0$ não constituirá um indicador. Se $H(13) = 2$, a atividade proposta na ferramenta pressupõe apenas a dissociação elementar dos fatores, em que a reversibilidade ocorre por negação, correspondente ao estágio concreto. Se $H(13) = 3$, a atividade proposta na ferramenta pressupõe apenas a dissociação elementar dos fatores, em que a reversibilidade ocorre por reciprocidade, correspondente ao estágio concreto. Se $H(13) \geq 5$, a atividade proposta na ferramenta pressupõe a dissociação formal dos fatores, em que a reversibilidade ocorre tanto por negação quanto por reciprocidade. Se $m_i = -1 \quad \forall \quad 21 \leq i \leq 23$, então faz-se $H(13) = -1$ e conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características da dissociação dos fatores e da reversibilidade das ações.

As primeiras combinações e a construção das primeiras hipóteses são investigadas em $H(14)$ (Tabela 10). Se ocorrer a impossibilidade de avaliar qualquer um dos componentes desta habilidade atribui-se medidas -1 (um negativo) para qualquer dos m_i para $24 \leq i \leq 30 \quad com \quad i \quad par$ e exclui-se a parcela correspondente a este componente na expressão da métrica. As estruturas de agrupamento e de grupo têm em comum as possibilidades de composição, de inversão e de associatividade (AEBLI, 1978). Desta forma, $H(14) = 0$ não

constituirá um indicador. Se $2{,}5 \leq H(14) \leq 10$, a atividade proposta na ferramenta pressupõe a construção de associações elementares entre objetos e classes características do estágio concreto. Se $m_i = -1 \quad \forall \quad 24 \leq i \leq 30, \quad com \quad i \quad par$, então faz-se $H(14) = -1$ e conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características das combinações elementares.

Se ocorrer simultaneamente

$$H(7) = 0 \quad e \quad H(8) = 0 \quad e \quad H(9) = 0 \quad e \quad H(10) = 0 \quad e \quad H(11) = 0 \quad e \quad H(12) = 0 \quad e \quad H(13) = 0 \quad e \quad H(14) = 0$$

pode-se concluir que não foi possível identificar, pela natureza da atividade proposta na ferramenta, contribuições para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao estágio concreto.

O estágio final do raciocínio combinatório é investigado em $H(15)$ (Tabela 10). Se ocorrer a impossibilidade de avaliar qualquer um dos componentes desta habilidade atribui-se medidas -1 (um negativo) para qualquer dos m_i para $25 \leq i \leq 31 \quad com \quad i \quad ímpar$ e exclui-se a parcela correspondente a este componente na expressão da métrica. A estrutura de grupo comporta operações associativas desta forma $H(15) = 0$ não constituirá um indicador. Se $2{,}5 \leq H(15) \leq 10$, a natureza da atividade proposta na ferramenta pressupõe a construção de uma classificação generalizada baseada no conjunto das partes, característica do estágio formal. Se $m_i = -1 \quad \forall \quad 25 \leq i \leq 31, \quad com \quad i \quad ímpar$, então faz-se $H(15) = -1$ e conclui-se que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características do pensamento combinatório.

As habilidades $H(16), \quad H(17)$ são formadas por apenas um componente e diagnosticam capacidades relacionadas ao grupo INRC (Tabela 10). Se $H(16) = 10$ a natureza da atividade proposta na ferramenta revela a interdependência entre as duas formas das transformações por inversão e por reciprocidade. É apenas no plano das operações formais que essas duas formas de reversibilidade podem ser reunidas num sistema único. Se $H(16) = -1$ não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características da interdependência entre as duas formas das transformações por inversão e por reciprocidade.

Se $H(17) = 10$ a natureza da atividade proposta na ferramenta pressupõe a utilização de operações lógicas proposicionais, característica do pensamento formal. Se $H(17) = -1$ é por que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características da utilização de operações lógicas proposicionais.

As habilidades $H(18), H(19), H(20), H(21), H(22), H(23)$ e $H(24)$ diagnosticam se a atividade proposta na ferramenta computacional contribui para a construção dos esquemas operacionais formais (Tabela 10).

Se $H(18) = 10$, a atividade proposta na ferramenta favorece o desenvolvimento da noção qualitativa de proporção. Se $H(19) = 10$, a atividade favorece o desenvolvimento da noção de coordenação simultânea de dois sistemas distintos de referência. Se $H(20) = 10$, a atividade favorece o desenvolvimento do princípio da igualdade entre ação e reação. Se $H(21) = 10$, a atividade na ferramenta favorece o desenvolvimento da noção de probabilidade. A aquisição desta noção provoca um início de dissociação entre o possível, o real e o necessário. Se $H(22) = 10$, a atividade proposta na ferramenta favorece o desenvolvimento qualitativo da noção de correlação. A aquisição desta noção supõe uma probabilidade combinatória, onde os sujeitos limitam-se a utilizar um esquema lógico com avaliação das frequências numéricas correspondentes a casos favoráveis e desfavoráveis. Se $H(23) = 10$, a atividade proposta na ferramenta favorece o desenvolvimento qualitativo da noção de compensação multiplicativa. A aquisição desta noção implica a construção de proporções possíveis e explica, por exemplo, a conservação do volume. Se $H(24) = 10$, a atividade na ferramenta favorece o desenvolvimento qualitativo da noção de conservação do movimento retilíneo uniforme. A aquisição desta noção marca o início do contato do sujeito com as formas de conservação que ultrapassam a experiência cuja emissão de juízos ocorre por dedução.

Se

$H(18) = -1$ ou $H(19) = -1$ ou $H(20) = -1$ ou $H(21) = -1$ ou $H(22) = -1$ ou $H(23) = -1$ ou $H(24) = -1$

significa que não foi possível avaliar na ferramenta a presença ou a ausência dos parâmetros correspondentes às características propostas.

Se ocorrer simultaneamente $H(18) = 0$ e $H(19) = 0$ e $H(20) = 0$ e $H(21) = 0$ e $H(22) = 0$ e $H(23) = 0$ e $H(24) = 0$ conclui-se que não foi possível identificar, pela natureza da atividade proposta na ferramenta, contribuições para o desenvolvimento de esquemas operatórios formais. Esses esquemas operatórios consistem de noções ou de operações especiais (matemáticas e não exclusivamente lógicas) úteis na solução de diversos problemas.

Na perspectiva da construção de um indicador de habilidades não se considera necessário fazer referência quando $H(j) = 0$ para algum j com $18 \leq j \leq 24$ uma vez que se está interessado é na presença desta característica e não na ausência.

5.4.2- Indicadores no módulo Interação

O módulo Interação compreende as habilidades de $H(25)$ a $H(28)$. Neste módulo investiga-se a presença ou a ausência de recursos para a interação do sujeito com os objetos e do sujeito com o meio social (Tabela 11). Portanto, a opção NÃO SE APLICA, embora constitua uma alternativa, não terá um significado enquanto construção dos indicadores. Assim sendo, se $H(25) = 0$ conclui-se que a ferramenta analisada não dispõe de recursos para que o aluno manipule os objetos, realize experimentos e/ou simulações. Se $5 \leq H(25) \leq 10$ conclui-se que a ferramenta dispõe de recursos para que o aluno manipule os objetos, realize experimentos e/ou simulações. Na visão construtivista, este é um requisito importante para a construção das estruturas lógico-matemáticas. Por meio de ações concreto-abstratas, capturam-se os atributos dos objetos permitindo ordenar, classificar, relacionar os objetos e as classes de objetos.

Se $H(26) = 0$ a ferramenta analisada não dispõe de recursos para que os alunos possam registrar e/ou consultar idéias e opiniões sobre a atividade desenvolvida. Se $5 \leq H(26) \leq 10$ conclui-se que ao oferecer recursos para o registro e/ou a consulta de idéias e opiniões (proposições), a ferramenta contribui para a construção do pensamento proposicional. Os alunos podem confrontar diferentes pontos de vista, num movimento de reciprocidade.

Se $H(27) = 0$ conclui-se que a ferramenta analisada não oferece recursos para que o aluno construa diferentes ações para a solução da atividade proposta. Se $H(27) = 10$ conclui-se que a ferramenta oferece recursos para que o aluno construa diferentes ações para a solução da atividade proposta.

Se $H(28) = 0$ a ferramenta analisada não pode ser utilizada em rede. Caso contrário, se $H(28) = 10$ a ferramenta pode ser utilizada em rede. Este é um recurso importante para efetivar ações cooperativas entre os alunos.

5.4.3- Indicadores no módulo Cooperação

No módulo Cooperação utiliza-se as habilidades $H(29)$ a $H(34)$ para investigar as contribuições da atividade proposta para a construção e coordenação das estruturas cognitivas responsáveis pelo pensamento lógico-matemático do ponto de vista das experiências adquiridas por meio das interações sociais (Tabela 12).

Se $H(30)=6$, significa que a atividade na ferramenta pode ser realizada de forma conjunta. Se $H(30)=7$, a atividade proposta é, por sua natureza, um problema de introdução que poderá ser desenvolvido pela sala toda. Se $H(30)=9$ conclui-se que a atividade proposta é, por sua natureza, um problema de aplicação que poderá ser desenvolvido em equipe. Em qualquer dos casos, haverá cooperação na ação.

Se ocorrer simultaneamente $H(29)=10$ e $H(30)=0$ conclui-se que a atividade proposta pode ser realizada apenas de forma individual. Se $H(30)=-1$, significa que não foi possível detectar a presença ou a ausência de contribuições da atividade para a cooperação na ação.

Se $H(31)=0$ é porque a organização didática da ferramenta não pressupõe trocas sociais geradas a partir do convívio social e/ou por situações vivenciadas pelos alunos fora da escola. Caso contrário, se $5 \leq H(31) \leq 10$, pressupõe-se que haja a cooperação em pensamento, permitindo que o aluno estruture o mundo real, que estabeleça relações entre o que se aprende na escola e o que se vivencia fora dela. O caso $H(31)=-1$ faz referência à impossibilidade de detectar a presença ou a ausência de contribuições da atividade para a cooperação em pensamento.

Se $H(32)=0$ a organização didática da atividade não pressupõe que os alunos construam diferentes caminhos para a realização da atividade proposta. Se por outro lado, $H(32)=10$ pressupõe que os alunos construam diferentes caminhos para a realização da atividade, o que reflete a possibilidade de considerar operações associativas, que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado. A opção $H(32)=-1$ significa que não foi possível detectar a presença ou a ausência de contribuições da atividade para esta habilidade.

Se $H(33)=0$ conclui-se que a organização didática da ferramenta não pressupõe o confronto de pontos de vistas para a realização da atividade proposta. Por outro lado se $5 \leq H(33) \leq 10$ significa que a atividade contribui para a estruturação do pensamento em agrupamentos e grupos móveis e permite que cada indivíduo adote uma infinidade de pontos de vista. Também assegura a compreensão recíproca entre alunos que propõem métodos diferentes de solução. Além disso, o registro de ideias e opiniões favorece a elaboração de juízos enunciados como expressões proposicionais. As ligações explícitas ou implícitas entre esses enunciados correspondem a operações lógicas proposicionais por meio das quais se faz deduções e inferências. A consulta desses registros também é importante, possibilita a compreensão de diferentes pontos de vista, bem como a adaptação de diferentes contribuições verbais. Em última análise, a troca entre os diversos registros assegura a compreensão recíproca entre alunos que propõem métodos diferentes de solução. A opção $H(33)=-1$

significa que não foi possível detectar a presença ou a ausência de contribuições da atividade para esta habilidade.

Finalmente, se $H(34) = 0$ observa-se que os alunos não conseguem justificar de maneira criteriosa as operações executadas, atitude característica do pensamento concreto. O que ocorre é a aplicação mecânica do processo desenvolvido durante a atividade. Por outro lado, se $H(34) = 10$, observa-se que os alunos conseguem justificar de maneira criteriosa as operações executadas, atitude característica do pensamento formal. A opção $H(33) = -1$ significa que não foi possível detectar a presença ou a ausência de contribuições da atividade para esta habilidade.

CAPÍTULO 6

O Instrumento de Otimização *Web*-ECoTEC

O desenvolvimento de um instrumento de otimização interativo para coleta, cálculo e avaliação de dados requer o subsídio de diversas áreas técnicas como web designers, arquitetura da informação, programação, usabilidade, acessibilidade entre outras, o que não compete ao escopo deste trabalho. Por esse motivo, a pesquisa apresenta um protótipo numa versão demonstrativa do instrumento desenvolvido.

Para o desenvolvimento do instrumento de otimização serão utilizadas as expressões elaboradas para as métricas e os indicadores de aplicação dos módulos de Atividades Operatórias, Interação e Cooperação para a caracterização das FCE.

6.1 - Características gerais

O instrumento demonstrativo foi desenvolvido no formato de um web site, aqui denominado de *Web*-ECoTEC, com localização no servidor da Universidade Federal de Uberlândia - UFU e administrado pela própria pesquisadora. O *Web*-ECoTEC é formado por um conjunto de páginas na WWW - World Wide Web, no formato HTML e com ligações de hipertexto.

A apresentação das páginas web utiliza como recurso um navegador web ou browser (tais como Netscape, Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, dentre outros) e recorre a *applets* (subprogramas executados dentro da página) responsáveis pela compilação dos dados.

Os navegadores web se comunicam com o servidor Web da UFU usando o protocolo de transferência de hiper-texto (HTTP) para efetuar pedidos a arquivos e/ou ao banco de dados, e também para processar respostas vindas do servidor. Os arquivos que o navegador não consegue ler são interpretados por meio de *plugins* (Flash, Java, etc.).

A programação das páginas web utilizou a linguagem PHP - Hypertext Preprocessor. O PHP é uma linguagem de programação de computadores interpretada, executada sem a necessidade de compilação, muito utilizada para gerar conteúdo dinâmico na World Wide Web (SICA, 2006; SICA, 2007; DALL'OGLIO, 2007).

Nesta pesquisa optou-se pela utilização da linguagem PHP por ser livre, e por apresentar, segundo Sica (2006), características que permitem desenvolver soluções Web velozes, simples e eficientes. Entre estas características, o autor destaca a velocidade e a robustez, a orientação a objetos e a portabilidade.

Algumas páginas do *Web*-ECoTEC são estáticas e correspondem a arquivos armazenados no servidor web. Outras são criadas dinamicamente por outro programa (*applet*) chamado pelo servidor web, que processa os dados e os envia para o navegador. O conteúdo das páginas dinâmicas depende de dados coletados durante a avaliação das FCE e que são armazenados em um banco de dados MySQL.

O MySQL é um servidor e gerenciador de banco de dados (SGBD) relacional, de licença dupla (sendo uma delas de software livre). Projetado inicialmente para trabalhar com aplicações de pequeno e médio portes hoje, o MySQL atende a aplicações de grande porte (MILANI, 2006). Nesta pesquisa, optou-se pelo MySQL por que além de ser de fácil integração com o PHP, ele apresenta, segundo Milani (2006), as seguintes características:

(a) portabilidade, suportando qualquer plataforma atual;

(b) compatibilidade, existem módulos de interface para diversas linguagens de programação, inclusive para o PHP;

(c) excelente desempenho e estabilidade;

(d) exige poucos recursos de hardware;

(e) é de fácil uso;

(f) suporta vários tipos de tabelas (como MyISAM e InnoDB), cada uma específica para um fim.

6.2 - A organização do *Web*-ECoTEC

O primeiro passo na organização de um web site consiste em determinar o tema, os objetivos e os destinatários. O tema corresponde ao assunto, à ideia principal do site. Determinar os objetivos do site corresponde à identificação da função que o site vai desempenhar. Ao elencar os objetivos pretende-se dar resposta a questão: Para quê?. Os destinatários correspondem aos usuários. Deve-se caracterizar o perfil deste usuário, em relação à idade, à experiência, às razões que possuem para visitar o site. Pretende-se dar

resposta à questão: Para quem?. Deve-se ter mente que quem visita o site procura alguma informação (SIEGEL, 1996; RADFAHRER, [2000?], SILVA, 2008).

Nesta pesquisa, o tema é associado com a eficiência de FCE com base na teoria operatória de Piaget. O objetivo é a caracterização das FCE em relação à sua contribuição para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas no período operacional. Entretanto, as especificidades do *Web*-ECoTEC pedem respostas a outras perguntas. Independente do método utilizado na avaliação, Depover et al. (1998) afirma que é necessário responder às questões: "Quem avalia?", "O que avaliar?" e "Quando avaliar?".

Neste contexto, o "Quem avalia" corresponde ao usuário do web site. No instrumento elaborado nesta pesquisa a avaliação será feita por especialistas, particularmente por professores de Matemática e por pedagogos. Como especialista, o perfil do avaliador deve contemplar um conhecimento, mesmo que superficial, da teoria de Piaget. Além disso, o avaliador deverá ter um domínio das FCE a serem avaliadas, em situação real de uso (com os alunos) ou não.

O *Web*-ECoTEC avalia as FCE de matemática, o que se posiciona na questão "O que avaliar?". Para a avaliação será atribuída uma medida (indireta) à contribuição das FCE para a construção das estruturas lógico-matemáticas. O impacto da medida é na eficiência da ferramenta pela sua capacidade de desenvolver no aprendiz certas competências (DEPOVER et al., 1998). Trata-se da análise do comportamento final, ou seja, das competências que o aluno deverá construir por meio da utilização da ferramenta.

As características dos avaliadores, especialistas do conteúdo de matemática e pedagogos respondem o "Quando avaliar?" apontando para a necessidade de uma avaliação *a posteriori*, conforme Silva (1998). Sendo assim, avalia-se o produto de FCE e não o processo de desenvolvimento destes produtos.

6.3 - A estrutura da informação

A estrutura da informação enfoca a tarefa da comunicação na perspectiva de organizar a informação e está relacionada com a estruturação, a organização e a acessibilidade das informações (BONSIEPE, 1997, MOURA, 2003). Para a pesquisa, a estruturação foi pensada visando a facilitação de ações efetivas do usuário. Assim, no tratamento da informação adotou-se um mecanismo de agrupamento pela semelhança nas informações. E os acessos às

informações foram configurados para permitir ao usuário a visualização de forma fácil e clara dos conteúdos no conjunto de páginas Web, bem como facilitar sua navegação.

Nesta pesquisa optou-se pela estruturação composta da informação. Na base hipertexto de forma hierárquica, houve uma combinação da organização do conteúdo com a forma estrela ou radial.

Na forma hierárquica, a informação mais geral aparece no topo, e a mais detalhada, em níveis mais baixos, submetida à mais geral. Todos os nós descendem de uma raiz comum. De cada nó podem sair múltiplas ligações para outros nós de nível inferior na hierarquia. A forma estrela ou radial caracteriza-se por possuir um nó central e principal, e um conjunto de nós ligados a este. A passagem de um nó a outro requer sempre o regresso ao nó central.

A (Figura 18) apresenta um diagrama-fluxograma que foi usado para a comunicação da estrutura do *Web*-ECoTEC. Como um mapa, esse diagrama apresenta a estrutura para o desenvolvimento do projeto do web site. Segundo Moura (2003), este tipo de diagrama representa o relacionamento entre os *links*, as seções e as interfaces, criando um sentido de espaço e sugerindo o sistema de navegação.

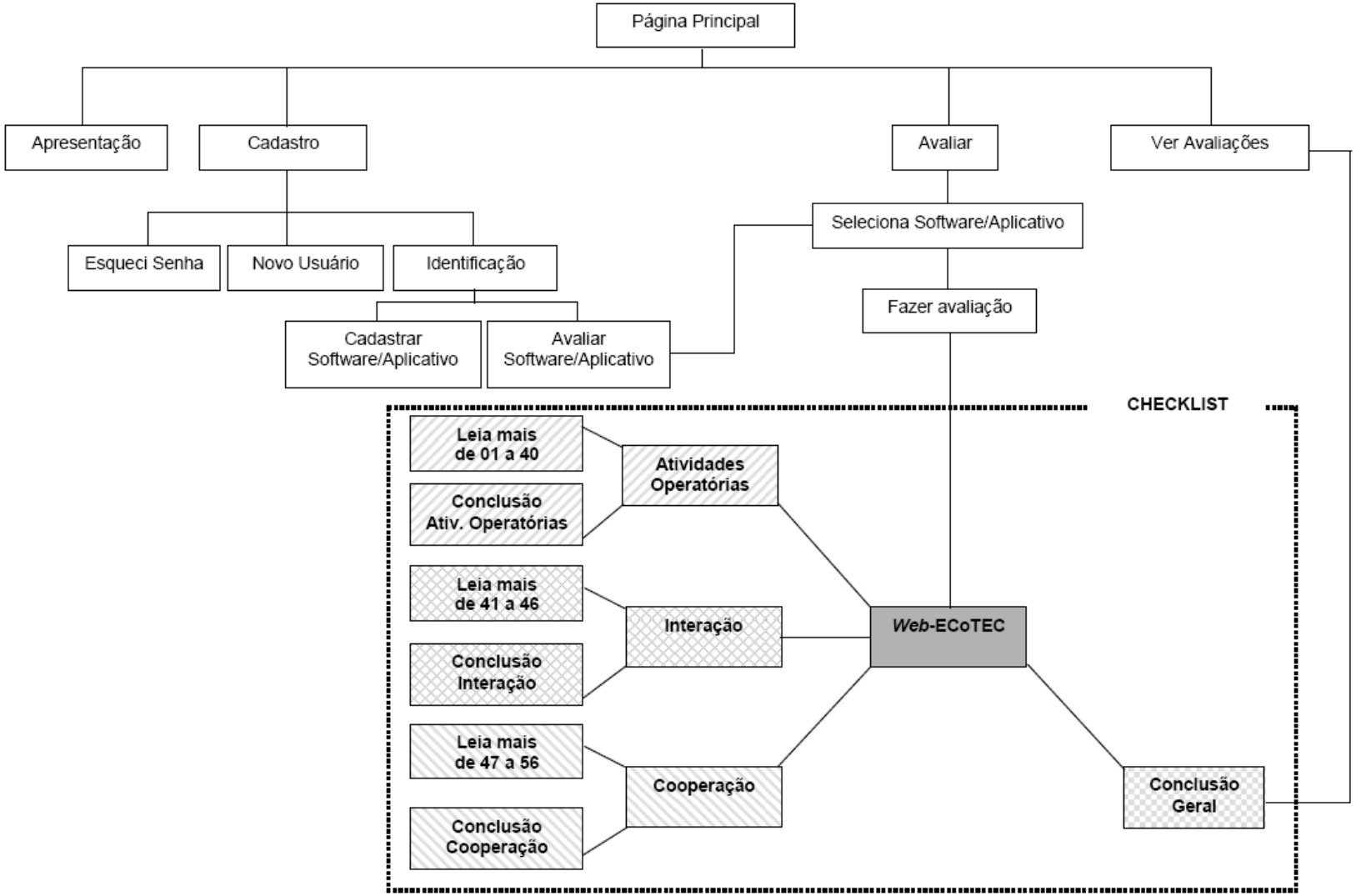

Figura 18 - Diagrama-fluxograma da estrutura de comunicação do *Web*-ECoTEC.

6.4 - As interfaces

O planejamento visual da interface inclui escolha de cores, tipo e tamanho de letras, ícones, enfim a organização do écran. Na versão demonstrativa do instrumento de otimização procurou-se obedecer alguns princípios da comunicação visual, tais como: unificar as cores, utilizar parágrafos curtos e reduzidos à informação central; utilizar letra minúscula (oferece melhores níveis de legibilidade); utilizar elementos de realce (negritos, texto de cor diferente etc.) para dirigir a atenção do usuário, mas sem exageros. Em relação ao écran, procurou-se não sobrecarregá-lo com objetos e/ou imagens pesadas que demorem para carregar.

Na página principal ou home page acessada pelo endereço eletrônico www.elianeelias.prof.ufu.br, o usuário-avaliador encontra uma apresentação do conteúdo que é ofertado no site. Nesta mesma página, um menu direciona o usuário para as demais páginas por meio de links (Figura 19).

Figura 19 - A página principal do *Web*-ECoTEC.

A opção "Cadastro", do menu da página principal, direciona o usuário-avaliador para sua identificação por um *login*-usuário e um *login*-senha (Figura 20). Se o usuário for um novato no site, a página fornecerá uma opção "Cadastro Novo Usuário" para seu devido

cadastramento. No cadastramento, o novo usuário deverá informar alguns dados pessoais como nome, atuação, formação, e-mail e senha (Figura 21).

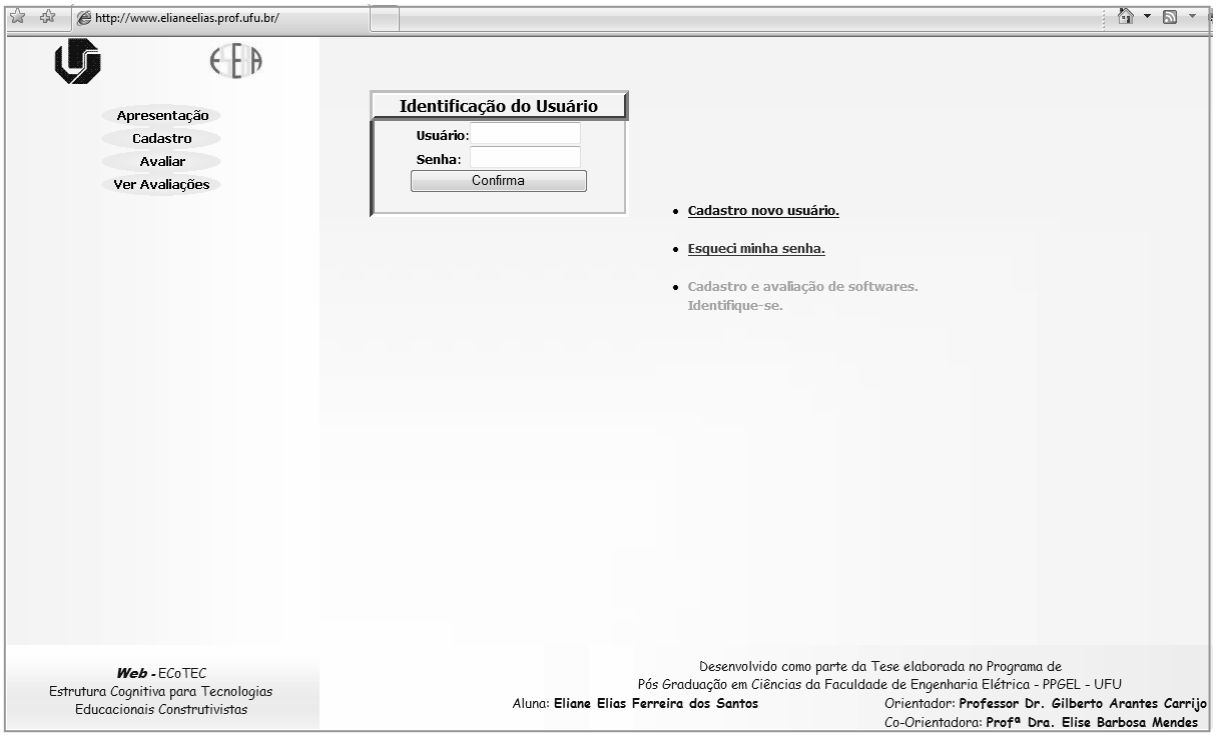

Figura 20 - Identificação do usuário-avaliador.

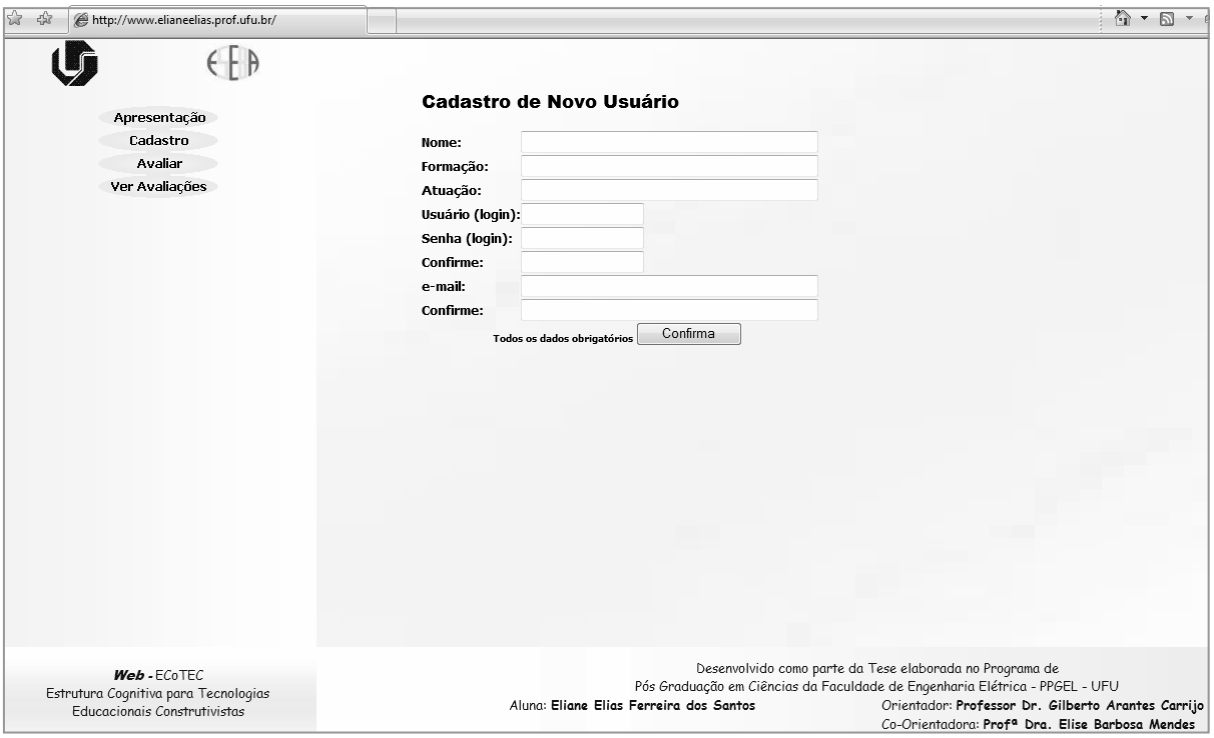

Figura 21 - Cadastro de novo usuário.

Caso o usuário-avaliador tenha apenas esquecido seu *login*-senha, o site oferecerá uma opção "Esqueci minha Senha" solicitando que o usuário-avaliador digite o e-mail cadastrado anteriormente na opção "Cadastro de Usuário" (Figura 22).

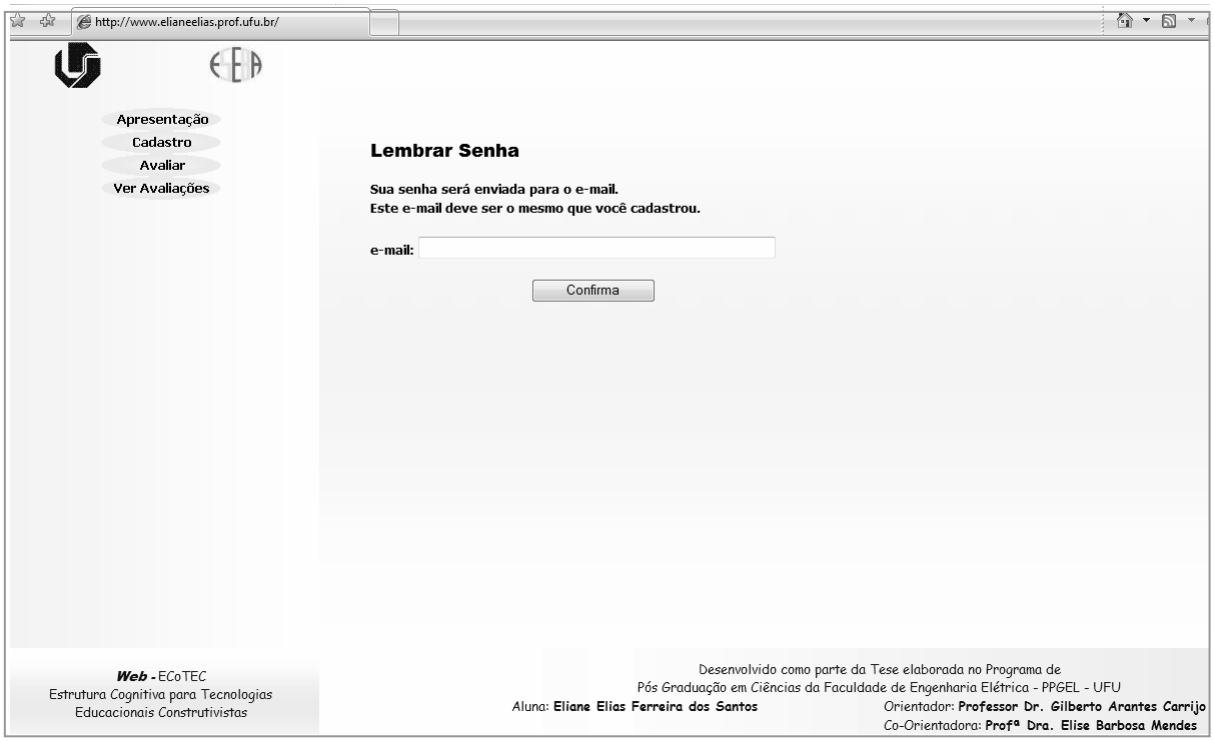

Figura 22 - A opção "Lembrar minha Senha".

Após o usuário-avaliador fazer sua identificação por meio de um *login*-usuário e um *login*-senha (Figura 20), ele terá uma lista de softwares cadastrados anteriormente e poderá, entre as opções disponíveis, avaliar software/aplicativo já cadastrado, excluir avaliações dos softwares/aplicativos, alterar senha, alterar dados cadastrais e indicar este site para um amigo (Figura 23) e cadastrar novo software/aplicativo (Figura 24).

Figura 23 – Opções disponíveis após *login*-usuário do usuário-avaliador.

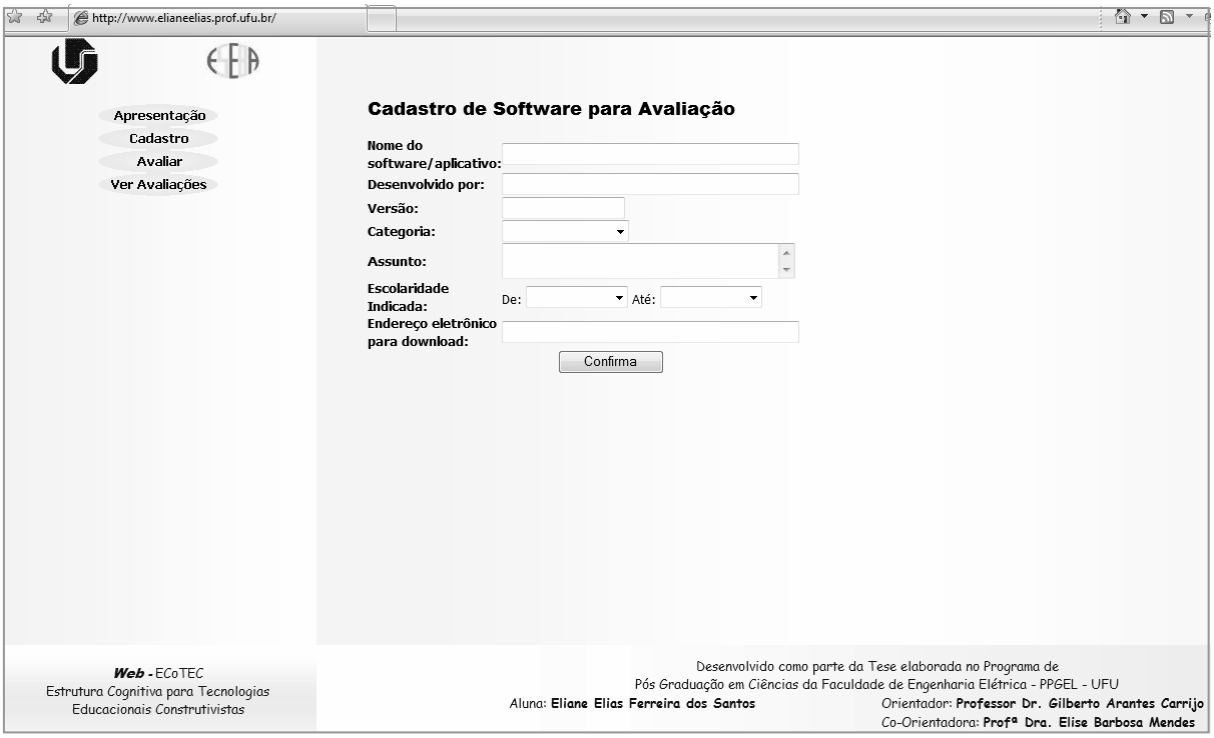

Figura 24 – Tela do cadastro de software para avaliação.

A opção "Avaliar", do *menu* da página principal, direciona para a escolha da categoria de FCE que o usuário deseja avaliar (Figura 25). Nesta pesquisa, a categoria de FCE a ser avaliada corresponde às FCE direcionadas ao ensino de Matemática e Geometria no Ensino

Fundamental. A confirmação da categoria direciona o usuário-avaliador para a relação das FCE já cadastradas e que possam ser selecionadas para sua avaliação (Figura 26).

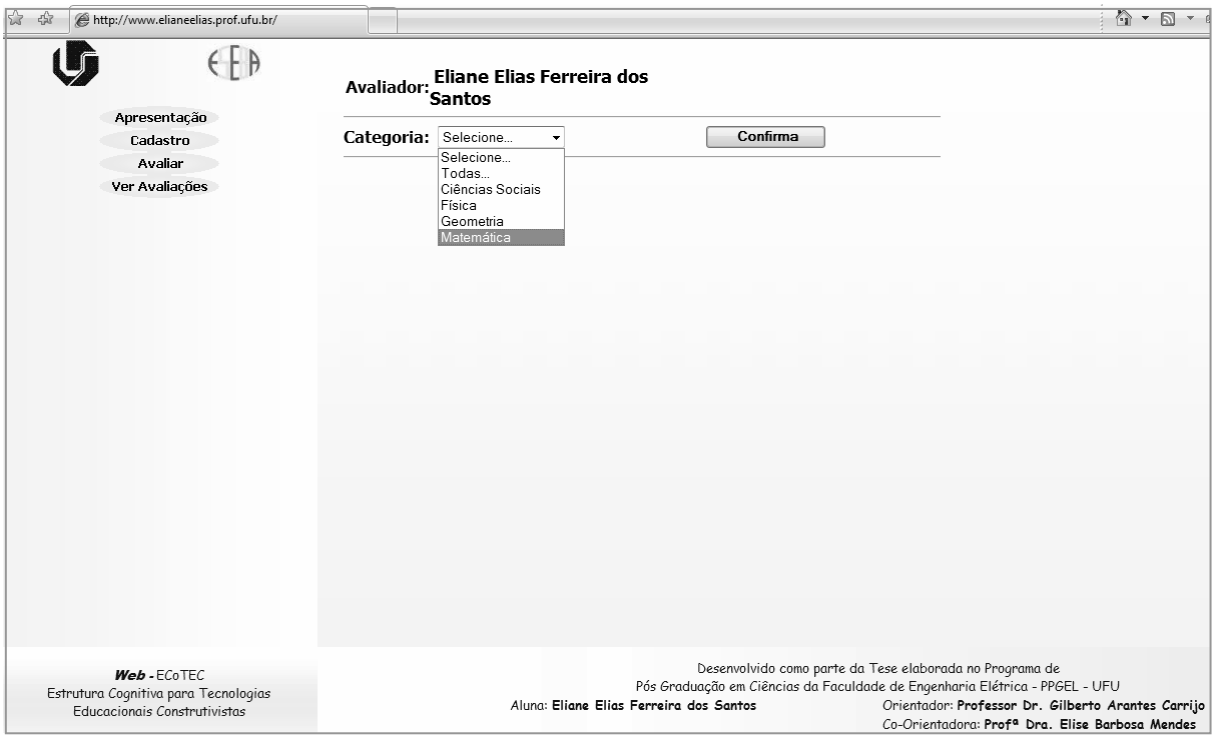

Figura 25 - A escolha da categoria de FCE.

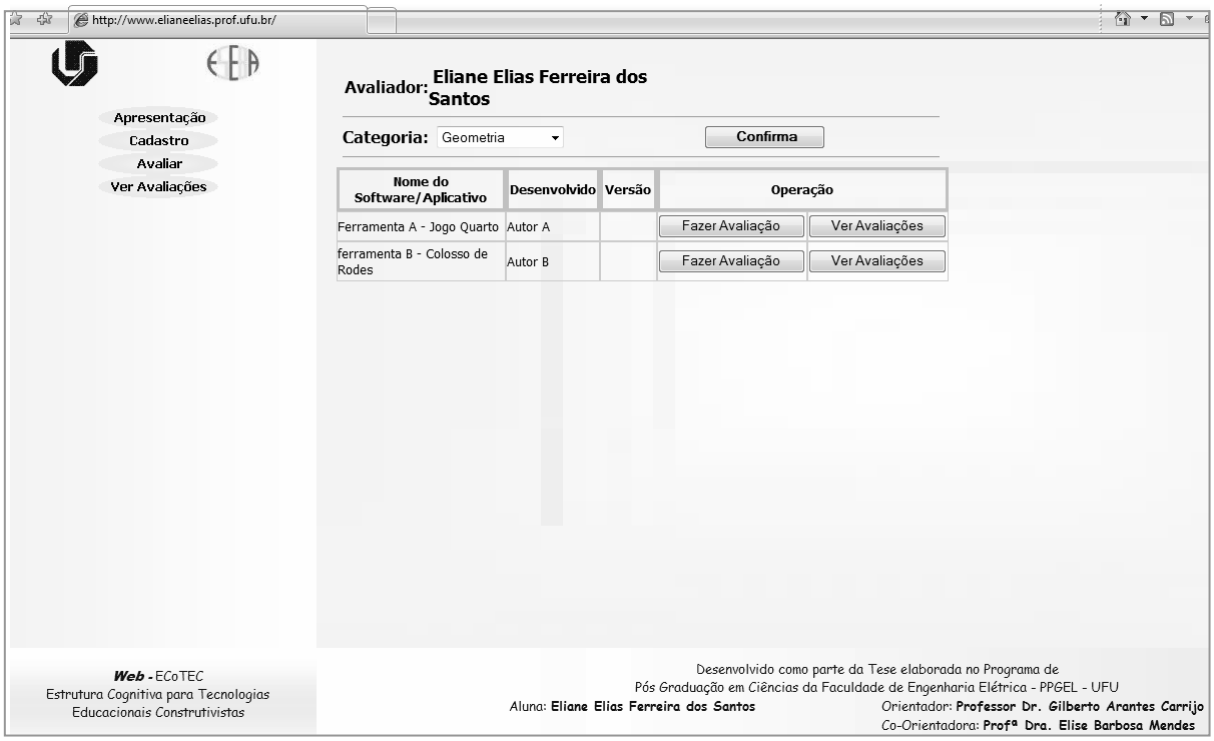

Figura 26 - A relação das FCE cadastradas para avaliação.

A opção “Ver Avaliações”, do *menu* da página principal, permite que o usuário-avaliador veja avaliações de FCE realizadas por outros avaliadores (Figura 27). O usuário seleciona a categoria e a avaliação a ser vista de acordo com a indicação do nome da ferramenta avaliada, do nome do avaliador e sua respectiva formação. A avaliação disponibilizada ao usuário é a conclusão geral.

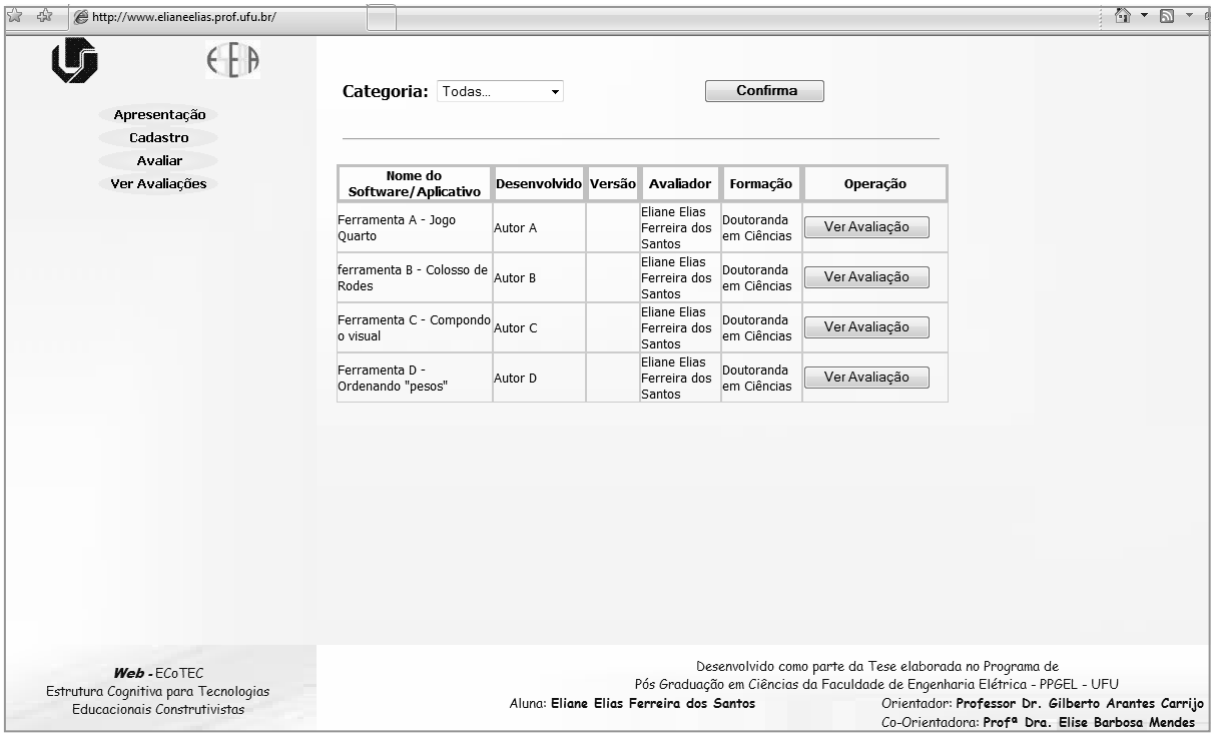

Figura 27 - A relação das FCE cadastradas para “Ver Avaliação”.

A transição para o *checklist* é realizada por meio do botão “Fazer Avaliação” posicionado à frente da ferramenta computacional cadastrada na relação de FCE (Figura 26) ou por meio do botão “Avaliar” do *menu* da página principal.

Caso o usuário-avaliador, por algum motivo, não deseje fazer seu cadastro, ele poderá avaliar FCE já cadastradas. Basta que ele acesse o botão “Avaliar” do *menu* da página principal e selecione a opção “Avaliar como anônimo” (Figura 28). Com esta opção pode-se avaliar FCE, mas não se podem salvar as conclusões. Esta funcionalidade é disponibilizada apenas para usuários-avaliadores cadastrados.

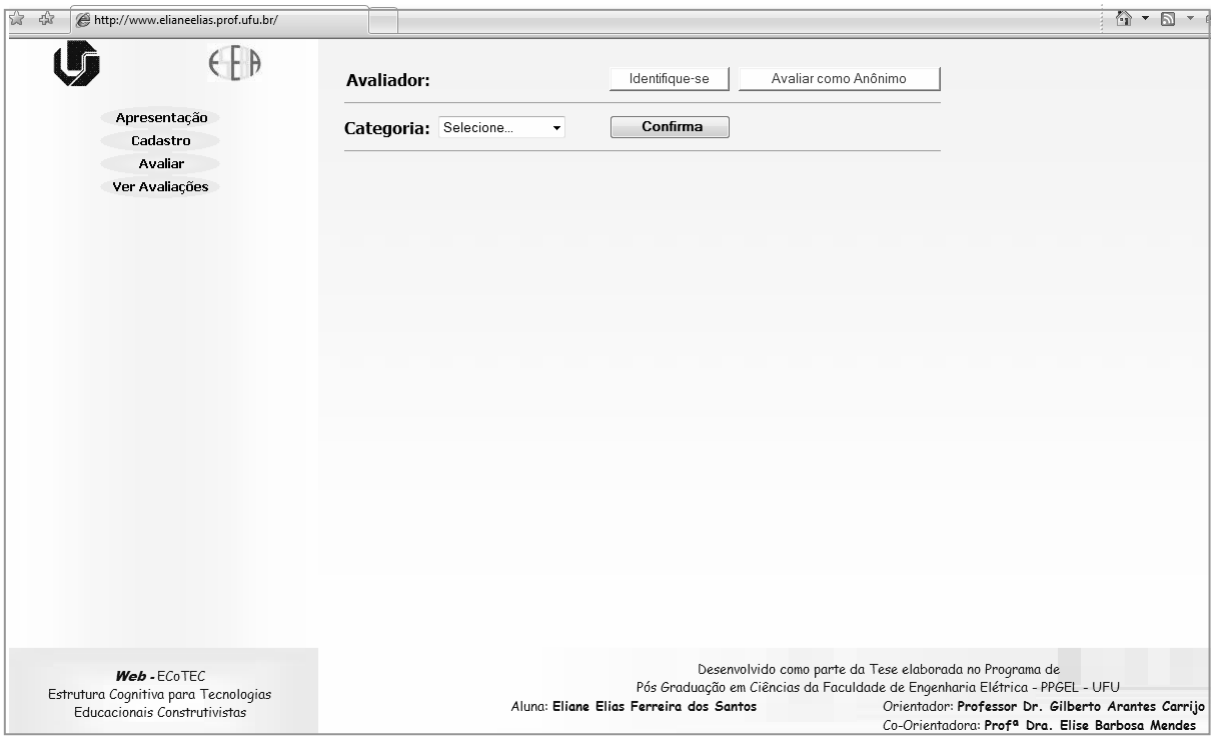

Figura 28 - A opção "Avaliar como anônimo".

Para responder às questões do *checklist*, um *pop up* apresenta os *links* (Figura 29) que orienta o usuário-avaliador quanto ao número de questões e quanto ao tempo gasto para responder cada módulo.

Uma vez respondido um módulo, são disponibilizadas as opções "Ver conclusão" e "Salvar conclusão" (Figura 30), "Refazer módulo" (Figura 31).

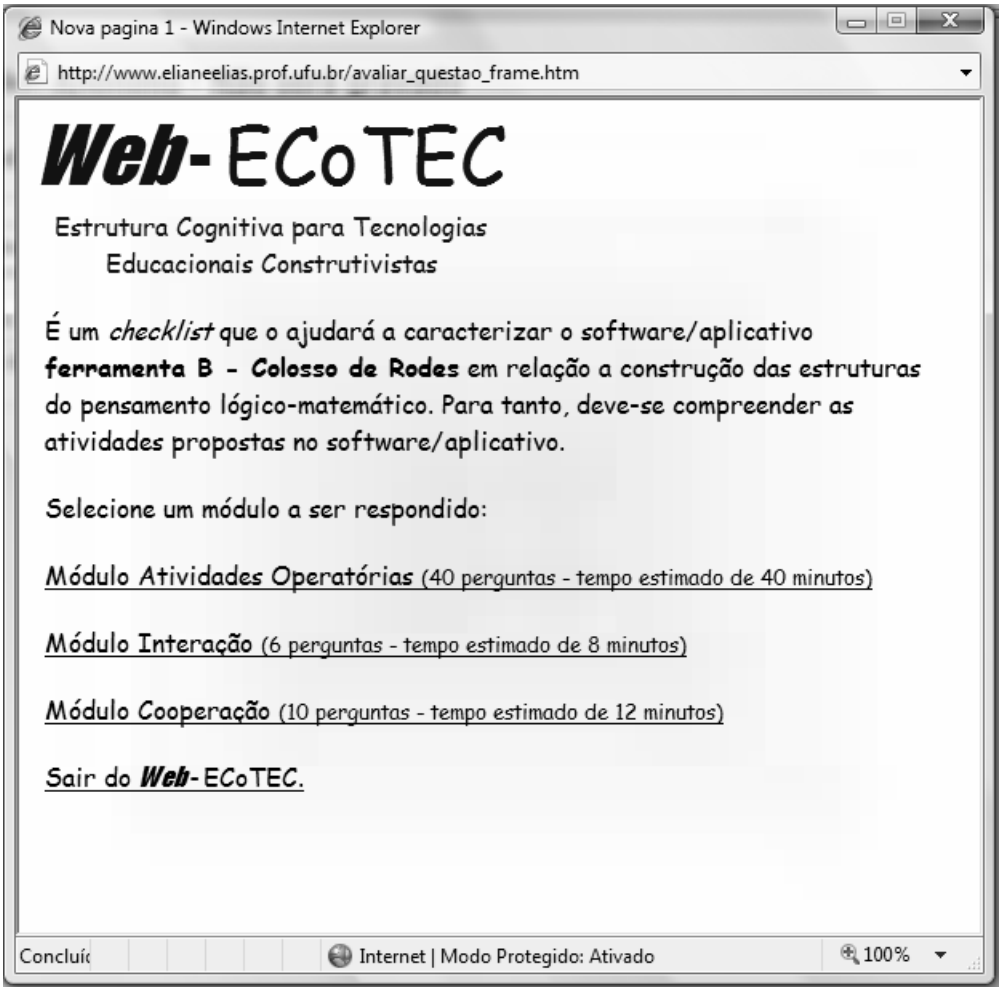

Figura 29 - *Link* para os módulos do *checklist*.

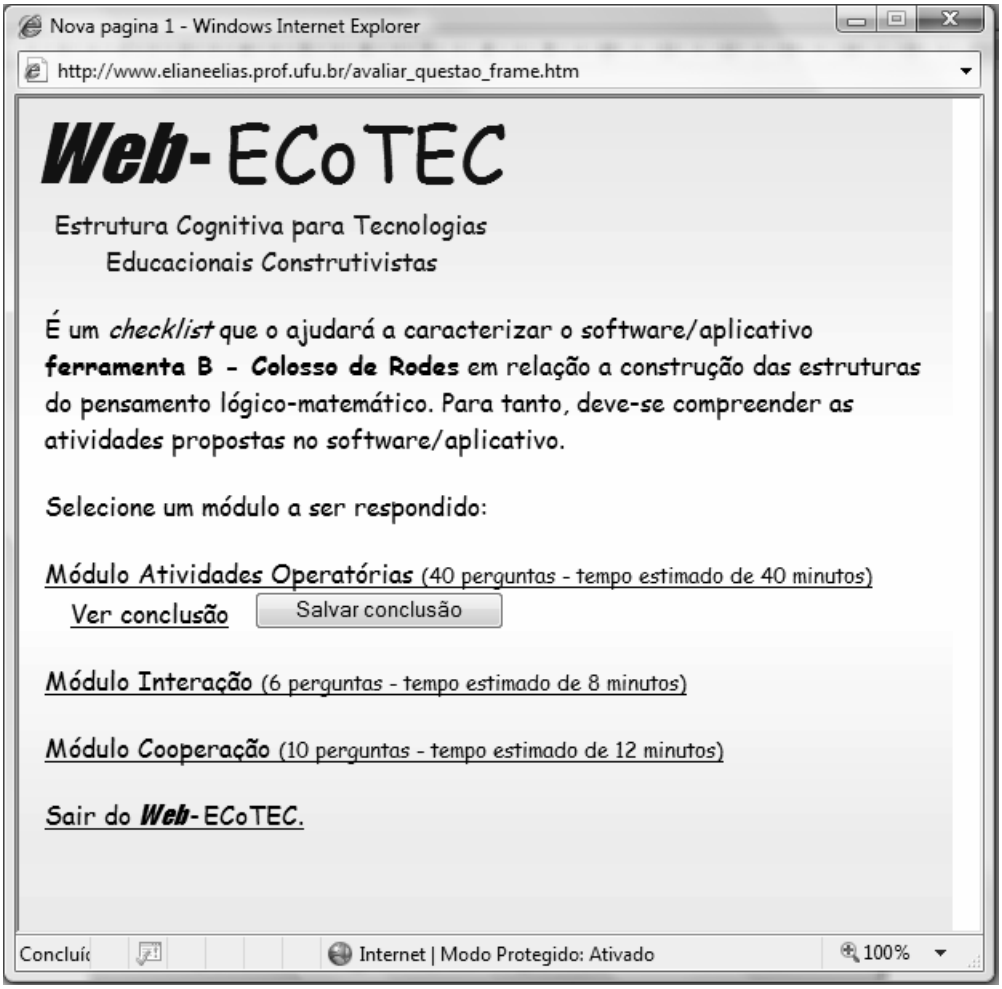

Figura 30 – *Link* dos módulos – opção “Ver conclusão” e botão “salvar conclusão”.

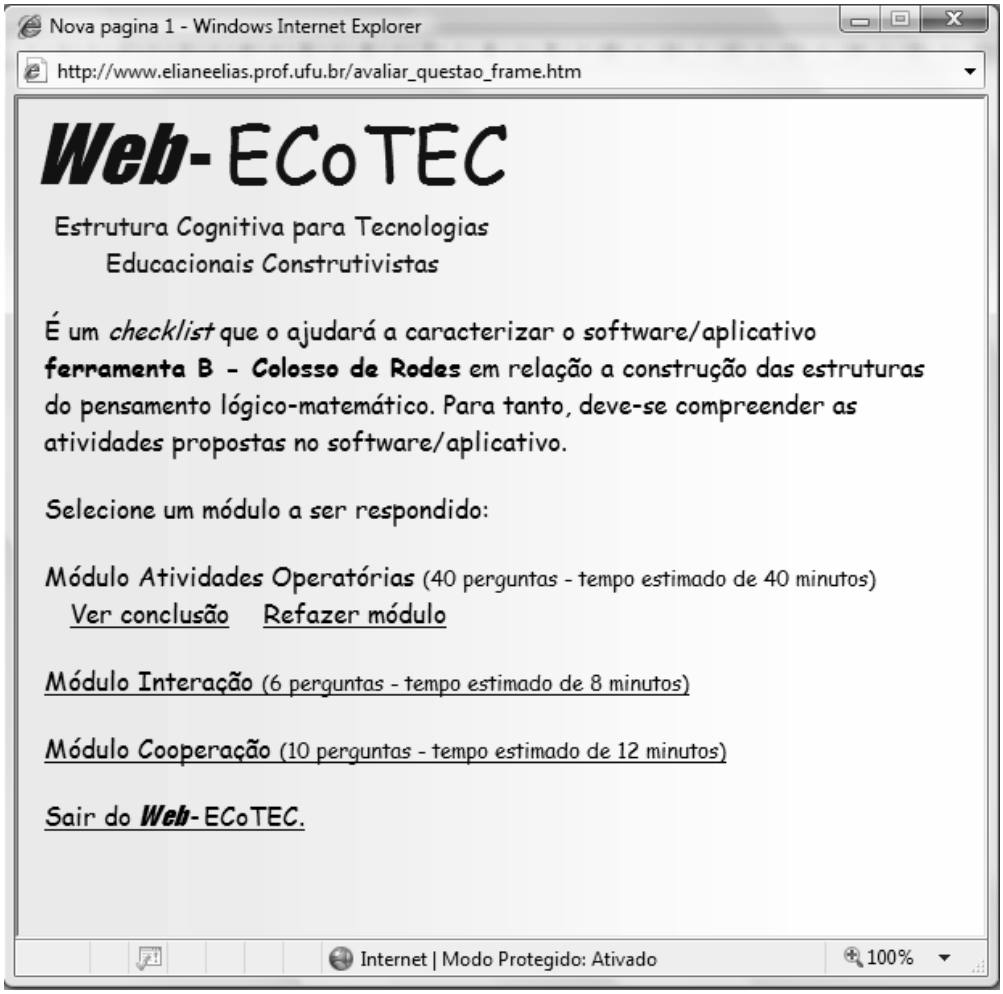

Figura 31 – *Link* dos módulos – opções "Ver conclusão" e "Refazer módulo".

O *Web*-ECoTEC apresenta em cada módulo as métricas para a caracterização das FCE em formato de *checklist*. Em cada métrica é oferecido três opções de resposta: sim, não ou não se aplica (Figura 32).

Em cada métrica, o usuário-avaliador tem disponível um botão "Leia mais..." que o direciona para um *pop up* que tem a função de esclarecer as possíveis dúvidas em relação à métrica questionada (Figura 32). Para retornar ao *Web*-ECoTEC, o usuário deverá acionar o botão "Fechar" do *pop up*.

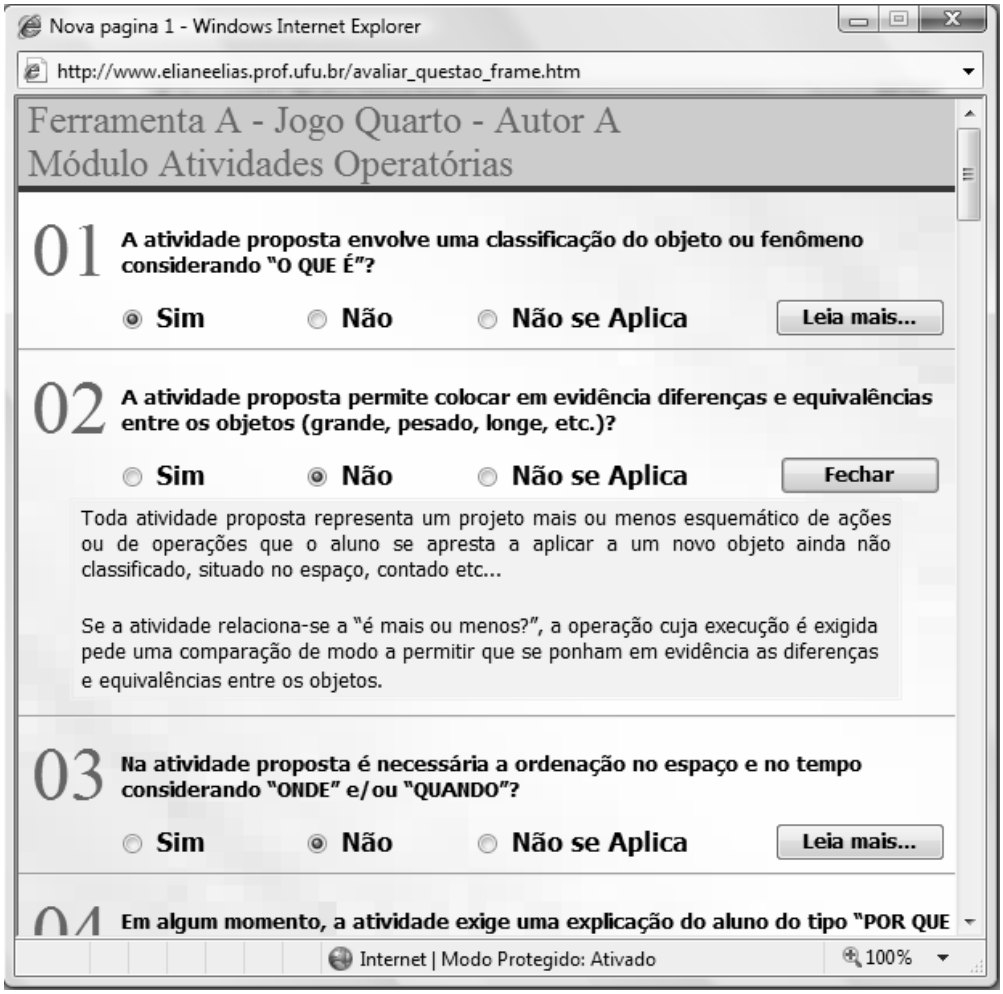

Figura 32 - As três opções de respostas e o botão "Leia mais...".

6.5 - Os *applets*

Os *applets* são programas executados dentro das páginas correspondentes aos módulos de avaliação no *Web*-ECoTEC. Esses programas utilizam dados captados no *checklist* e armazenados no banco de dados. As medidas, as expressões para o cálculo e os indicadores de caracterização utilizados na compilação foram definidos no capítulo 4 e traduzidos para as linhas de comando. Com base na compilação dos dados emite-se uma página de conclusão de cada módulo e uma de conclusão geral.

Os *applets* também são responsáveis por um sistema de consistência executado dentro das páginas do *Web*-ECoTEC que avisa ao usuário, por meio de um *pop up*, quando ficar alguma questão sem ser respondida (Figura 33).

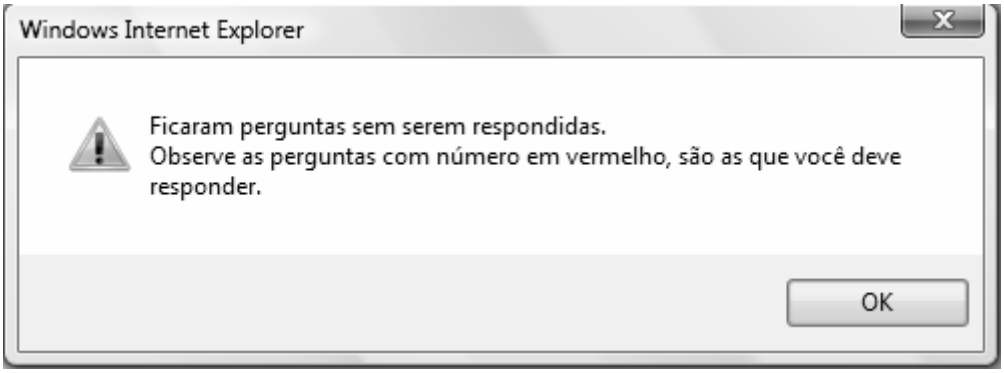

Figura 33 - Mensagem de questões não respondidas.

6.6 - Algumas funcionalidades do *Web*-ECoTEC

A forma como foi estruturada a navegação permite que o usuário-avaliador solicite ajuda por meio do botão "Leia mais..."; retorne ao sumário dos módulos em todas as páginas; salve o documento em execução; avalie um módulo de cada vez e salve esta avaliação; imprima os documentos em execução; veja avaliações feitas por outros profissionais.

6.7 – A caracterização das FCE por meio do *Web*-ECoTEC

Ao final de cada módulo o usuário-avaliador terá a visualização da conclusão do módulo por meio de uma rede sistêmica apontando a quantidade de parâmetros desejáveis encontrados na ferramenta e um laudo de caracterização que descreve as características da FCE com relação à sua contribuição para a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático.

6.7.1 - Redes sistêmicas

Bliss e Ogborn (1977) utilizaram a rede sistêmica pela primeira vez para analisar uma grande quantidade de dados qualitativos no campo da pesquisa educacional. Nesta pesquisa, a rede sistêmica tem por objetivo facilitar a compreensão do todo em cada módulo avaliado e dar estrutura ao sistema de categorias, bem como representar as interrelações entre elas e a frequência com que tais atividades ocorreram no processo.

A estrutura de rede proposta é gerada de tal forma que as categorias descritivas aparecem ligadas de forma a explicitar a quais categorias pertencem a característica, quais são independentes e quais estão condicionadas a escolha de outras características.

Para cada característica é possível observar a quantidade de questões e quais receberam respostas SIM. Um valor total é apresentado com as respostas positivas para a pergunta em questão (Figura 34). No site cada quadrícula está associada com a respectiva questão, passando-se o mouse sobre a quadrícula identifica-se o conteúdo da questão.

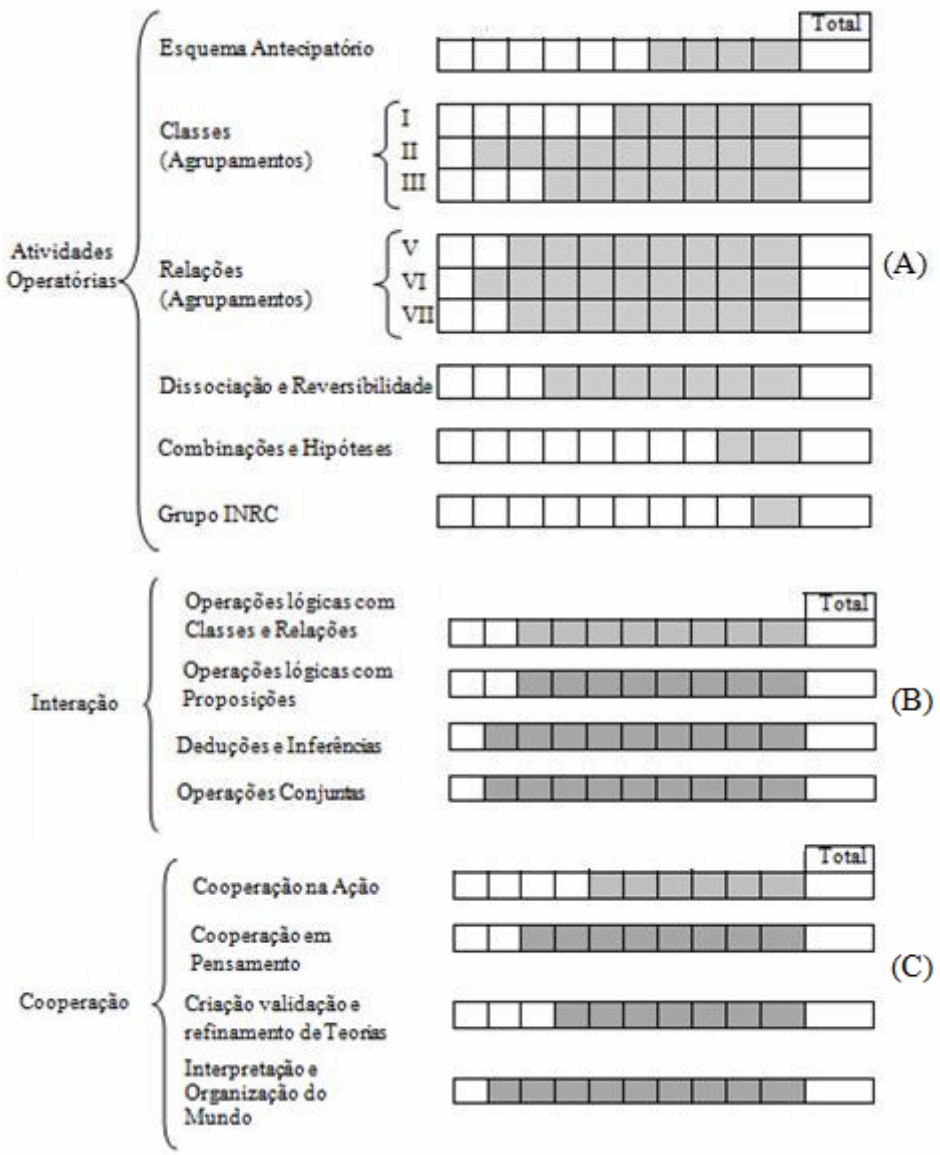

Figura 34 - As redes sistemas dos módulos: (A) Atividades Operatórias, (B) Interação e (C) Cooperação.

6.7.2 – Conclusão geral do *checklist*

Como conclusão geral, integrando os três módulos, o *Web*-ECoTEC apresenta um organizador gráfico, uma rede sistêmica e um laudo de caracterização da ferramenta avaliada.

O organizador gráfico (Figura 35) destaca a estrutura do pensamento lógico-matemático a ser construída com o auxílio da ferramenta. Esse tipo de recurso integra capacidades visuais e da cognição humana com os mecanismos computacionais para a interpretação da informação (SILVA, 2006).

Por sua vez, a rede sistêmica (Figura 34) permite uma visão geral de toda a avaliação. Ela quantifica os parâmetros desejáveis na ferramenta.

Por fim, um laudo descreve os aspectos que caracterizam a FCE em relação às atividades operatórias, à interação e à cooperação. Esse laudo é um resumo das conclusões obtidas em cada módulo.

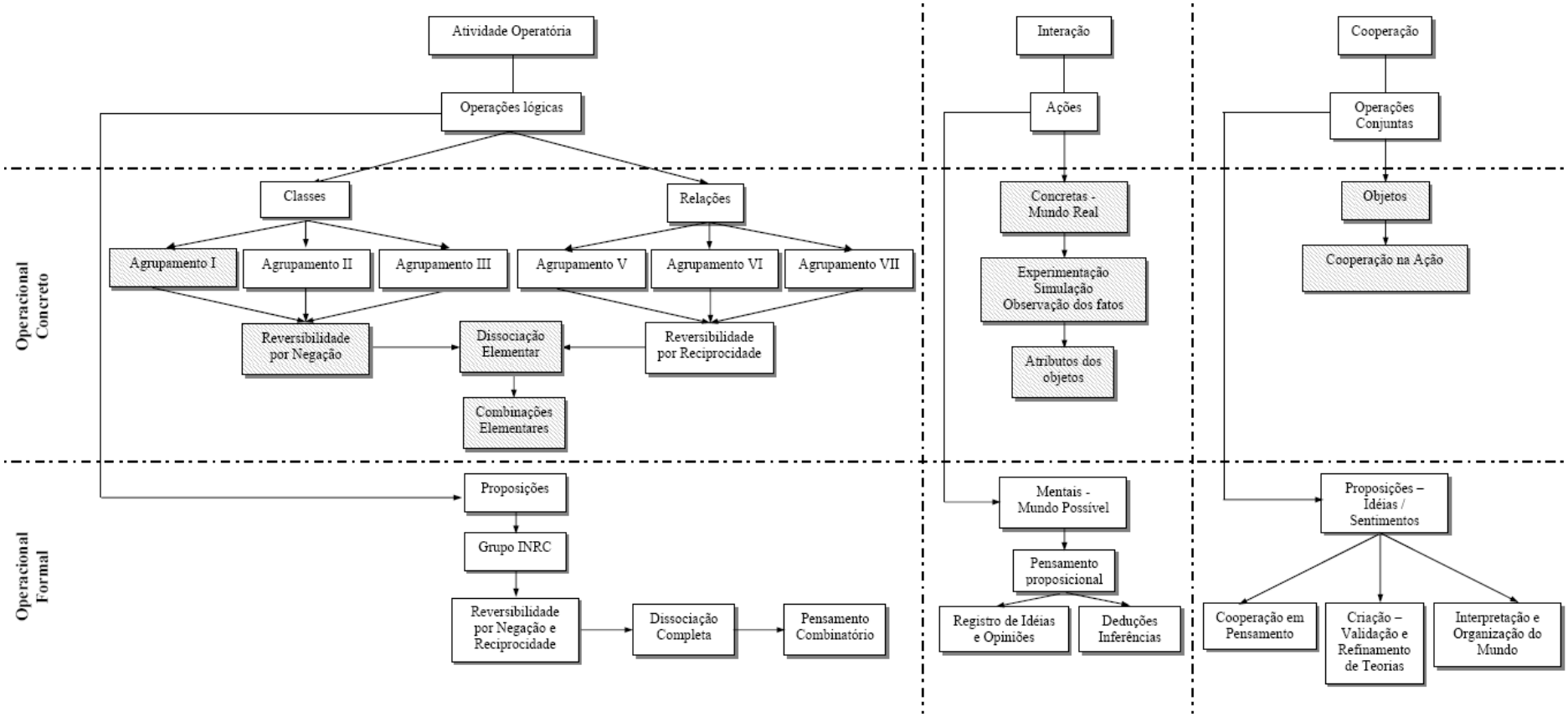

Figura 35 - Organizador gráfico – conclusão geral.

CAPÍTULO 7

Resultados e Discussão

Para a validação da metodologia de avaliação ECoTEC foram selecionadas quatro FCE aqui denominadas por A, B, C e D.

7.1- Resultados

Os resultados obtidos foram gerados pela submissão das quatro ferramentas ao instrumento de otimização *Web*-ECoTEC. A submissão foi feita pela própria pesquisadora.

7.1.1 - Ferramenta A

A Ferramenta A é uma versão digital do jogo QUARTO[6]. Formado por um tabuleiro 4 x 4 (16 casas) e 16 peças. As peças são sólidos geométricos: paralelepípedos e cilindros, que diferem a partir de quatro atributos: forma, tamanho, cor (duas), existência ou não de um furo. O objetivo do jogo é alinhar, em qualquer direção, peças que tenham pelo menos um atributo em comum. Exemplo: se o jogador alinhar paralelepípedos, sejam com furo ou sem furo, de uma ou outra cor, sejam altos ou baixos, ele vence a partida porque conseguiu reunir peças com pelo menos um atributo em comum: a forma de paralelepípedo.

A Ferramenta A foi submetida ao *Web*-ECoTEC para caracterização das estruturas lógico-matemáticas no módulo Atividades Operatórias (Figuras 36 e 37).

O esquema antecipador refere-se a um conjunto de ações coordenadas entre si que permitem o planejamento da solução do problema. Corresponde à antecipação (consciente ou não) das operações a serem realizadas para a execução da tarefa. Dentre as 6 questões para avaliação do esquema antecipador, a resposta afirmativa à questão 1 - "A atividade proposta envolve uma classificação do objeto ou fenômeno considerando O QUE É?" - revela que a ferramenta A apresenta como esquema antecipador a classificação dos sólidos geométricos correspondentes às peças do jogo.

---

[6] Jogo francês criado por Blaise Muller em 1985 (MACEDO, 2000).

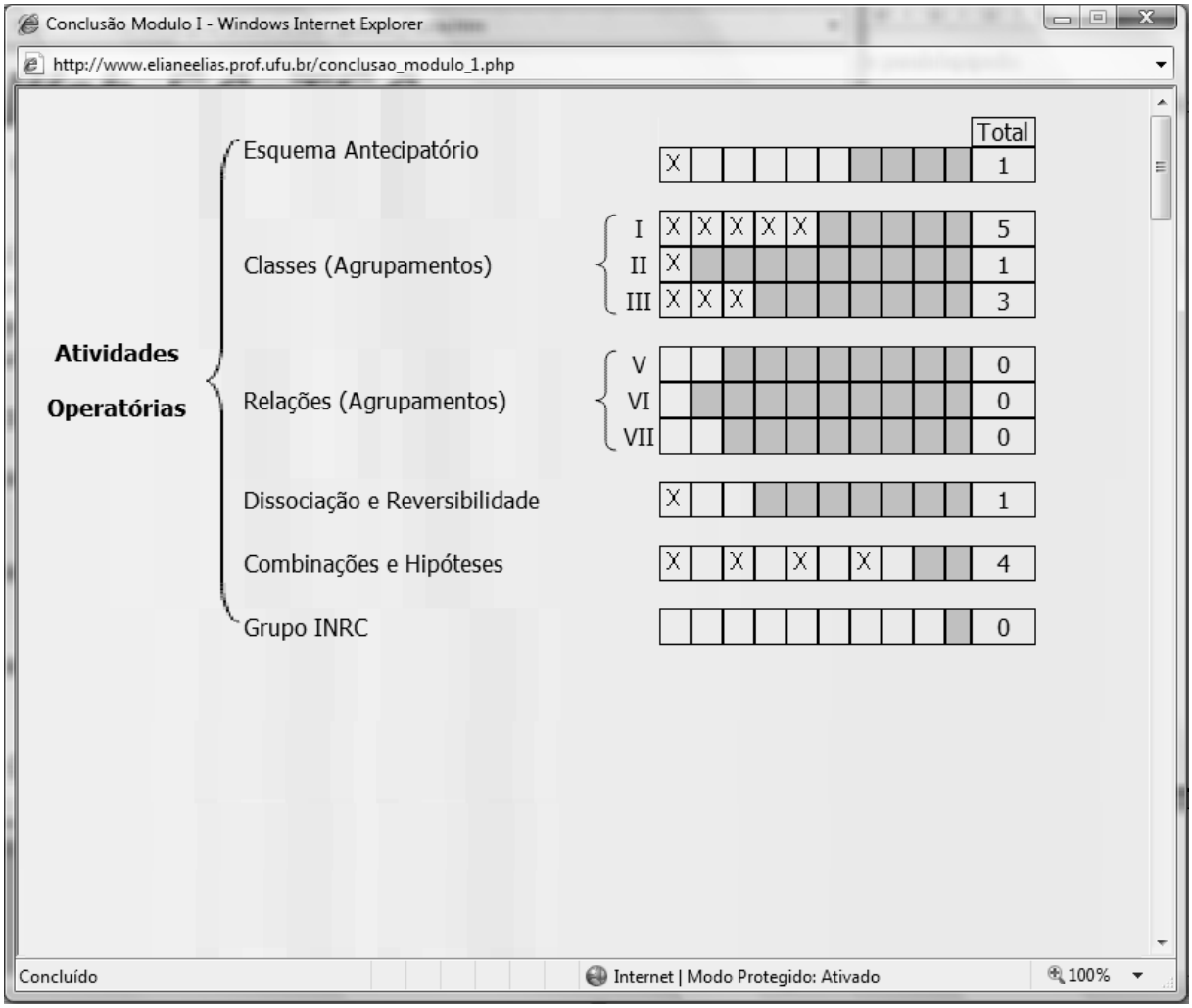

Figura 36 - Ferramenta A: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa

Ao selecionar uma peça para jogar, entre todas do jogo, a criança identifica conjuntos de peças que têm características específicas em comum. São várias as situações em que se constata a presença das estruturas dos agrupamentos I, II e III.

Todas as questões que compõem a investigação do Agrupamento I foram respondidas afirmativamente. A resposta "sim" na questão 7 - "A atividade pressupõe a combinação sucessiva de classes elementares (somar classes) formando classes superiores?" - justifica-se, por exemplo, pela ação da criança ao separar as peças do jogo em cilindros e paralelepípedos. Desta forma, têm-se uma classe primária A, formada por todas as peças do jogo e duas classes secundárias B e B'. Onde B é classe formada pelos cilindros e B' é a classe formada pelos paralelepípedos. De tal forma que A = B + B', caracterizando a adição de classes.

Se de todas as peças do jogo, a criança retira, por exemplo, os cilindros terá como resultado, os paralelepípedos, caracterizando a operação A – B = B'. Esta ação justifica o

“sim” atribuído à questão 8 - “A atividade pressupõe que se inicie por classes de nível mais alto e as decomponha em classes componentes (subtrair classes)?”.

Se de todas as peças do jogo, a criança retira, por exemplo, os cilindros terá como resultado, os paralelepípedos, caracterizando a operação A – B = B’. Esta ação justifica o “sim” atribuído à questão 8 - “A atividade pressupõe que se inicie por classes de nível mais alto e as decomponha em classes componentes (subtrair classes)?”.

Em uma situação de jogo, a criança pode perceber que as duas classes secundárias B e B’ juntas formam a classe primária A, da mesma forma que a classe A é formada pelas classes secundárias B e B’. Caracterizando um estado de equilíbrio reversível denotado por B + B’ ↔ A.

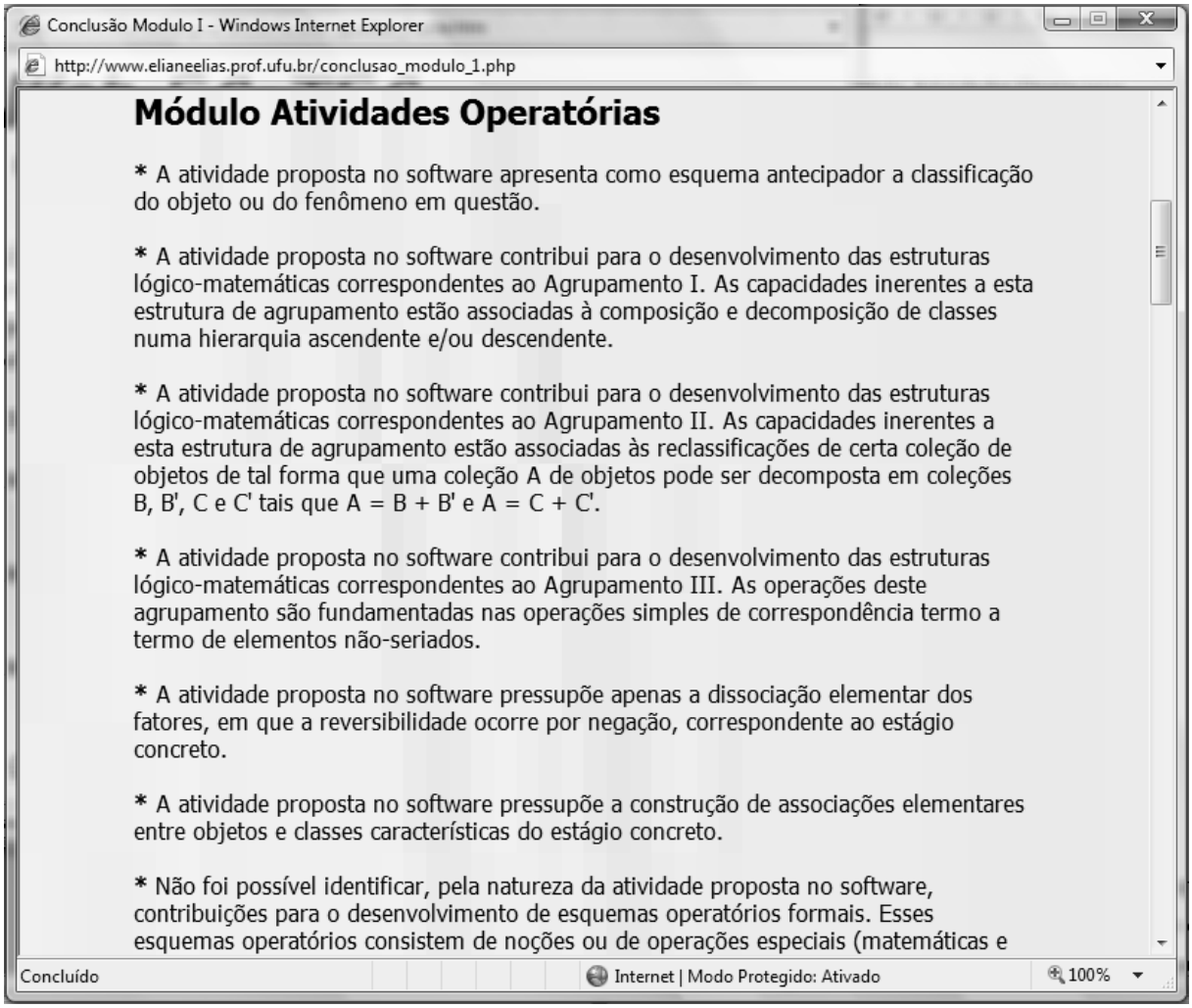

Figura 37 - Ferramenta A: laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa.

Esta ação justifica o "sim" atribuído à questão 9 - "A atividade pressupõe que o aluno relacione as subclasses (A e A') com a classe superior que as contém (B), da mesma forma que relaciona a classe superior (B) com as subclasses (A e A') de forma que A+A'=B e B=A+A' tenham o mesmo significado?".

Se o conjunto de peças tem, por exemplo, as cores azul e vermelho, ao considerar, a classe B dos cilindros, pode-se separá-la em duas outras classes C e C'. Onde a classe C é formada por cilindros vermelhos e a classe C' é formada por cilindros azuis. Considerando-se uma destas classes, a classe C, por exemplo, pode-se agrupá-la em duas novas classes D e D', com cilindros vermelhos altos e cilindros vermelhos baixos, respectivamente. Analogamente, a classe D, por exemplo, pode por sua vez ser reagrupada em E e E' formada por cilindros vermelhos altos com furo e cilindros vermelhos altos sem furo. Desta forma, a criança estabelece relações entre um conjunto de objetos e seus subconjuntos, é a classificação inclusiva. Neste exemplo, a seqüência de atributos utilizada para ilustrar a inclusão de classes foi forma, cor, tamanho e presença ou ausência de furo. Entretanto, a criança pode considerar qualquer seqüência de atributos e obter diferentes classificações inclusivas. Em qualquer destas classificações a criança pode refazer o todo (a classe primária considerada) com as partes (as classes secundárias). Estas ações justificam a resposta afirmativa dada às questões 10 e 11 do Agrupamento I - "A atividade pressupõe que o aluno relacione a parte (subclasse) menor que o todo (classe superior) ou reciprocamente o todo maior que a parte?"; "A atividade pressupõe que o aluno considere a fragmentação de um todo (partes) e refaça o todo?".

Se ao separar as peças do jogo, classe A, a criança percebe que pode fazê-lo considerando múltiplas divisões em cada classe, esta situação é interpretada em termos de estrutura mental como Agrupamento II. No Agrupamento I, a criança percebe que pode dividir as peças do jogo, classe primária em duas classes secundárias segundo a forma. No Agrupamento II, a criança percebe que há outras possibilidades de classificação das peças. Que se pode dividir a mesma classe primária A segundo o tamanho das peças, segundo a presença ou ausência de furo ou ainda segundo a cor. Assim, pode-se, por exemplo, separar as peças do jogo, classe primária A em classes B1 e B1', onde B1 é a classe das peças vermelhas e B1' é a classe das peças azuis. Ou ainda separá-las em classes C1 e C1', onde C1 é a classe das peças com furo e C1' é a classe das peças sem furo. De tal forma que A = B1 + B1' e A = C1 + C1'. Essa possibilidade revela que a criança é capaz de perceber vários atributos em um mesmo conjunto A e justifica o "sim" atribuído à questão 12 - "A atividade pressupõe que o

aluno faça classificações de certa coleção de objetos de maneiras diferentes, considerando ora um atributo, ora outro?".

Na seguinte situação, no tabuleiro uma fila vertical tem três peças em forma de cilindro e outra fila horizontal tem três peças azuis e a peça que falta para completar qualquer das filas está na intersecção destas filas. Para ganhar o jogo, a criança poderá completar a fila vertical com uma peça na forma de cilindro ou completar a fila horizontal com uma peça na cor azul, ou ainda completar ambas as filas com uma peça cilíndrica azul. Esta situação é interpretada em termos de estruturas mentais como Agrupamento III e justifica a resposta afirmativa à questão 13 - "A atividade pressupõe que o aluno coloque cada elemento de uma série (ou um conjunto) em correspondência com um elemento de uma outra série (ou conjunto) formando uma matriz de dupla entrada?".

Algumas situações de jogo exigem que a criança considere mais de um atributo do objeto ao mesmo tempo. Ao colocar no tabuleiro a peça cilíndrica azul, a criança demonstra a capacidade de realizar classificações de objetos considerando mais de um atributo ao mesmo tempo. Esta ideia traduz-se em configurações de matrizes de dupla entrada em que cada posição na matriz corresponde à intersecção de classes com atributos que se superpõem e justifica o "sim" atribuído ás questões 14 e 15 - "A atividade pressupõe que o aluno faça a classificação dos objetos considerando vários atributos ao mesmo tempo?"; "A atividade permite que o aluno realize a intersecção de duas classes com atributos diferentes que se superpõem?", completando o diagnóstico do Agrupamento III.

Além dos agrupamentos de classes, o jogo revela ainda a possibilidade da dissociação elementar de fatores, conforme investigado na questão 21 - "Para restabelecer o equilíbrio de um sistema ou para analisar separadamente os efeitos de uma variável (propriedade ou acontecimento), podem-se excluir seus efeitos apenas por supressão, ou seja, pela simples eliminação desta variável (propriedade ou acontecimento)?". A criança pode analisar separadamente qualquer dos quatro atributos (forma, cor, tamanho, presença ou ausência de furo) por meio da supressão. Para analisar as peças com furo, a criança pode suprimir (reversibilidade por negação) momentaneamente as peças sem furo. Isso significa que a criança pode, por exemplo, combinar classes elementares para formar uma classe superior ($A + A' = B$) e, dada a classe superior, diferenciar suas classes componentes ($B - A = A'$ ou $B - A' = A$).

As primeiras jogadas da criança são baseadas na tentativa e erro. As regras do jogo funcionam como instruções explícitas que instigam a criança a combinar os atributos das peças do jogo, consideradas enquanto simples unidades, para atingir o objetivo: ganhar o

jogo. Estes pontos foram observados por meio das questões 24, 26, 28 e 30, respectivamente – "A atividade pressupõe que o aluno, por meio de situações reais, associe fatores (variáveis, propriedades, acontecimentos), combine objetos (partes dos objetos ou atributos entre si) por meio de comparações 2 a 2 e/ou 3 a 3?"; "Na atividade existem instruções explícitas para instigar o aluno a realizar as combinações com os objetos, partes dos objetos ou atributos?"; "É possível observar que as tentativas feitas, pelos alunos para combinar objetos, partes dos objetos ou atributos, buscando (o equilíbrio) a solução do problema proposto no software, são baseadas na simples tentativa e erro?"; e "A atividade pressupõe que o aluno, ao fazer as combinações com objetos, partes dos objetos ou atributos, se refira aos objetos enquanto simples unidades?".

A análise dos recursos para a interação do usuário com a ferramenta A, módulo Interação do *Web*-ECoTEC, revela que três das seis questões que investigam esta funcionalidade foram respondidas afirmativamente (Figura 38). A saber, as questões 41, 42 e 45 - "Existem recursos para que o aluno capture os atributos dos objetos?"; "Existem recursos para que o aluno manipule os objetos e realize experimentos/simulações?"; "O software oferece recursos para que o aluno realize efetivamente os diferentes caminhos imaginados / deduzidos para uma possível solução da atividade proposta?".

A resposta "sim" atribuída às questões 41 e 42 é baseada no fato de que na versão digital do jogo QUARTO a criança pode transladar e rotacionar as peças. Esta funcionalidade do jogo é útil, sobretudo para que a criança diferencie a forma, o tamanho das peças e a presença ou ausência de furo. Em relação à questão 45, a criança ganha o jogo de diferentes formas. Neste sentido, cada alinhamento é uma possível solução do problema.

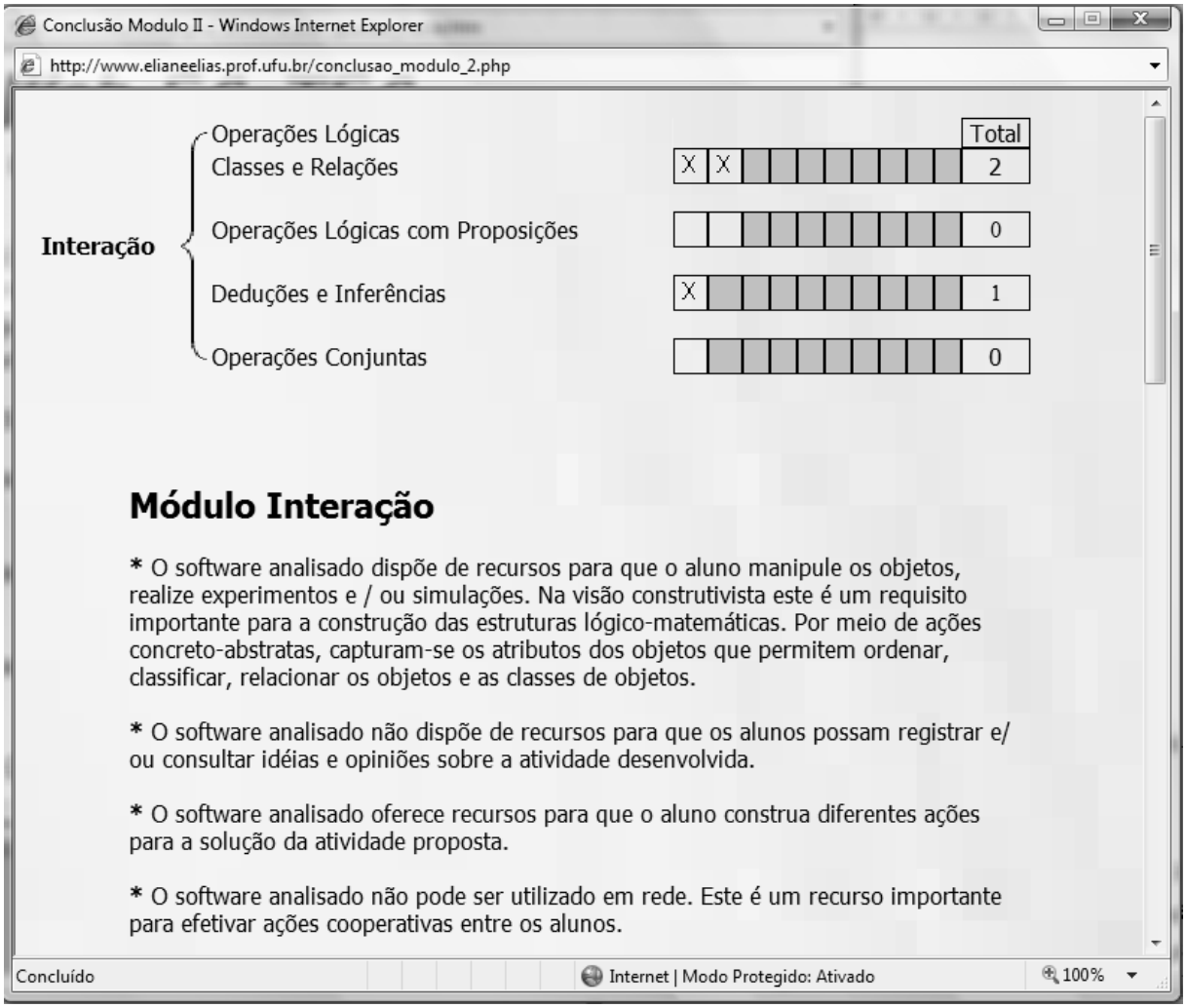

Figura 38 - Ferramenta A: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação.
Fonte: dados da pesquisa.

A caracterização da ferramenta A no módulo Cooperação do *Web*-ECoTEC (Figura 39) foi possível pela resposta afirmativa de duas das quatro questões que investigam a cooperação na ação, as questões 48 e 50 - "A atividade pressupõe que as experiências e observações sejam realizadas pelos alunos de forma conjunta?"; "A atividade pressupõe que o aluno aplique operações conhecidas a situações novas – é um trabalho de aplicação realizado em equipes?".

O jogo QUARTO foi originalmente projetado para dois jogadores. As crianças jogam no mesmo computador, podendo ou não utilizar o mesmo mouse. Além disso, as próprias características do jogo apontam para a aplicação de conhecimentos já adquiridos em situações novas, caracterizando a cooperação na ação. De fato, nesta etapa a criança já reconhece as cores e a forma dos objetos, e deve, portanto aplicar esse conhecimento na situação do jogo de acordo com as regras pré-estabelecidas.

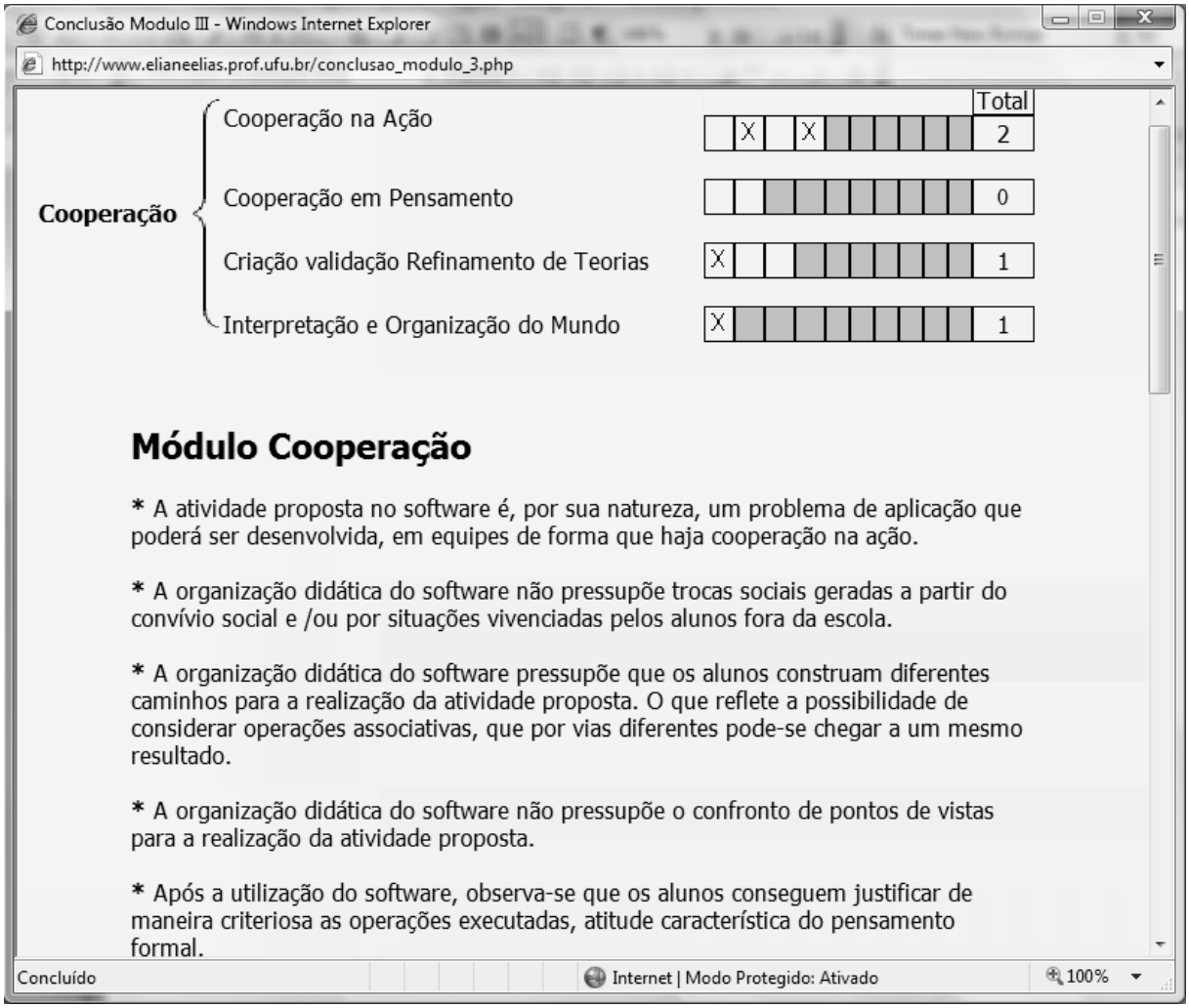

Figura 39 - Ferramenta A: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação.
Fonte: dados da pesquisa.

A realização efetiva de diferentes caminhos para se ganhar o jogo é investigada na questão 53 – "A atividade permite que o aluno escolha caminhos diferenciados para a resolução dos problemas?". Pode-se ganhar o jogo alinhando qualquer dos atributos. Cada alinhamento diferente constitui um caminho efetivo para a solução do problema, aqui representado pela possibilidade de ganhar o jogo.

Embora a justificativa para as operações executadas não seja uma característica do período operatório concreto, a versão digital do jogo analisado aponta para a construção desta habilidade por meio de questionamentos feitos à criança. Quando a criança consegue alinhar peças com um ou mais atributo em comum, são feitas as perguntas: "Por que você ganhou? Qual atributo ou atributos você usou?". E isso justifica o "sim" atribuído à questão 56 - "Ao término da atividade, é possível observar de alguma maneira (pelo registro dos alunos e/ou

pelas atitudes e/ou pelas discussões) que eles sabem justificar criteriosamente o conjunto de operações que executam?".

7.1.1.1 - Ferramenta A – opção "Conclusão Geral"

Das 56 questões propostas no *checklist*, 22 receberam resposta afirmativa (Figura 40). Esse número corresponde à presença, na ferramenta A, de 22 parâmetros desejáveis para a construção das estruturas de pensamento lógico-matemático no período operacional concreto. Na atividade proposta na ferramenta A realizam-se operações lógicas com classes correspondentes aos Agrupamentos I, II e III. A parte colorida no organizador gráfico (Figura 41) exibe as estruturas lógico-matemáticas a serem construídas com o auxílio da atividade proposta na ferramenta A; a caracterização dos recursos interativos e da atividade cooperativa.

Na teoria de Piaget todo estado de equilíbrio pode ser reconhecido por uma certa forma de reversibilidade (INHELDER e PIAGET, 1976). Na ferramenta A, o equilíbrio é representado pelo alinhamento de formas geométricas com atributos comuns de tal forma que se possa ganhar o jogo. A reversibilidade por negação é que caracteriza esta forma de equilíbrio. O produto de uma ação direta (colocar uma peça no tabuleiro) e de seu inverso (retirar esta peça do tabuleiro) é então, a operação nula ou idêntica.

O próprio objetivo do jogo impõe uma classificação das peças de forma que por associações sucessivas a criança chega a dissociar alguns fatores (cor, forma, furo, tamanho) o que implica em combinações elementares (Figura 41). As ações da criança são concretas (na verdade concreto-abstratas). A criança faz experimentações, simulações e observa os fatos (no caso a ação de outra criança, adversário no jogo) baseados nos atributos dos objetos. A realização do jogo em duplas implica na realização de operações conjuntas com os objetos (concreto-abstratos). Os questionamentos feitos à criança motivam a realização de operações conjuntas com as proposições. É por meio das operações com as proposições que se criam teorias, interpreta e organiza o mundo (Figura 41).

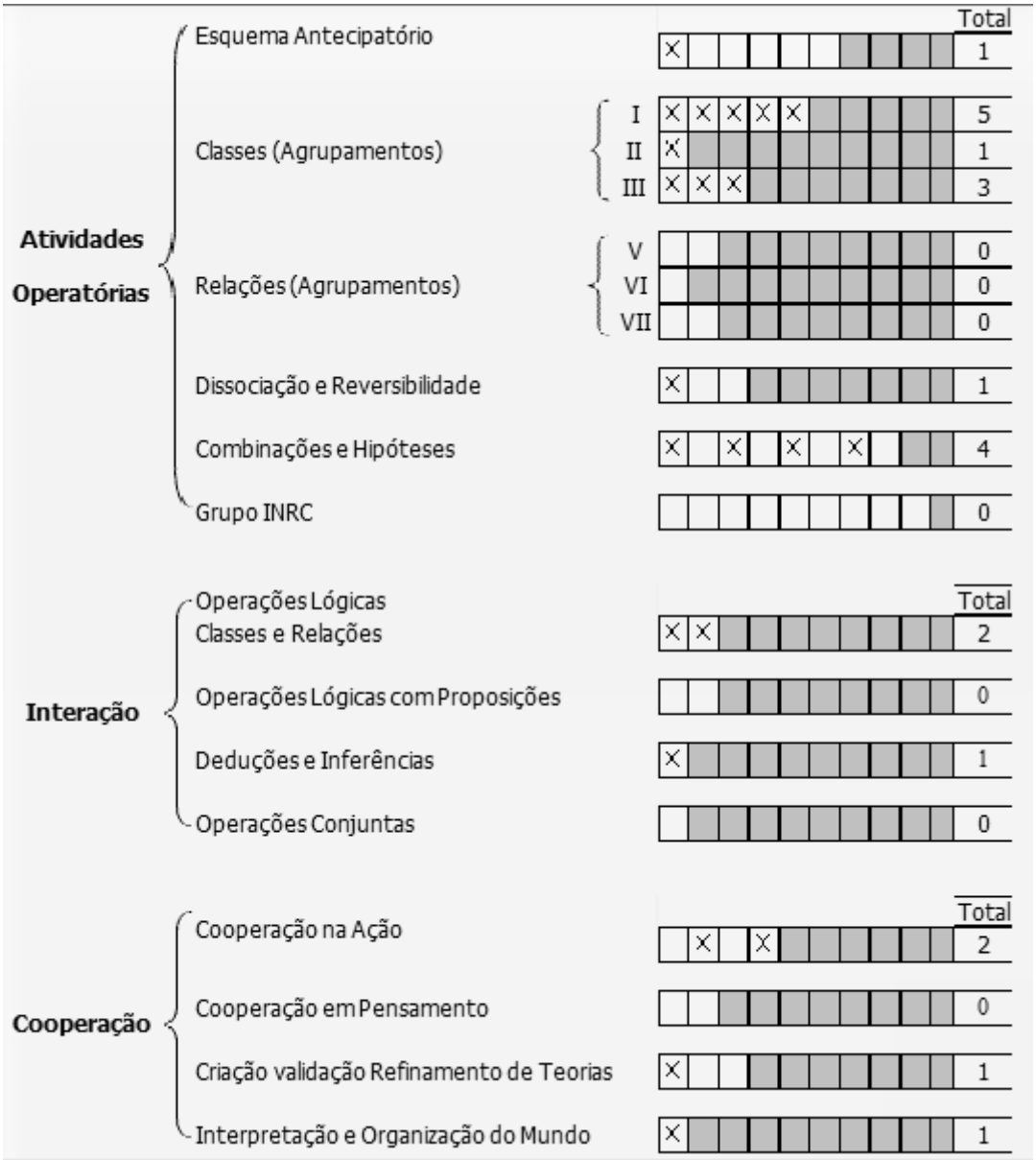

Figura 40 – Rede Sistêmica da conclusão geral da Ferramenta A.
Fonte: dados da pesquisa.

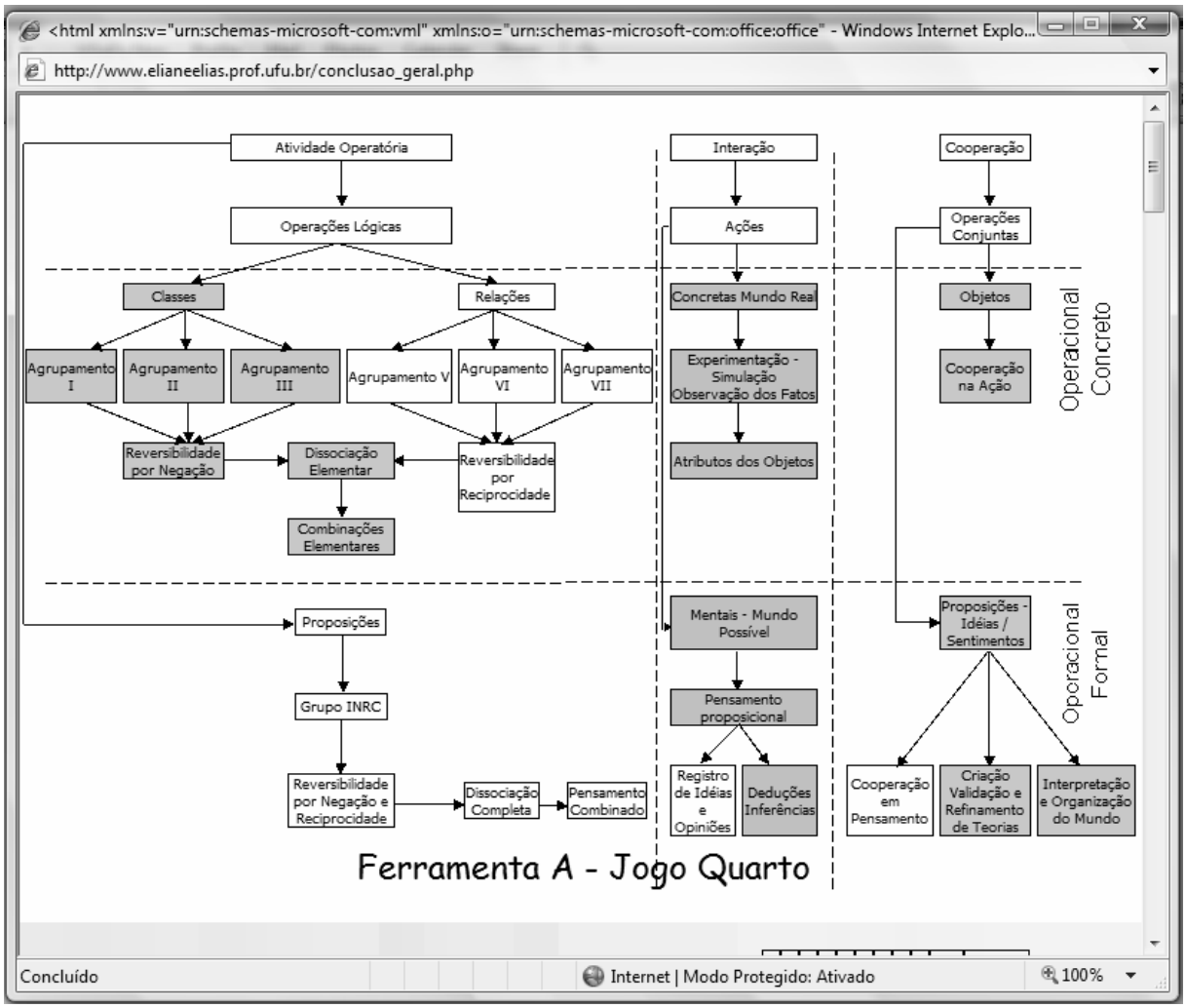

Figura 41 – Organizador gráfico da conclusão geral da Ferramenta A.
Fonte: dados da pesquisa.

A título de conclusão, o *Web*-ECoTEC emite um laudo de caracterização da ferramenta A (Figura 42). Este laudo é uma síntese do que já foi concluído em cada um dos módulos separadamente.

Conclusão Geral

* A atividade proposta no software contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes a um dos agrupamentos lógicos.

* A atividade proposta no software pressupõe apenas a dissociação elementar dos fatores, em que a reversibilidade ocorre por negação, correspondente ao estágio concreto.

* A atividade proposta no software pressupõe a construção de associações elementares entre objetos e classes características do estágio concreto.

* O software analisado dispõe de recursos para que o aluno manipule os objetos, realize experimentos e / ou simulações. Na visão construtivista este é um requisito importante para a construção das estruturas lógico-matemáticas. Por meio de ações concreto-abstratas, capturam-se os atributos dos objetos que permitem ordenar, classificar, relacionar os objetos e as classes de objetos.

* O software analisado não dispõe de recursos para que os alunos possam registrar e/ ou consultar idéias e opiniões sobre a atividade desenvolvida.

* O software analisado oferece recursos para que o aluno construa diferentes ações para a solução da atividade proposta.

* O software analisado não pode ser utilizado em rede. Este é um recurso importante para efetivar ações cooperativas entre os alunos.

* A atividade proposta no software pressupõe cooperação na ação.

* A organização didática do software não pressupõe trocas sociais geradas a partir do convívio social e /ou por situações vivenciadas pelos alunos fora da escola.

* A organização didática do software pressupõe que os alunos construam diferentes caminhos para a realização da atividade proposta. O que reflete a possibilidade de considerar operações associativas, que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado.

* Após a utilização do software, observa-se que os alunos conseguem justificar de maneira criteriosa as operações executadas, atitude característica do pensamento formal.

Figura 42 – Laudo de caracterização da conclusão geral da Ferramenta A.
Fonte: dados da pesquisa.

7.1.2 - Ferramenta B

A Ferramenta B propõe uma atividade que tem como objetivo calcular a altura do Colosso de Rodes[7] usando proporções. Para tanto, utilizam-se as medidas em uma fotografia e as correspondentes medidas reais.

Quando submetida ao *Web*-ECoTEC, módulo Atividades Operatórias foi possível caracterizar a ferramenta B (Figuras 43 e 44) pela resposta afirmativa à questão 2 - "A atividade proposta permite colocar em evidência diferenças e equivalências entre os objetos (grande, pesado, longe, etc.)?". Esta resposta revela que a ferramenta B apresenta como esquema antecipador a comparação. Para fazer a atividade proposta na ferramenta B o aluno deve comparar as alturas reais dos objetos bem como suas respectivas alturas em uma foto.

A resposta afirmativa atribuída às questões 33 e 34 - "Para descobrir ou construir uma noção ou operação, a atividade pressupõe a necessidade de operações lógicas proposicionais (atribuição de valores do tipo "Verdadeiro" ou "Falso")?"; "A atividade pressupõe que o aluno construa frações ou relações numéricas e forme com elas proporções?" revelam que a atividade proposta na ferramenta B pressupõe a utilização de operações lógicas proposicionais e também que essas operações estão associadas com a construção do esquema formal das proporções. De fato, segundo Inhelder e Piaget (1976), o esquema das proporções (como todos os outros) apresenta dois aspectos, um lógico e outro matemático.

De modo geral, o aspecto lógico funciona como um esquema antecipador da descoberta das proporções métricas. A noção de produto lógico corresponde à idéia de que dois fatores que atuam em conjunto equivalem à ação de dois outros fatores reunidos. Assim, ao considerar as igualdades dos produtos que implica as noções de compensação (reciprocidade) e de anulação (negação) o raciocínio enquadra-se na estrutura de grupo I.N.R.C. O que significa considerar NR=IC; RC=IN; NC=IR, etc. que são igualdades entre os produtos das duas transformações. Disso resulta que o grupo I.N.R.C. equivale a um sistema de proporções lógicas: $\frac{Ix}{Cx} = \frac{Rx}{Nx}$ ou $\frac{Rx}{Ix} = \frac{Cx}{Nx}$, onde x é a operação transformada.

[7] O Colosso de Rodes foi uma estátua de Hélios, deus do sol, construída entre 292 a.C. e 280 a.C. tinha em torno de 70 toneladas e era feita de bronze. O Colosso de Rodes é uma das sete maravilhas do mundo antigo.

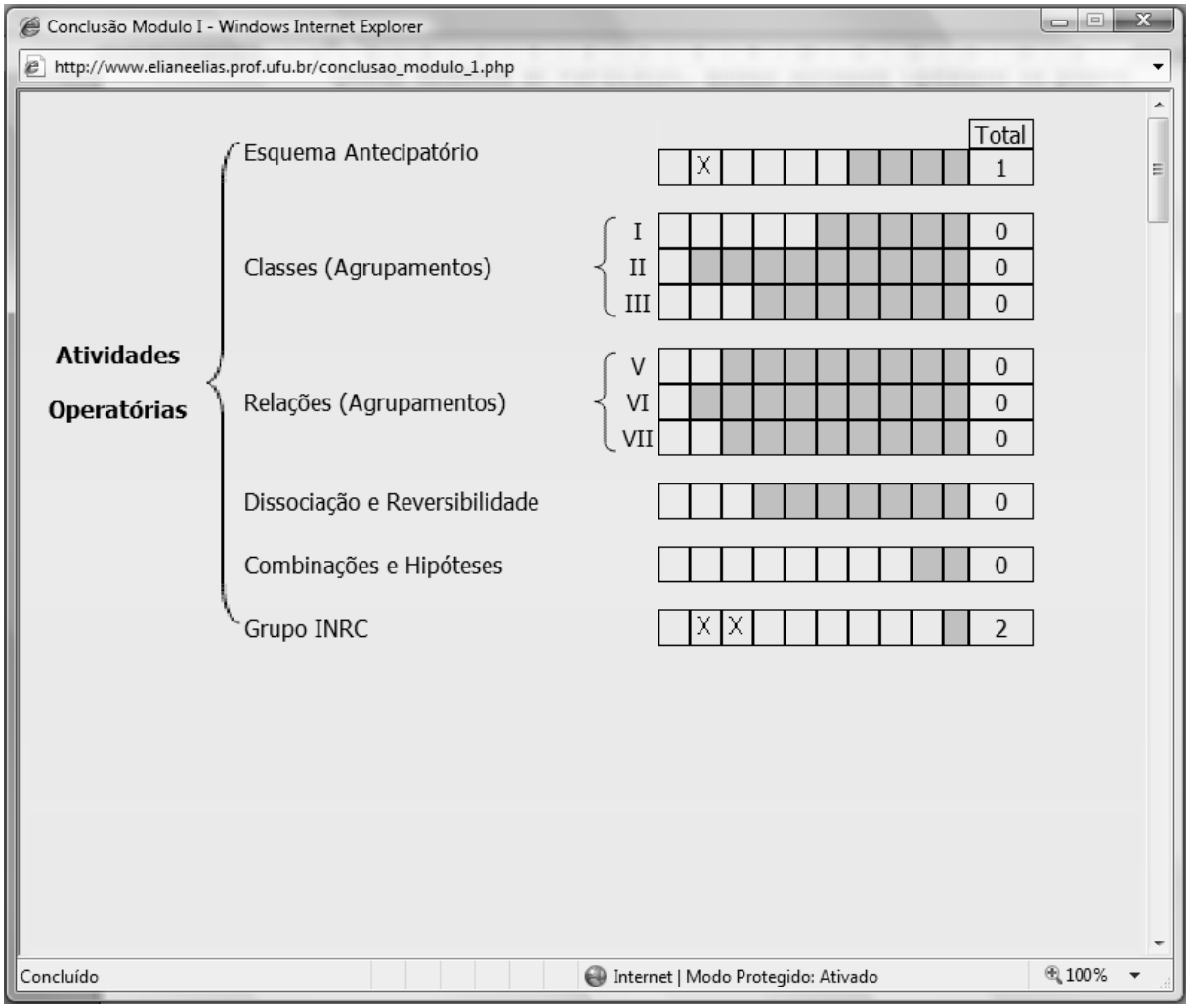

Figura 43 - Ferramenta B: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa.

Na atividade proposta na Ferramenta B o aluno insere na fotografia objetos cujas alturas reais são conhecidas. Ao inserir esses objetos as respectivas alturas na fotografia também ficam conhecidas. Os objetos são inseridos um de cada vez, sendo que ao inserir um, o outro é excluído da foto. O aluno insere um objeto e observa sua altura real e sua altura na foto. Ao inserir outro objeto ele compara as alturas reais e na foto do primeiro com o segundo objeto. Ele executa esse procedimento até concluir espontaneamente que um aumento na altura real do objeto produz um aumento na sua altura na foto. Esta conclusão só é possível por meio do raciocínio proposicional. Desta forma, diante de duas variáveis independentes (altura real e altura na foto), o aluno pode compreender que o aumento de uma produz um aumento na outra e, reciprocamente, uma diminuição de uma provoca uma diminuição da outra. E é assim que, segundo Inhelder e Piaget (1976), o aluno constrói o esquema qualitativo da proporcionalidade.

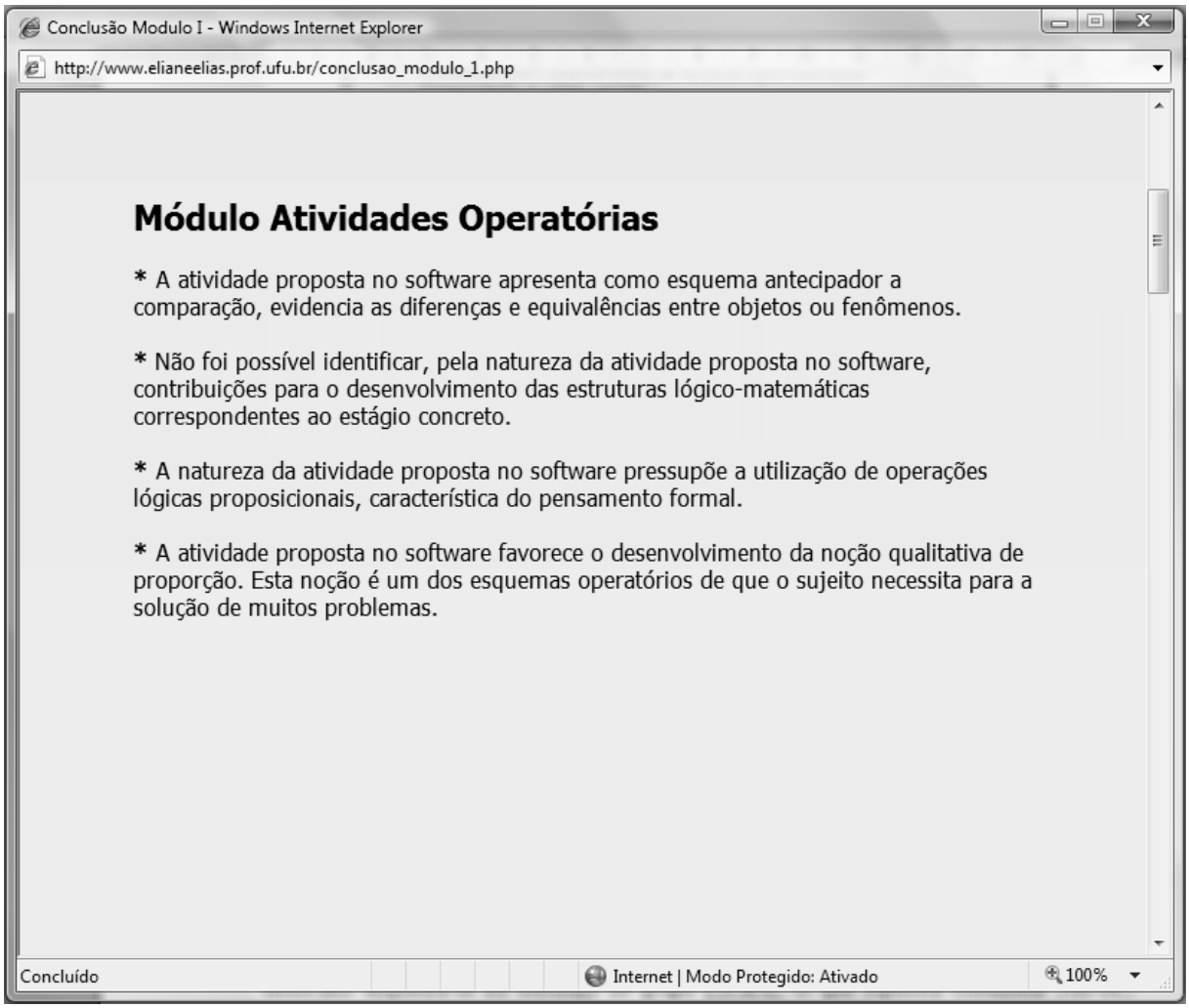

Figura 44 - Ferramenta B: laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa.

Em relação aos recursos para a interação do usuário, foram respondidas afirmativamente as questões 42 e 45 – "Existem recursos para que o aluno manipule os objetos e realize experimentos / simulações?"; "Existem recursos para que o aluno realize efetivamente os diferentes caminhos imaginados / deduzidos para uma possível solução da atividade proposta?" (Figura 45). As simulações e/ou experimentos ocorrem por meio de inserções de objetos na foto. Existem recursos para a inserção de mais de um objeto na foto, cada um dos objetos inseridos representa um caminho para a possível solução da atividade proposta.

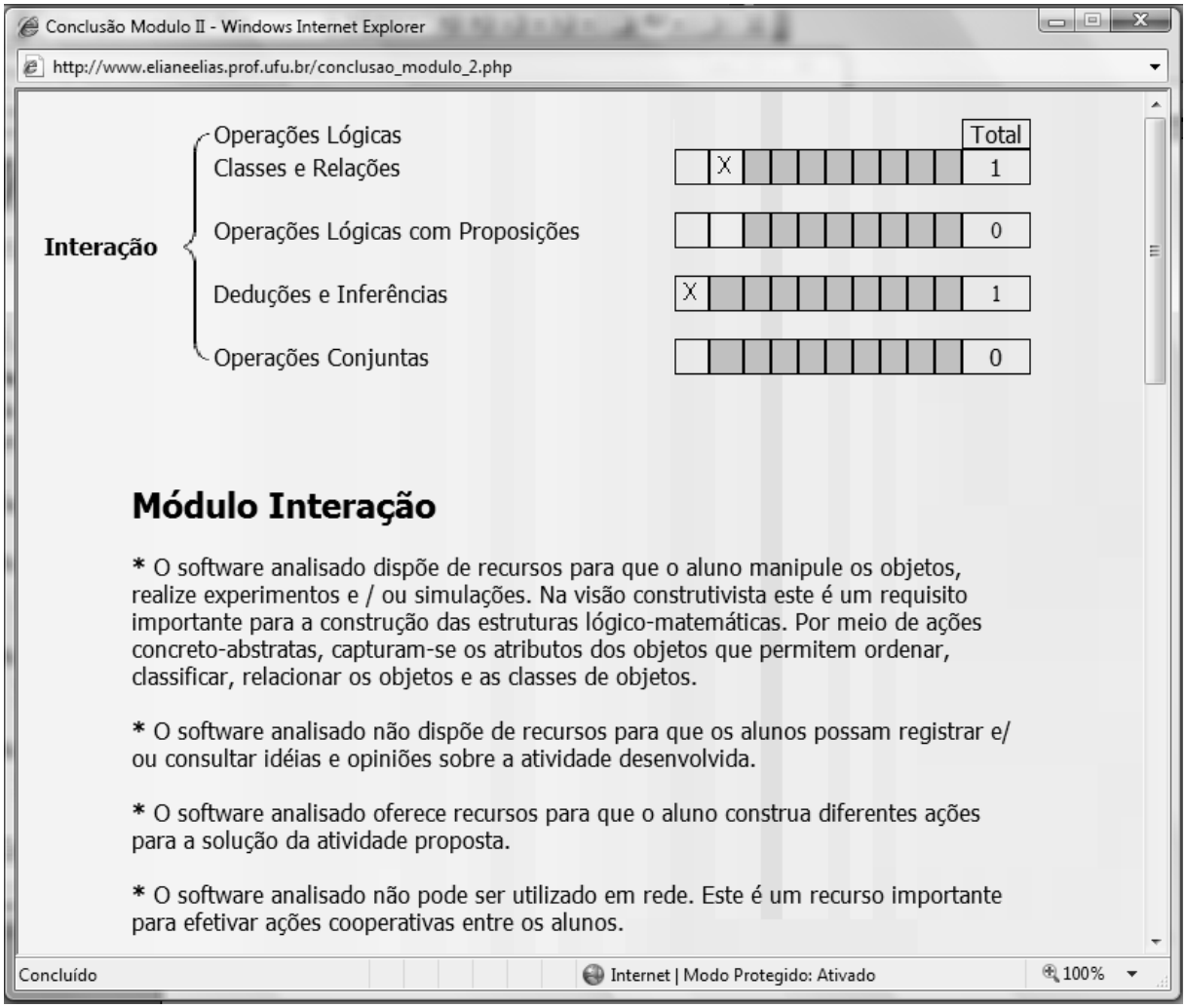

Figura 45 - Ferramenta B: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação.
Fonte: dados da pesquisa.

Na investigação sobre aspectos da atividade cooperativa (Figura 46) as questões 47 e 53 receberam resposta afirmativa – "A atividade pressupõe que as experiências e observações sejam realizadas pelos alunos apenas individualmente?"; "A atividade permite que o aluno escolha caminhos diferenciados para a resolução dos problemas?". De fato, a organização didática da ferramenta B prevê a inserção de mais de um objeto na foto. Cada um dos objetos inseridos representa um caminho para a possível solução da atividade proposta, qual seja calcular a altura do Colosso de Rodes. Os diferentes caminhos para a solução do problema estão associados com a aceitação da idéia de que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado. Este é uma etapa importante para a atividade cooperativa no sentido da coordenação de idéias e sentimentos.

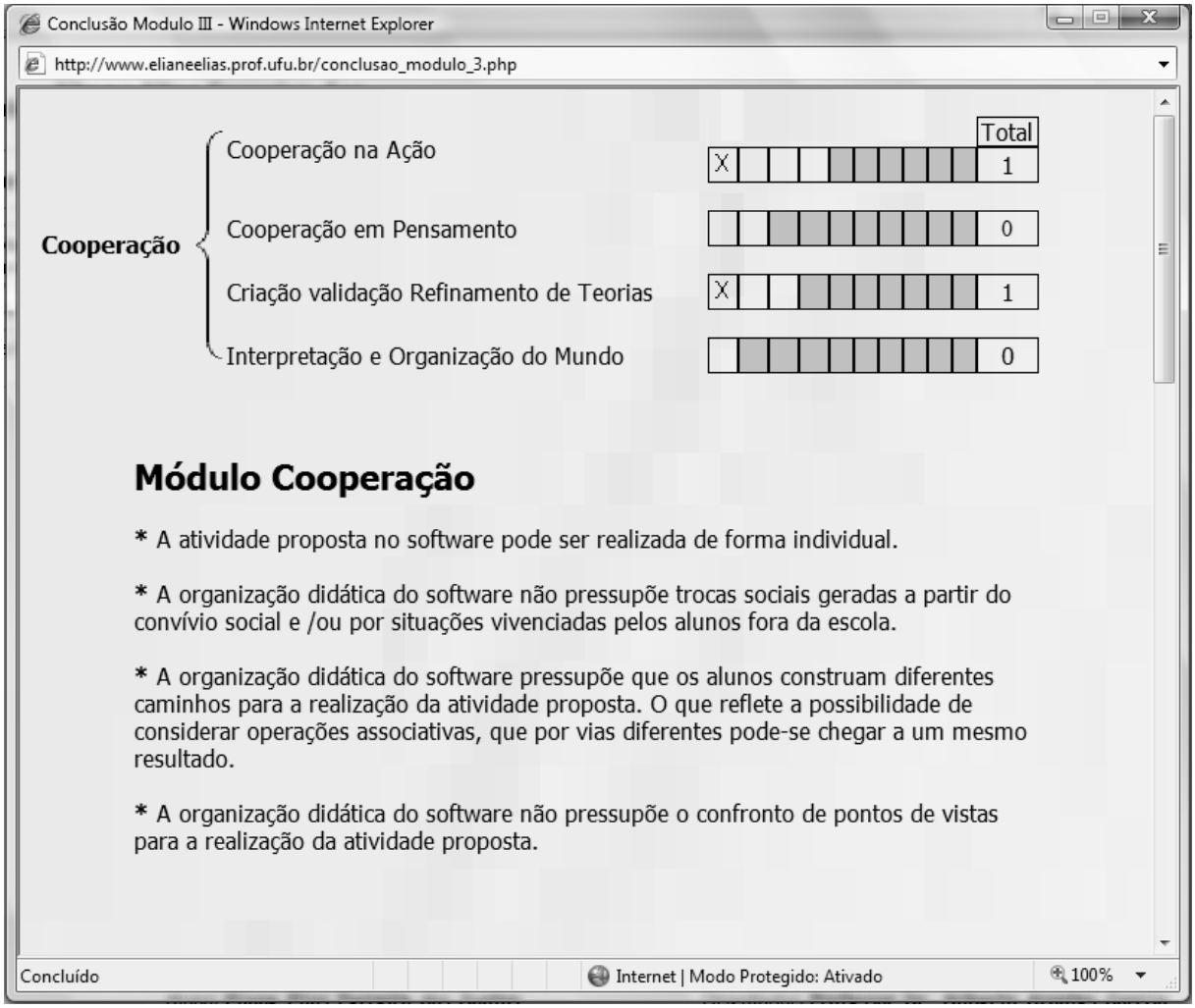

Figura 46 - Ferramenta B: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação.
Fonte: dados da pesquisa.

7.1.2.1 - Ferramenta B – opção "Conclusão Geral"

Na Ferramenta B, embora apenas sete das 56 questões propostas no *checklist* tenha recebido resposta afirmativa (Figura 47), a presença dos parâmetros correspondentes a estas questões são suficientes para desencadear as informações contidas na Figura 48.

Existe um sincronismo entre o aparecimento dos esquemas formais (a noção de proporção) e as operações combinatórias (INHELDER e PIAGET, 1976). O raciocínio por meio de operações lógicas com proposições enquadra-se na estrutura de grupo I.N.R.C. Nesta estrutura, a reversibilidade ocorre pela coordenação entre inversão/negação e reciprocidade (Figura 47). A dissociação completa dos fatores surge como uma necessidade de coordenar entre si os resultados sempre mais complexos das operações concretas (classificação e correspondência) (Figura 47). Pela dissociação dos fatores chega-se à combinatória (Figura 48). As ações mentais são as mais importantes para a execução da tarefa proposta na

ferramenta B. Entretanto, não se prescinde das ações concretas (concreto-abstratas), responsáveis pela simulação, experimentação e captura de atributos dos objetos. Das ações mentais decorre o pensamento proposicional, cujo raciocínio consiste no cálculo operatório $(\vee, \cdot, =, N)$ efetuado com as proposições. E são essas operações que permitem que se façam deduções e inferências (Figura 47). Os diferentes caminhos imaginados para a solução do problema conduzem à idéia de que por vias diferentes se pode chegar à mesma conclusão. Esta noção favorece a realização de operações conjuntas com proposições num movimento que permite coordenar idéias e sentimentos, bem como a criar, validar e refinar teorias (Figura 47).

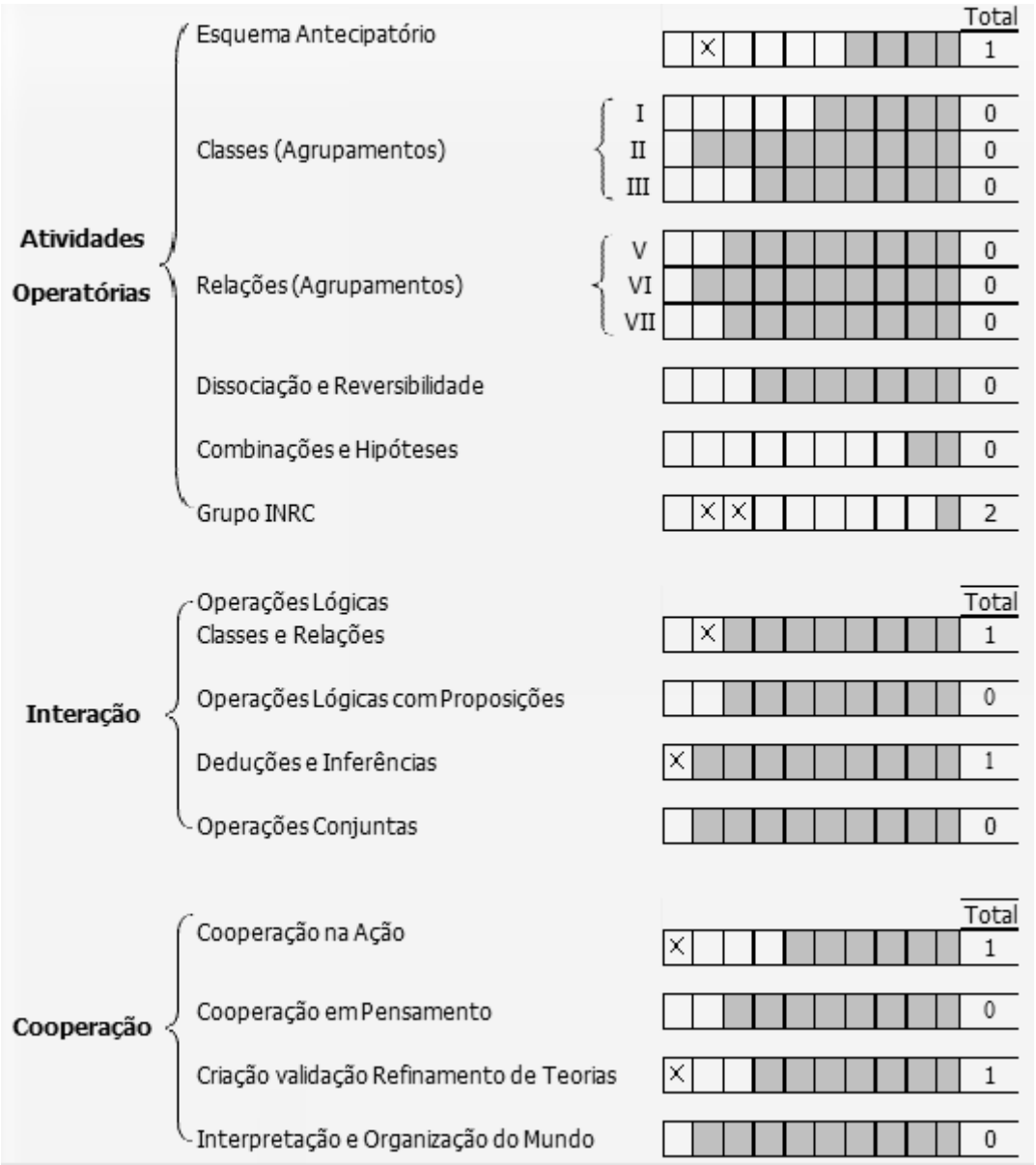

Figura 47 – Rede sistêmica da conclusão geral da Ferramenta B.
Fonte: dados da pesquisa.

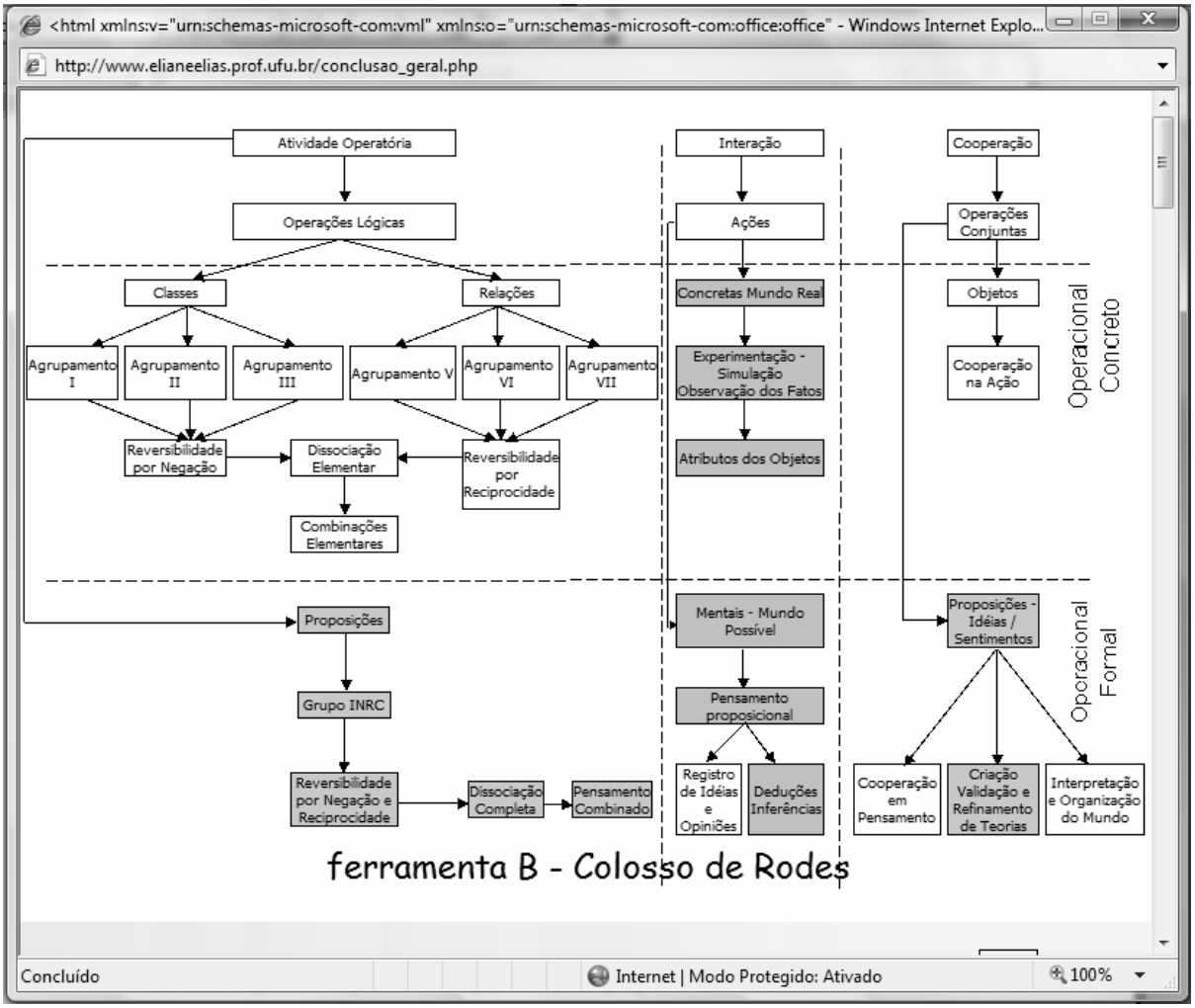

Figura 48 – Organizador gráfico da conclusão geral da Ferramenta B.
Fonte: dados da pesquisa.

A título de conclusão, o *Web*-ECoTEC emite um laudo de caracterização da ferramenta B (Figura 49). Este laudo é um resumo do que já foi concluído em cada um dos módulos separadamente.

Conclusão Geral

* A atividade proposta no software corresponde a um dos esquemas operatórios (operações combinatórias, proporções, coordenação de dois sistemas de referência, equilíbrio mecânico, probabilidade, correlação, compensações multiplicativas, conservação do movimento retilíneo uniforme), isto é, uma das noções que o sujeito pode construir a partir do nível formal e que se manifesta por intermédio das operações proposicionais.

* O software analisado dispõe de recursos para que o aluno manipule os objetos, realize experimentos e / ou simulações. Na visão construtivista este é um requisito importante para a construção das estruturas lógico-matemáticas. Por meio de ações concreto-abstratas, capturam-se os atributos dos objetos que permitem ordenar, classificar, relacionar os objetos e as classes de objetos.

* O software analisado não dispõe de recursos para que os alunos possam registrar e/ ou consultar idéias e opiniões sobre a atividade desenvolvida.

* O software analisado oferece recursos para que o aluno construa diferentes ações para a solução da atividade proposta.

* O software analisado não pode ser utilizado em rede. Este é um recurso importante para efetivar ações cooperativas entre os alunos.

* A organização didática do software não pressupõe trocas sociais geradas a partir do convívio social e /ou por situações vivenciadas pelos alunos fora da escola.

* A organização didática do software pressupõe que os alunos construam diferentes caminhos para a realização da atividade proposta. O que reflete a possibilidade de considerar operações associativas, que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado.

* Não foi possível observar se os alunos sabem justificar criteriosamente as operações que executam ao realizarem a tarefa.

Figura 49 – Laudo de caracterização da conclusão geral da Ferramenta B.
Fonte: dados da pesquisa.

7.1.3 - Ferramenta C

A atividade proposta na Ferramenta C é dividida em três níveis de dificuldade. No primeiro, dados duas caras e três chapéus, pede que se façam todas as combinações possíveis com uma cara e um chapéu. No segundo nível, dados duas caras, três chapéus e dois óculos, pede que se façam todas as combinações possíveis com uma cara, um chapéu e um óculos. No terceiro, dados duas caras, três chapéus, dois óculos e dois bigodes, pede que se façam todas as combinações possíveis com uma cara, um chapéu, um óculos e um bigode.

As Figuras 50 e 51 correspondem à caracterização da Ferramenta C, quando submetida ao *Web*-ECoTEC, no módulo Atividades Operatórias.

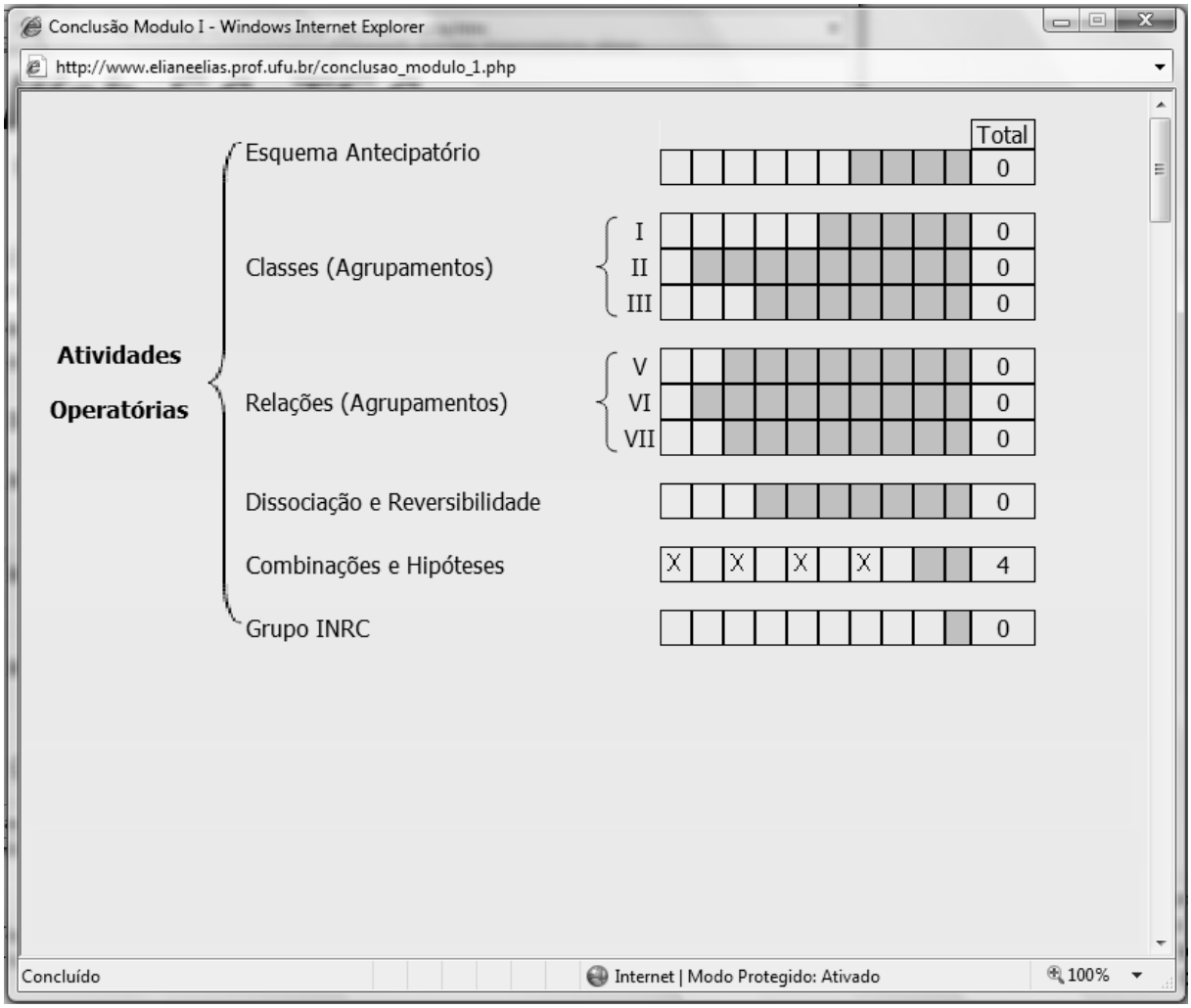

Figura 50 - Ferramenta C: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa.

Nenhuma das respostas às seis questões para avaliação do esquema antecipador foi afirmativa. Isto significa que não se pode, em princípio, estabelecer um plano de ação para a solução da tarefa proposta. Esse plano vai sendo construído a partir das ações do aluno. De fato, a atividade proposta na Ferramenta C refere-se diretamente às combinações, isto é, aos elementos ou fatores que necessariamente devem ser combinados para obter o resultado. Assim sendo, a combinação é uma operação nova e não apresenta esquema antecipatório que permita um planejamento coordenado de ações para a execução da tarefa.

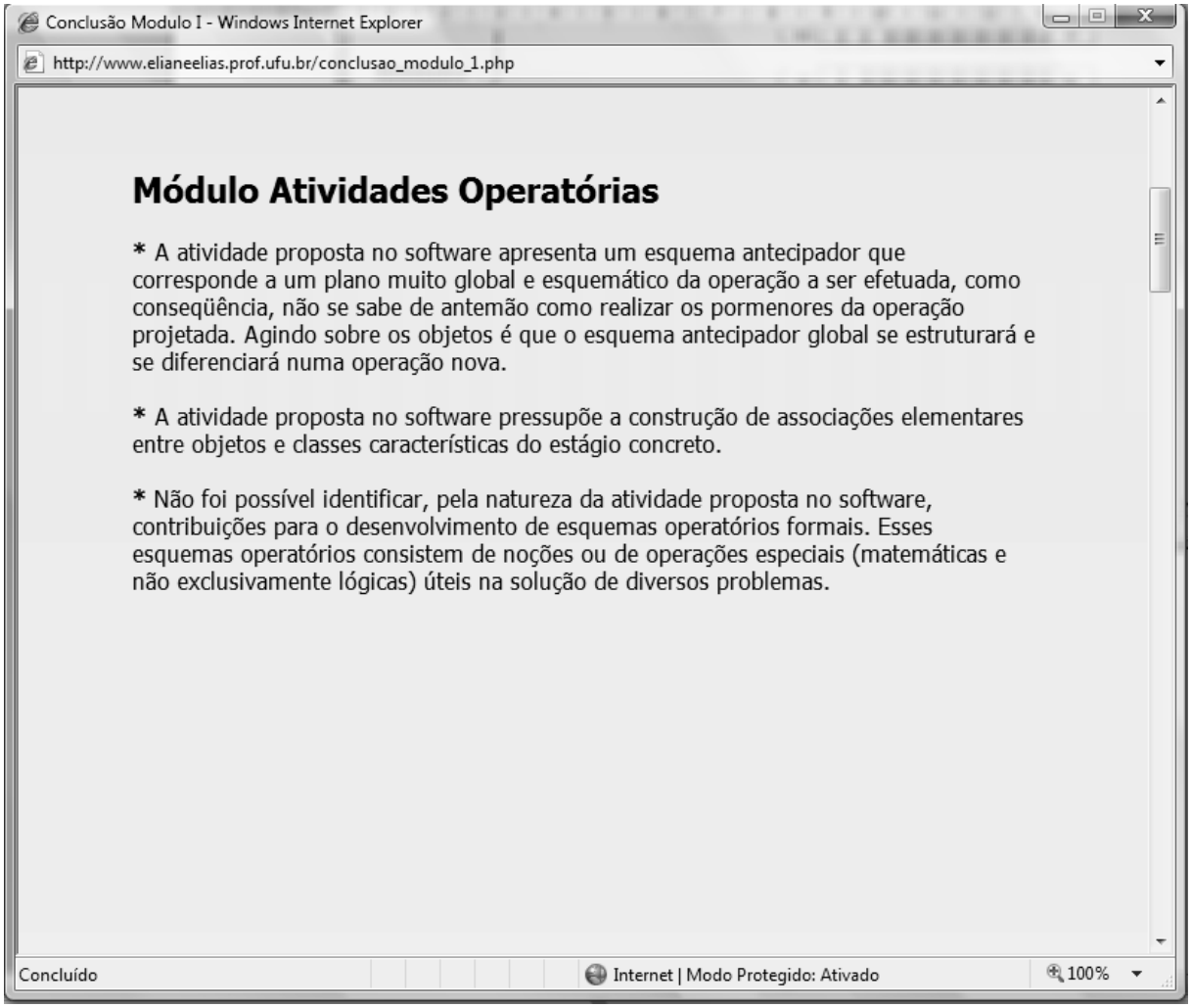

Figura 51 - Ferramenta C: laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa.

As respostas às questões 24, 26, 28 e 30 - "A atividade pressupõe que o aluno, por meio de situações reais, associe fatores (variáveis, propriedades, acontecimentos), combine objetos (partes dos objetos ou atributos entre si) por meio de comparações 2 a 2 e/ou 3 a 3?"; "Na atividade existem instruções explícitas para instigar o aluno a realizar as combinações com os objetos, partes dos objetos ou atributos?"; "É possível observar que as tentativas feitas, pelos alunos para combinar objetos, partes dos objetos ou atributos, buscando (o equilíbrio) a solução do problema proposto no software, são baseadas na simples tentativa e erro?"; "A atividade pressupõe que o aluno, ao fazer as combinações com objetos, partes dos objetos ou atributos, se refira aos objetos enquanto simples unidades?" foram afirmativas. De fato, na ferramenta C as necessidades da experiência proposta conduzem à elaboração de uma combinatória empírica baseada em tentativas e erros. As combinações assim construídas mostram-se independentes com relação à lógica das proposições. Estas combinações,

chamadas de elementares, estão associadas às multiplicações lógicas formadas por matrizes/tabelas de dupla entrada, características do estágio concreto. Em cada entrada são colocados os elementos a serem combinados, como por exemplo, cara1 (C1), cara2 (C2), chapéu1 (Ch1), chapéu2 (Ch2), chapéu3 (Ch3), na atividade proposta no nível 1 da ferramenta C (Tabela 1).

Tabela 13 – Combinações possíveis com uma cara e um chapéu.

	C1	C2	Ch1	Ch2	Ch3
C1	C1C1	C1C2	C1Ch1	C1Ch2	C1Ch3
C2	C1C2	C2C2	C2Ch1	C2Ch2	C2Ch3
Ch1	C1Ch1	C2Ch1	Ch1Ch1	Ch1Ch2	Ch1Ch3
Ch2	C1Ch2	C2Ch2	Ch1Ch1	Ch1Ch2	Ch1Ch3
Ch3	C1Ch1	C2Ch3	Ch1Ch3	Ch2Ch3	Ch3Ch3

Na tabela assim formada excluem-se os elementos repetidos e também os elementos que não atendem ao objetivo da tarefa, qual seja formar todas as combinações possíveis com **uma cara e um chapéu**.

Se ao concluir a atividade o aluno não consegue realizar todas as combinações possíveis, ou repete algumas combinações é exibida uma mensagem de erro que atua como uma instrução explícita para que ele retorne à atividade, retire as combinações repetidas (as coloque no lixo) e tente novas combinações até concluir a tarefa com êxito.

Acredita-se que no nível três da tarefa, o aluno já consiga (depois de passar pelos níveis um e dois) fazer as combinações de forma mais sistemática e espontânea, mas ainda baseadas nos objetos concretos.

A resposta à questão 42 – "Existem recursos para que o aluno manipule os objetos e realize experimentos / simulações?" foi afirmativa. De fato, na ferramenta C os recursos para a realização de experimentações e simulações são disponibilizados por meio do mouse. Deve-se clicar e arrastar os elementos (caras, chapéus, óculos e bigode) que se deseja combinar para a área de trabalho. Na ferramenta C também são disponibilizados recursos para que o aluno realize efetivamente os diferentes caminhos para a solução da tarefa. Esta investigação é feita na questão 45 - "Existem recursos para que o aluno realize efetivamente os diferentes caminhos imaginados / deduzidos para uma possível solução da atividade proposta?". Estas

duas questões apresentaram a caracterização da ferramenta C (Figura 52) segundo o *Web*-ECoTEC no módulo Interação.

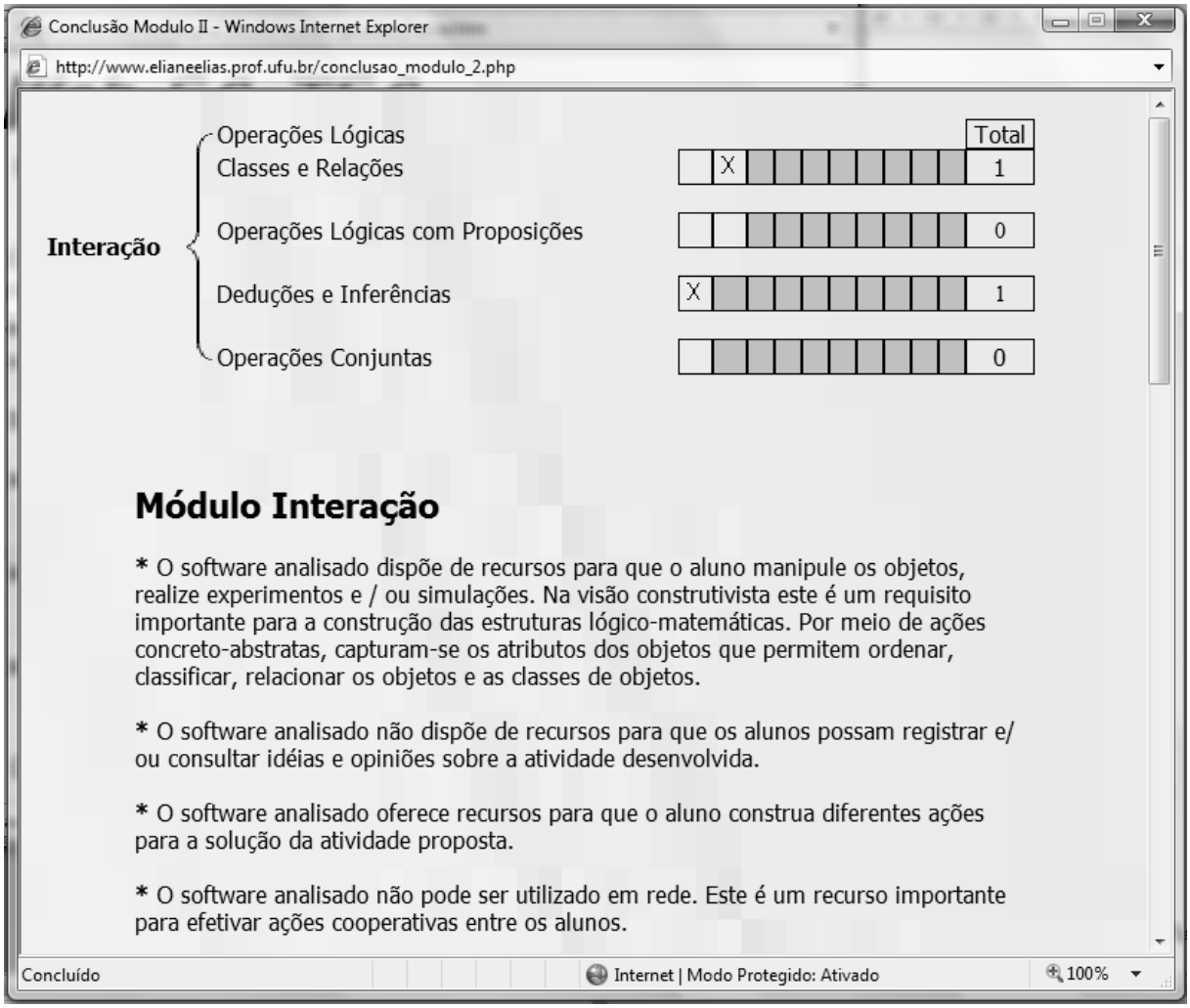

Figura 52 - Ferramenta C: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação.
Fonte: dados da pesquisa.

A figura 53 corresponde à caracterização da Ferramenta C, quando submetida ao *Web*-ECoTEC, módulo Cooperação. As questões 47 e 53 receberam resposta afirmativa – "A atividade pressupõe que as experiências e observações sejam realizadas pelos alunos apenas individualmente?"; "A atividade permite que o aluno escolha caminhos diferenciados para a resolução dos problemas?". Uma vez posicionados na área de trabalho pode-se retirar qualquer elemento. Com o mouse clica-se e arrastam-se os elementos para o lixo. Ao retirar os elementos da área de trabalho o aluno pode construir diferentes ações para a solução da atividade proposta. Os diferentes caminhos para a solução do problema estão associados com a aceitação da idéia de que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado. Esta é

uma etapa importante para a atividade cooperativa no sentido da coordenação de idéias e sentimentos.

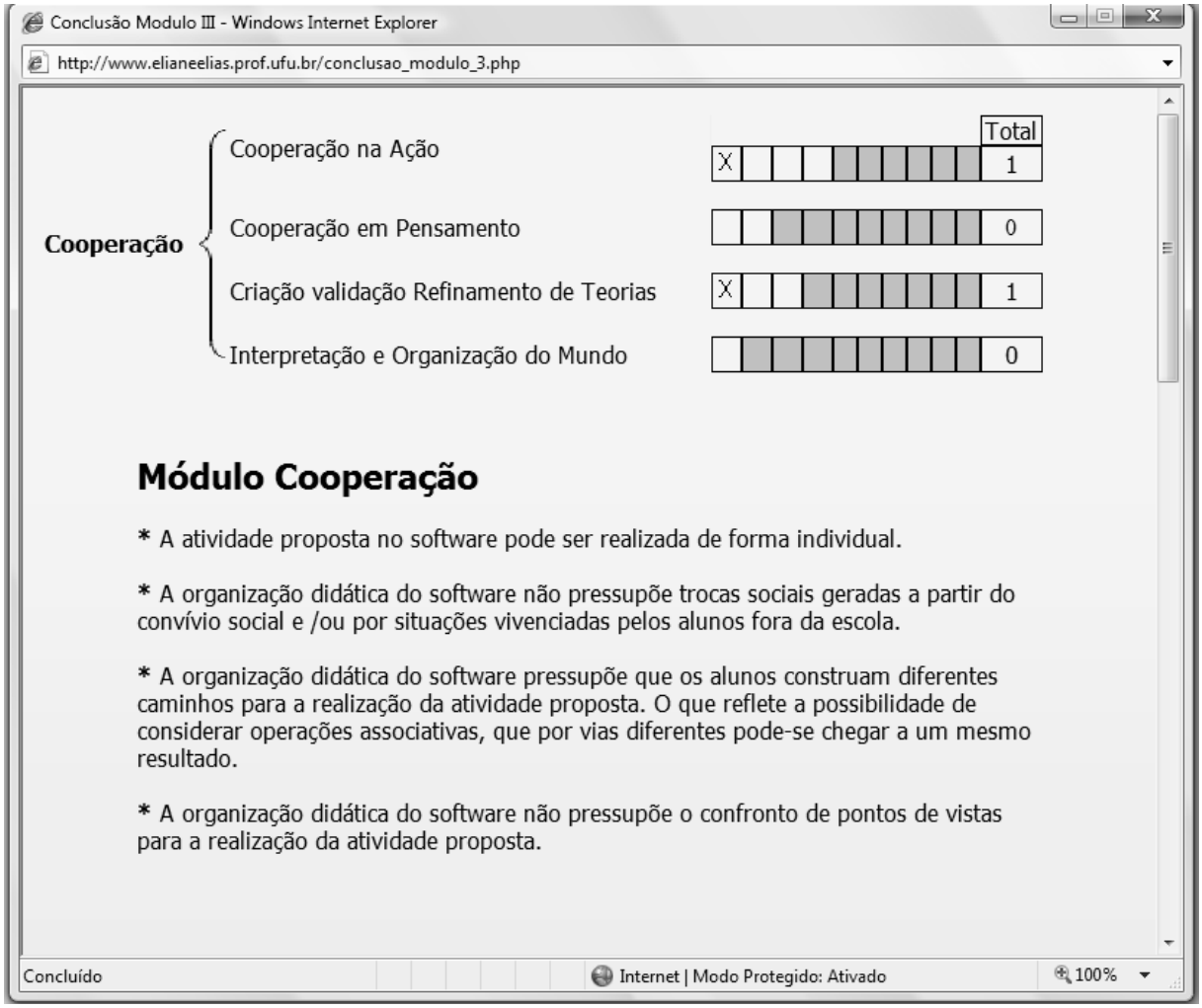

Figura 53 - Ferramenta C: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação.
Fonte: dados da pesquisa.

7.1.3.1 - Ferramenta C – opção "Conclusão Geral"

Oito das 56 questões propostas no *checklist* tiveram resposta afirmativa (Figura 54). Os parâmetros que estão presentes na Fferramenta C correspondem às informações destacadas na Figura 55.

As combinações elementares realizadas com os objetos disponibilizados na ferramenta C constituem um simples método de ação e não um conhecimento refletido e que possa ser explicitado (Figura 55). As ações concretas (concreto-abstratas) são as mais importantes para a execução da tarefa proposta. Busca-se a conclusão da atividade por meio de simulações,

experimentos e observações (Figura 55). O pensamento proposicional decorre das ações mentais adquiridas por meio da aceitação dos diferentes caminhos para a solução da tarefa. As ações mentais realizadas com proposições são também responsáveis pelas deduções e inferências e pela criação, validação e refinamento de teorias (Figura 55).

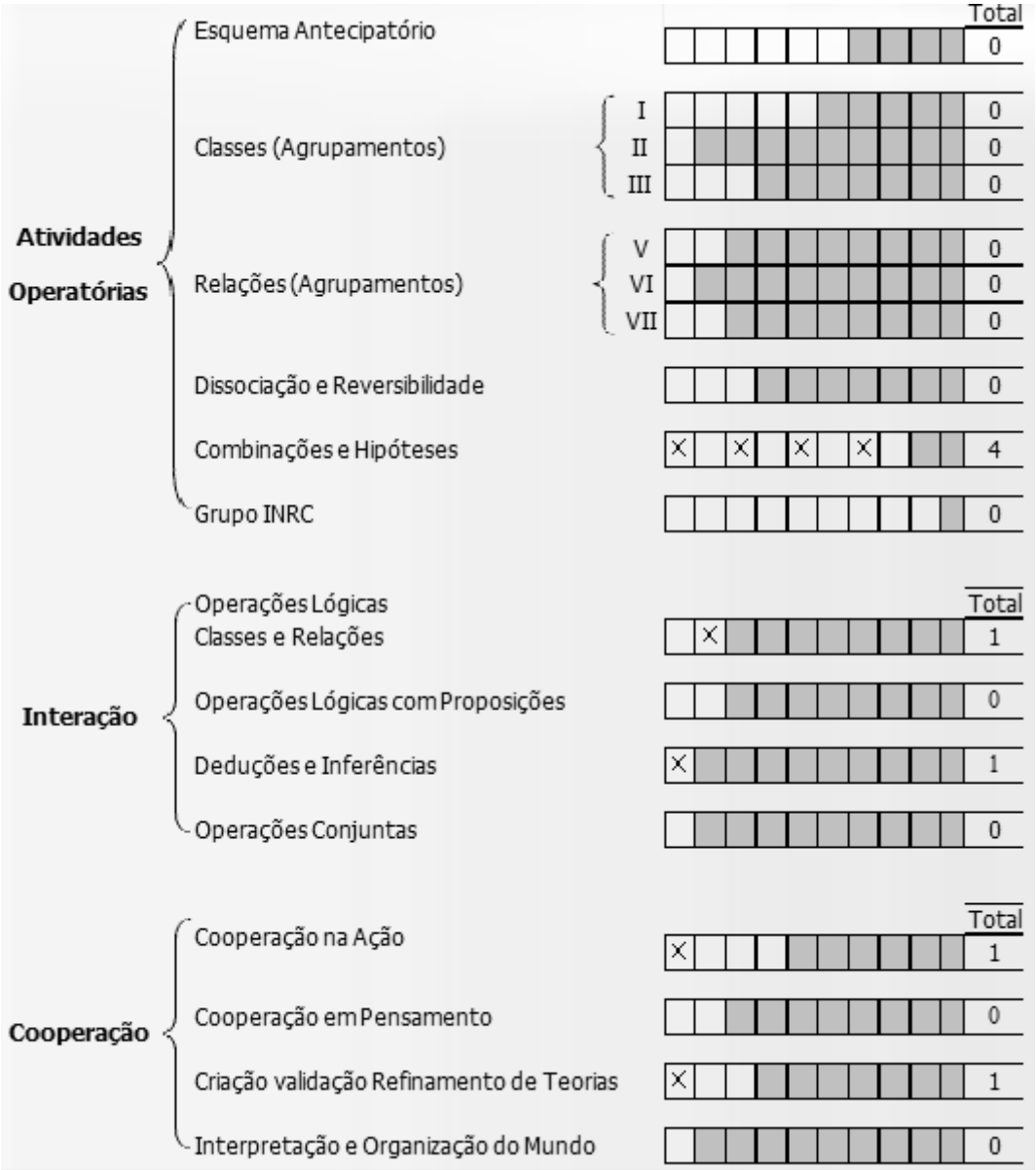

Figura 54 – Rede sistêmica da conclusão geral da Ferramenta C.
Fonte: dados da pesquisa.

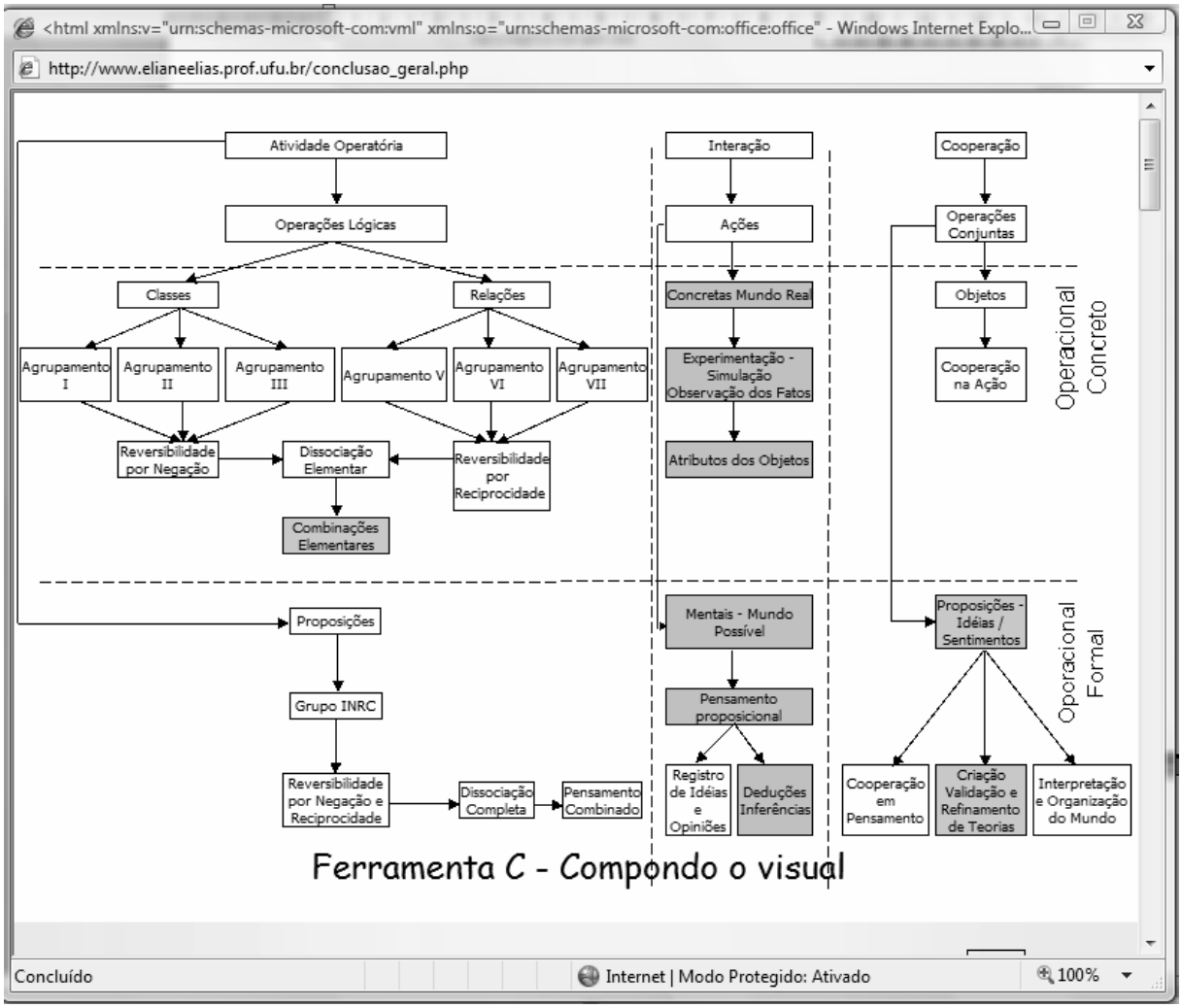

Figura 55 – Organizador gráfico da conclusão geral da Ferramenta C.
Fonte: dados da pesquisa.

A título de conclusão, o *Web*-ECoTEC emite um laudo de caracterização da Ferramenta C (Figura 56). Este laudo é uma síntese do que já foi concluído em cada um dos módulos separadamente.

Conclusão Geral

* A atividade proposta no software apresenta um esquema antecipador que corresponde a um plano muito global e esquemático da operação a ser efetuada, como conseqüência, não se sabe de antemão como realizar os pormenores da operação projetada. No decorrer da atividade, agindo sobre os objetos é que o esquema antecipador global se estruturará e se diferenciará numa operação nova.

* A atividade proposta no software pressupõe a construção de associações elementares entre objetos e classes características do estágio concreto.

* O software analisado dispõe de recursos para que o aluno manipule os objetos, realize experimentos e / ou simulações. Na visão construtivista este é um requisito importante para a construção das estruturas lógico-matemáticas. Por meio de ações concreto-abstratas, capturam-se os atributos dos objetos que permitem ordenar, classificar, relacionar os objetos e as classes de objetos.

* O software analisado não dispõe de recursos para que os alunos possam registrar e/ ou consultar idéias e opiniões sobre a atividade desenvolvida.

* O software analisado oferece recursos para que o aluno construa diferentes ações para a solução da atividade proposta.

* O software analisado não pode ser utilizado em rede. Este é um recurso importante para efetivar ações cooperativas entre os alunos.

* A organização didática do software não pressupõe trocas sociais geradas a partir do convívio social e /ou por situações vivenciadas pelos alunos fora da escola.

* A organização didática do software pressupõe que os alunos construam diferentes caminhos para a realização da atividade proposta. O que reflete a possibilidade de considerar operações associativas, que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado.

* Não foi possível observar se os alunos sabem justificar criteriosamente as operações que executam ao realizarem a tarefa.

Figura 56 – Laudo de caracterização da conclusão geral da Ferramenta C.
Fonte: dados da pesquisa.

7.1.4 - Ferramenta D

A atividade proposta na ferramenta D envolve a construção de conceitos algébricos. Ao aluno são apresentados objetos com “pesos” diferentes. Esses objetos devem ser colocados em ordem crescente ou decrescente de “peso”. Por meio de uma balança de dois pratos o

aluno faz comparações entre eles e os coloca em ordem crescente ou decrescente, conforme seleção feita anteriormente. A atividade é proposta em cinco níveis de dificuldade. Nos níveis de 1 a 4, o aluno deve colocar em ordem (crescente ou decrescente) respectivamente três, quatro, cinco e seis pesos com a mesma forma e aparência. No nível cinco ordenam-se seis pesos com formas diferentes.

As Figuras 57 e 58 correspondem à caracterização da Ferramenta D, quando submetida ao *Web*-ECoTEC, no módulo Atividades Operatórias.

A resposta afirmativa à questão 2 - "A atividade proposta permite colocar em evidência diferenças e equivalências entre os objetos (grande, pesado, longe, etc.)?" permite identificar a comparação como esquema antecipador da atividade. Para fazer a atividade proposta na ferramenta D o aluno deve comparar (dois a dois) os "pesos" dos objetos.

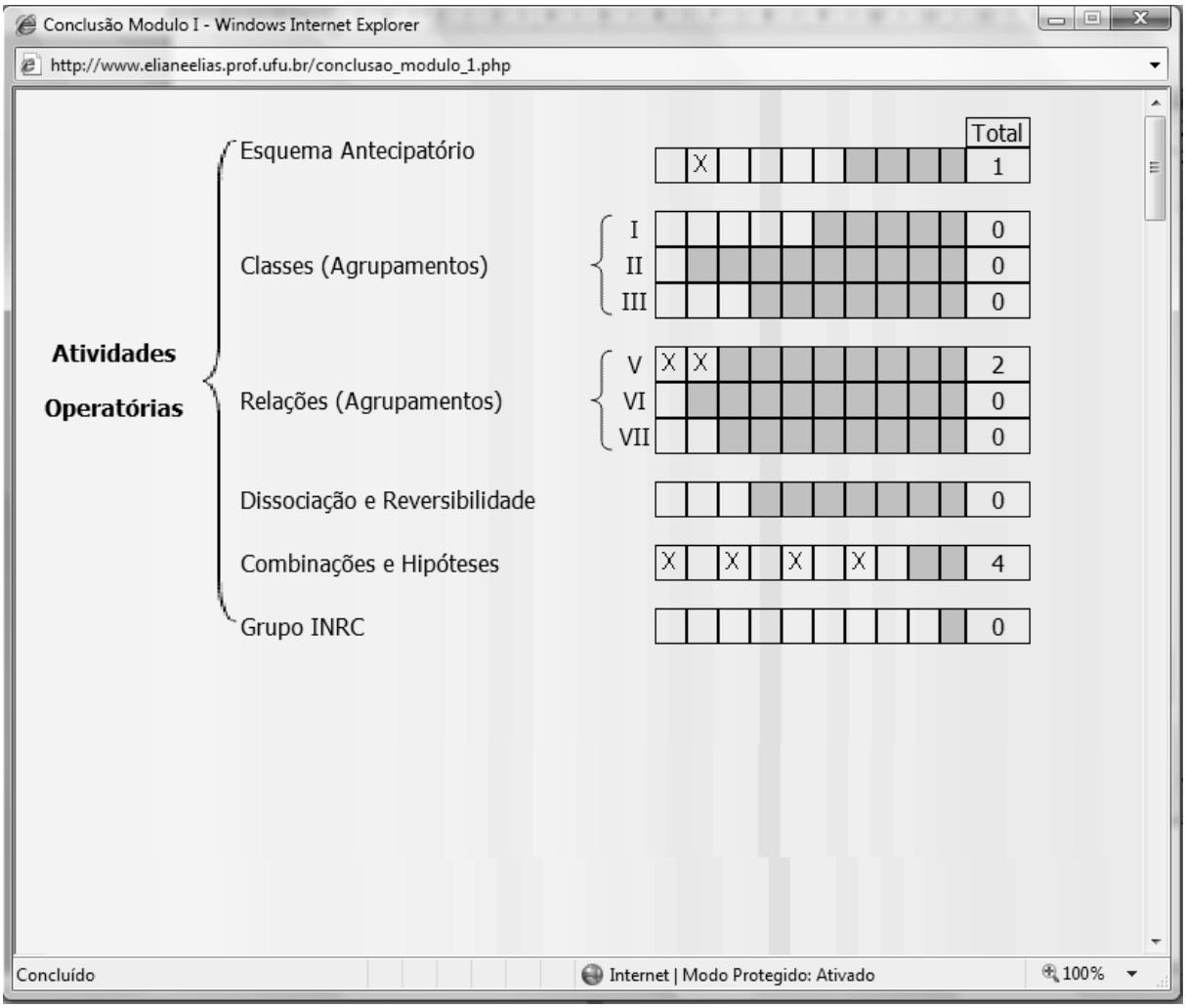

Figura 57 - Ferramenta D: rede sistêmica no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa.

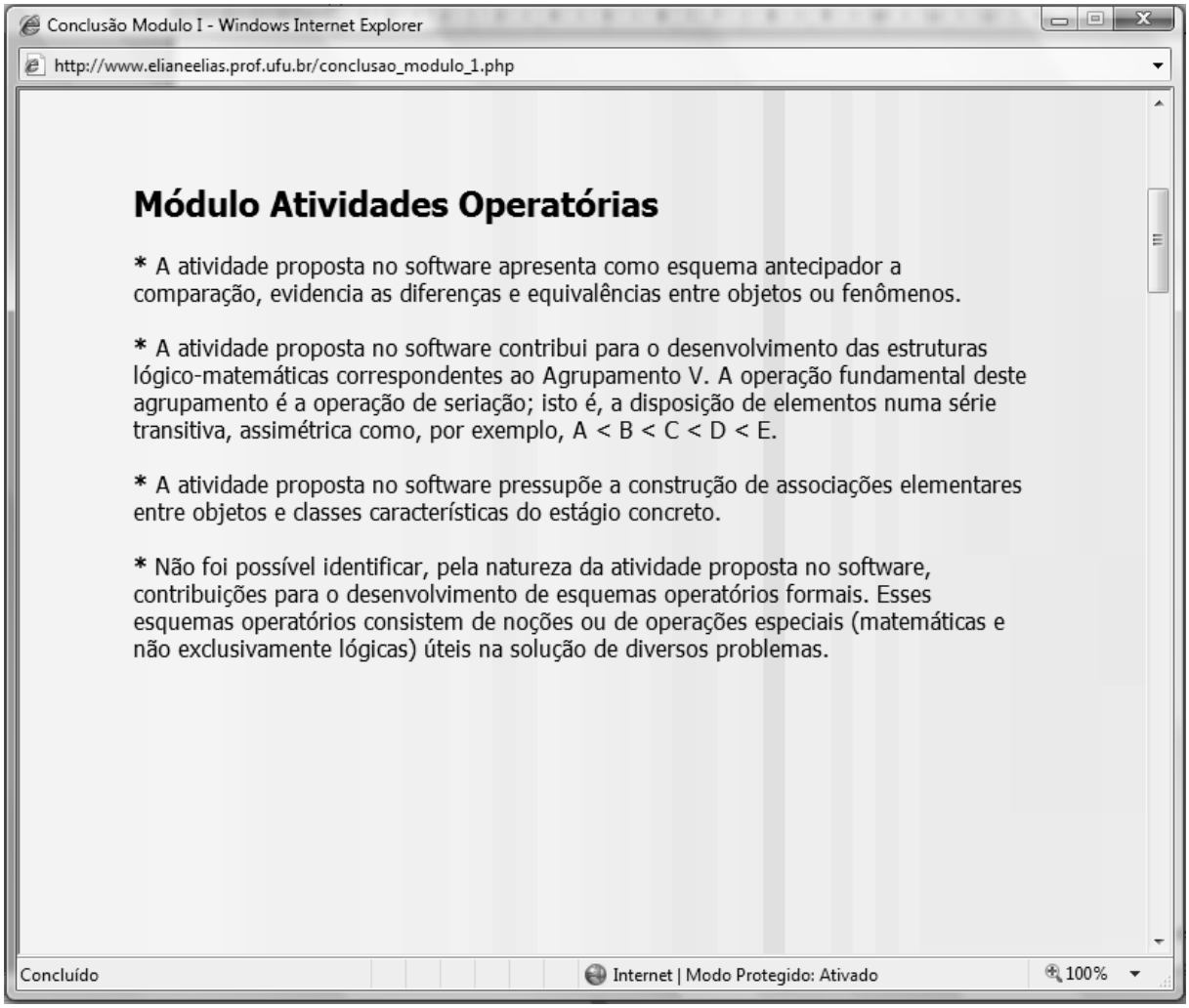

Figura 58 - Ferramenta D: laudo de caracterização no módulo Atividades Operatórias.
Fonte: dados da pesquisa.

A resposta afirmativa atribuída às questões 16 e 17 – "A atividade pressupõe que o aluno relacione três ou mais objetos (ou classes de objetos) de forma a colocá-los em ordem crescente ou decrescente de tamanho, peso, volume etc.?"; "A atividade pressupõe a inserção de um novo objeto (ou classe) numa seqüência ordenada (crescente ou decrescente)?"- revelam que a atividade proposta na Ferramenta D relaciona-se com a estrutura cognitiva correspondente ao Agrupamento V. Ordenar um conjunto de objetos segundo seus "pesos", com a restrição de poder comparar apenas dois objetos de cada vez, demonstra a capacidade de a criança perceber que cada elemento numa série assimétrica deve ser concebido simultaneamente em termos de uma operação relacional direta (<) e inversa (>). Segundo esta idéia, o elemento B deve ser maior do que A e menor do que C para ser inserido entre eles na série. Considerando a reversibilidade que, segundo Piaget *apud* Flavell (1975), é inerente aos sistemas de relações assimétricas, a criança torna-se apta a concluir, por exemplo, que A < C

a partir de A < B e B < C. É assim que na atividade proposta na Ferramenta D, a criança consegue ordenar (crescente ou decrescente) os objetos segundo seus "pesos".

As respostas às questões 24, 26, 28 e 30 foram afirmativas - "A atividade pressupõe que o aluno, por meio de situações reais, associe fatores (variáveis, propriedades, acontecimentos), combine objetos (partes dos objetos ou atributos entre si) por meio de comparações 2 a 2 e/ou 3 a 3?"; "Na atividade existem instruções explícitas para instigar o aluno a realizar as combinações com os objetos, partes dos objetos ou atributos?"; "É possível observar que as tentativas feitas, pelos alunos para combinar objetos, partes dos objetos ou atributos, buscando (o equilíbrio) a solução do problema proposto no software, são baseadas na simples tentativa e erro?"; "A atividade pressupõe que o aluno, ao fazer as combinações com objetos, partes dos objetos ou atributos, se refira às qualidades dos objetos?". De fato, na Ferramenta D, por meio da balança de dois pratos, a criança estabelece a comparação entre os "pesos" dos objetos, 2 a 2. Estas comparações são realizadas por tentativa. Existem instruções explícitas para que se realizem as comparações. Além disso, o próprio sistema rejeita a colocação de mais de um "peso" (objeto) em cada prato da balança.

A resposta à questão 42 – "Existem recursos para que o aluno manipule os objetos e realize experimentos / simulações?" foi afirmativa. Na Ferramenta D os recursos para a realização de experimentações e simulações são disponibilizados por meio do mouse. Deve-se clicar e arrastar os objetos para os pratos da balança. Da mesma forma, esses objetos podem também ser retirados da balança. É este procedimento que permite a comparação dos "pesos" 2 a 2. Não existe uma ordem pré-determinada para que se faça a comparação dos "pesos". Cada comparação de dois objetos constitui um caminho efetivo na busca da solução da tarefa, ordenar os "pesos". E isso justifica a resposta afirmativa dada à questão 45 - "Existem recursos para que o aluno realize efetivamente os diferentes caminhos imaginados / deduzidos para uma possível solução da atividade proposta?". Estas duas questões apresentaram a caracterização da Ferramenta D (Figura 59) segundo o Web-ECoTEC no módulo Interação.

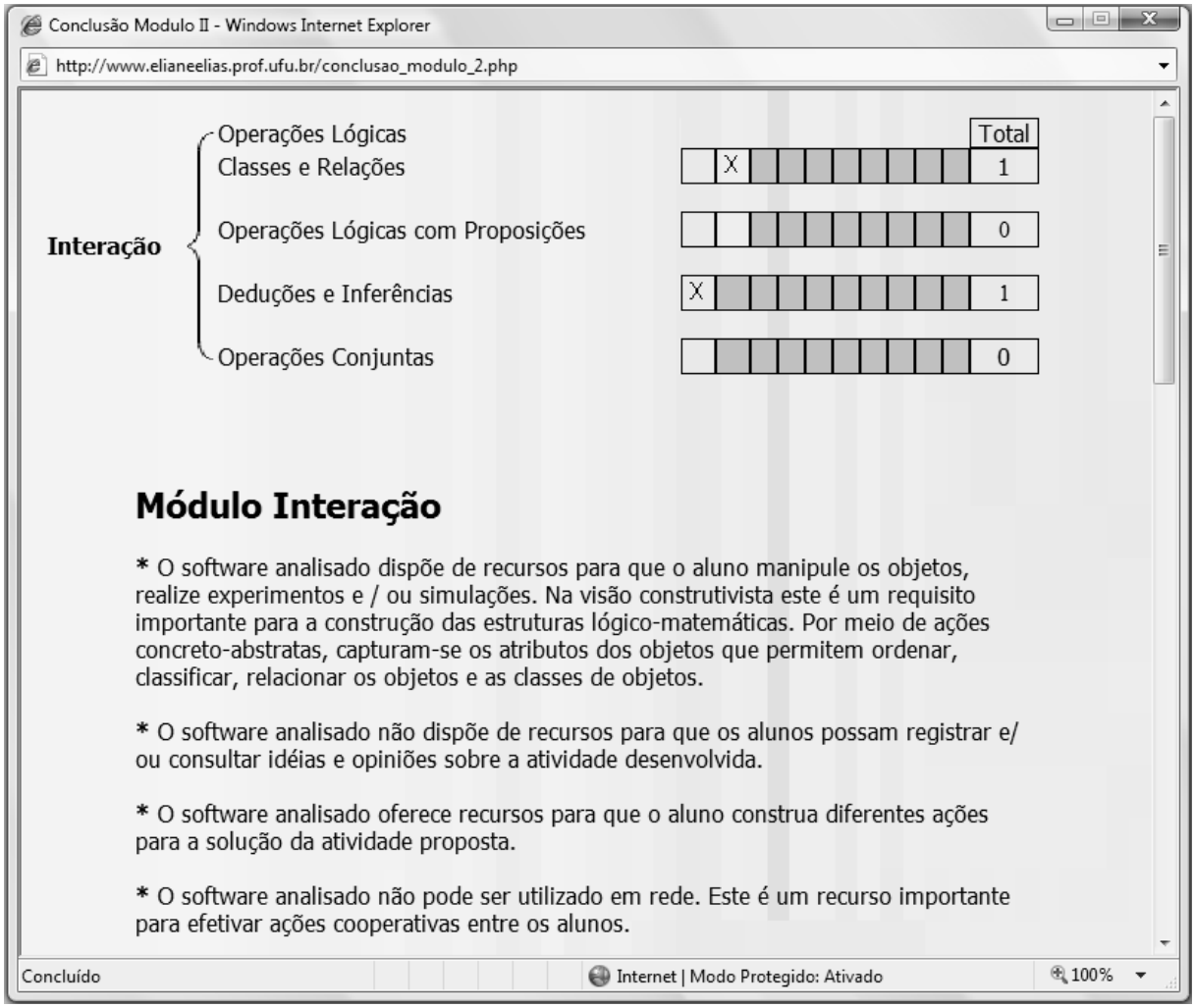

Figura 59 - Ferramenta D: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Interação.
Fonte: dados da pesquisa.

A Ferramenta D, quando submetida ao *Web*-ECoTEC, módulo Cooperação (Figura 60) recebeu resposta afirmativa nas questões 47 e 53 – "A atividade pressupõe que as experiências e observações sejam realizadas pelos alunos apenas individualmente?"; "A atividade permite que o aluno escolha caminhos diferenciados para a resolução dos problemas?". Os "pesos" podem ser colocados ou retirados da balança. A ordem em que são feitas as comparações não é determinada *a priori*. É o aluno-usuário quem escolhe quais os "pesos" que serão comparados. Assim, a cada comparação tem-se efetivamente um caminho diferente para a solução da tarefa proposta. Os diferentes caminhos para a solução do problema estão associados com a aceitação da idéia de que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado. Esta é uma etapa importante para a atividade cooperativa no sentido da coordenação de idéias e sentimentos.

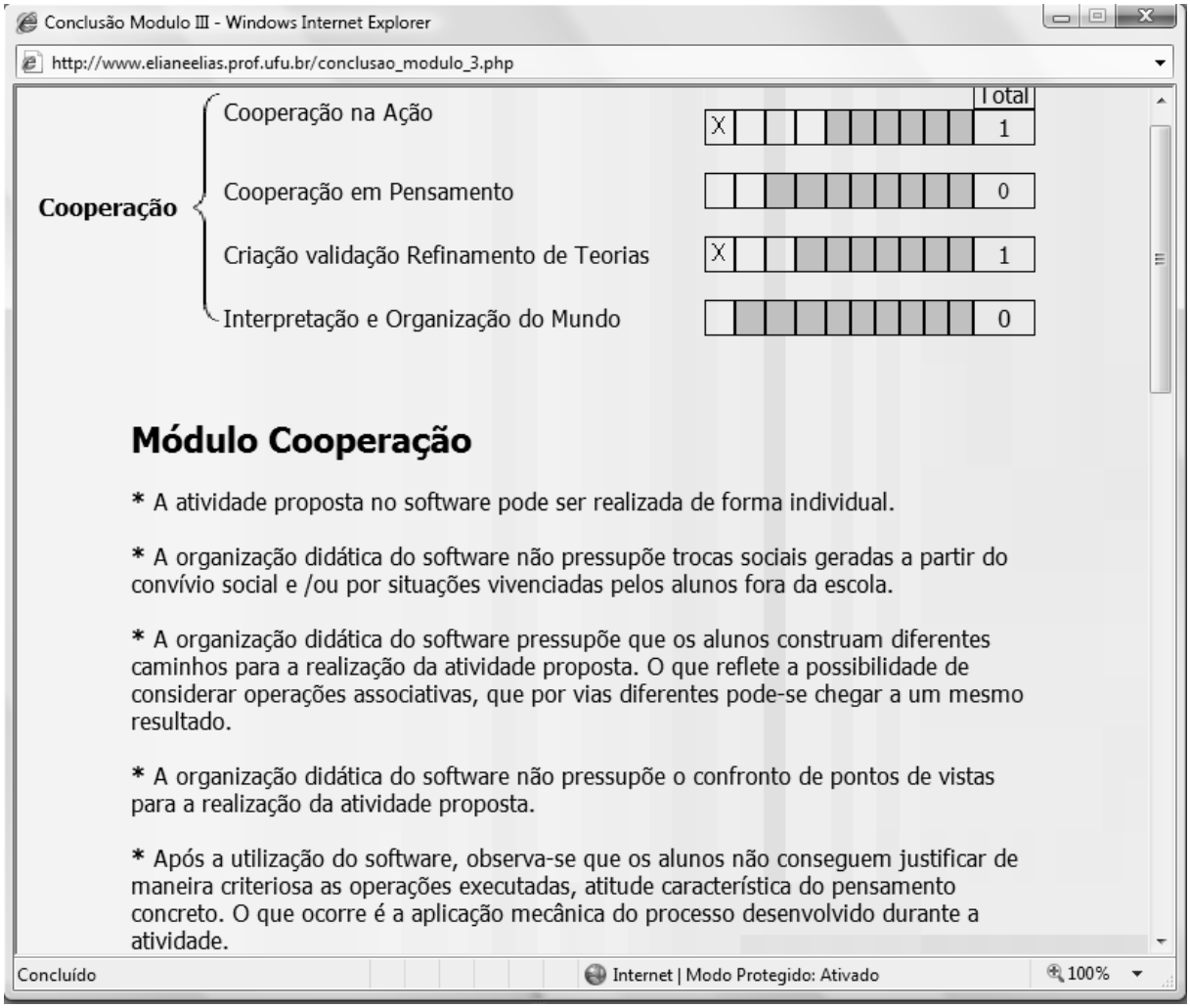

Figura 60 - Ferramenta D: rede sistêmica e laudo de caracterização no módulo Cooperação.
Fonte: dados da pesquisa.

7.1.4.1 - Ferramenta D – opção "Conclusão Geral"

Onze das 56 questões propostas no *checklist* foram respondidas afirmativamente (Figura 61). As partes coloridas no organizador gráfico (Figura 62) apresentam as informações obtidas por meio da confirmação destes 11 parâmetros na Ferramenta D.

Na atividade proposta na Ferramenta D realizam-se operações lógicas com relações correspondente ao Agrupamento V (Figura 62). Na teoria de Piaget todo estado de equilíbrio pode ser reconhecido por uma certa forma de reversibilidade (INHELDER e PIAGET, 1976). Na Ferramenta D o equilíbrio é representado pela ordenação dos "pesos" de forma crescente ou decrescente. A reversibilidade por reciprocidade é que caracteriza esta forma de equilíbrio (Figura 62). Na reciprocidade anula-se uma diferença, no sentido lógico do termo (INHELDER e PIAGET, 1976). Assim, a relação assimétrica A<B exprime uma diferença

entre os “pesos” de A e de B. O produto de uma ação direta (A<B, por exemplo) e de sua recíproca (B>A) é uma equivalência. Com esta noção de reversibilidade é que a criança chega a dissociar alguns fatores (Figura 62) o que implica em combinações elementares (Figura 62) com os “pesos” dos objetos e na transitividade que lhe permite construir com eles uma série ordenada. As ações mais importantes para a realização da tarefa são concretas (na verdade concreto-abstratas).

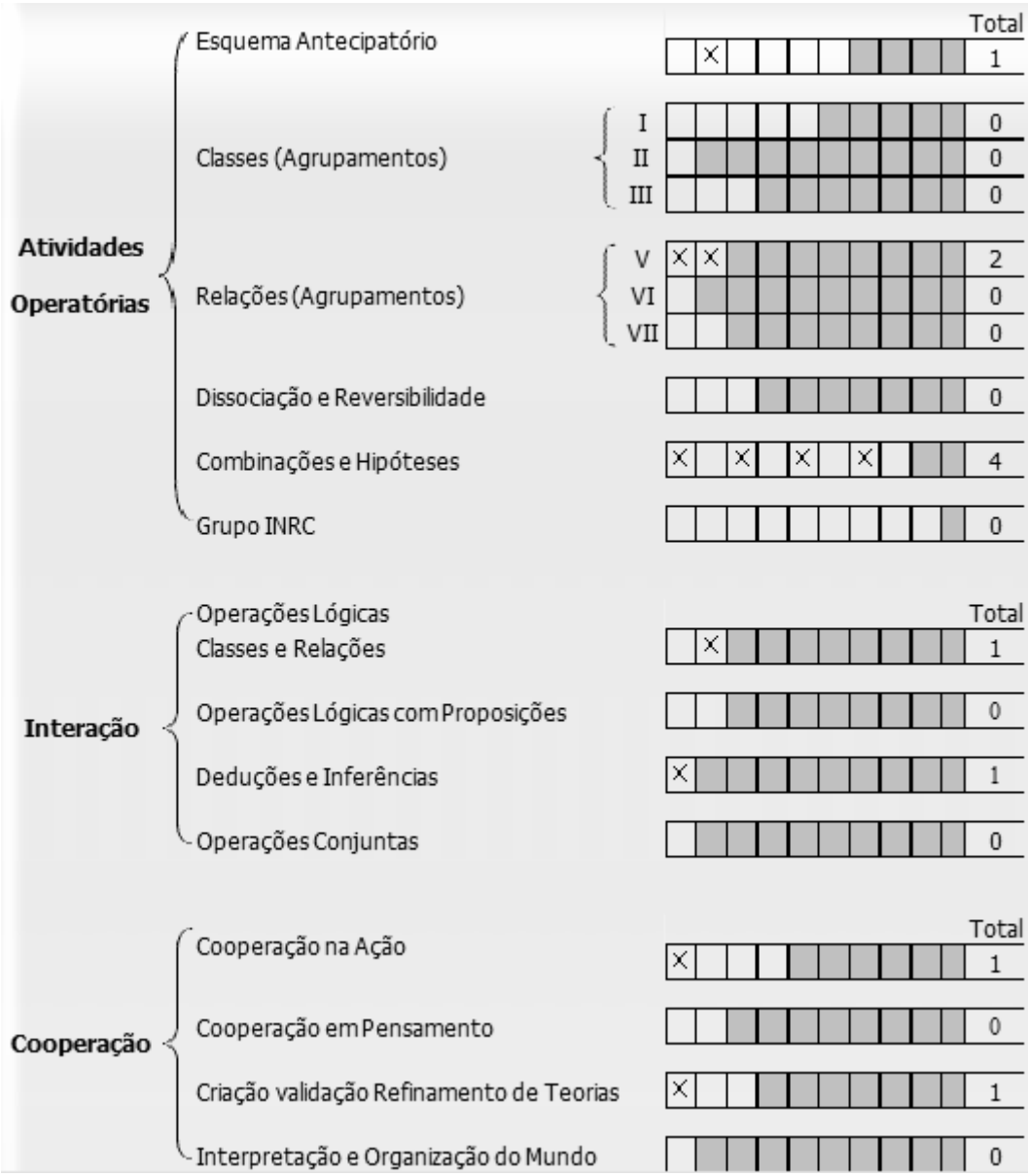

Figura 61 – Rede sistêmica da conclusão geral da Ferramenta D.
Fonte: dados da pesquisa.

A criança faz experimentações, simulações e observa os fatos (inclinação da balança) (Figura 62). As deduções e inferências são o resultado do pensamento proposicional (Figura

62). Este, por sua vez, é uma ação mais mental do que concreta e é estimulado pela compreensão de que por vias diferentes se pode chegar à mesma conclusão. É por meio das operações com as proposições que se criam teorias, interpreta e organiza o mundo (Figura 62).

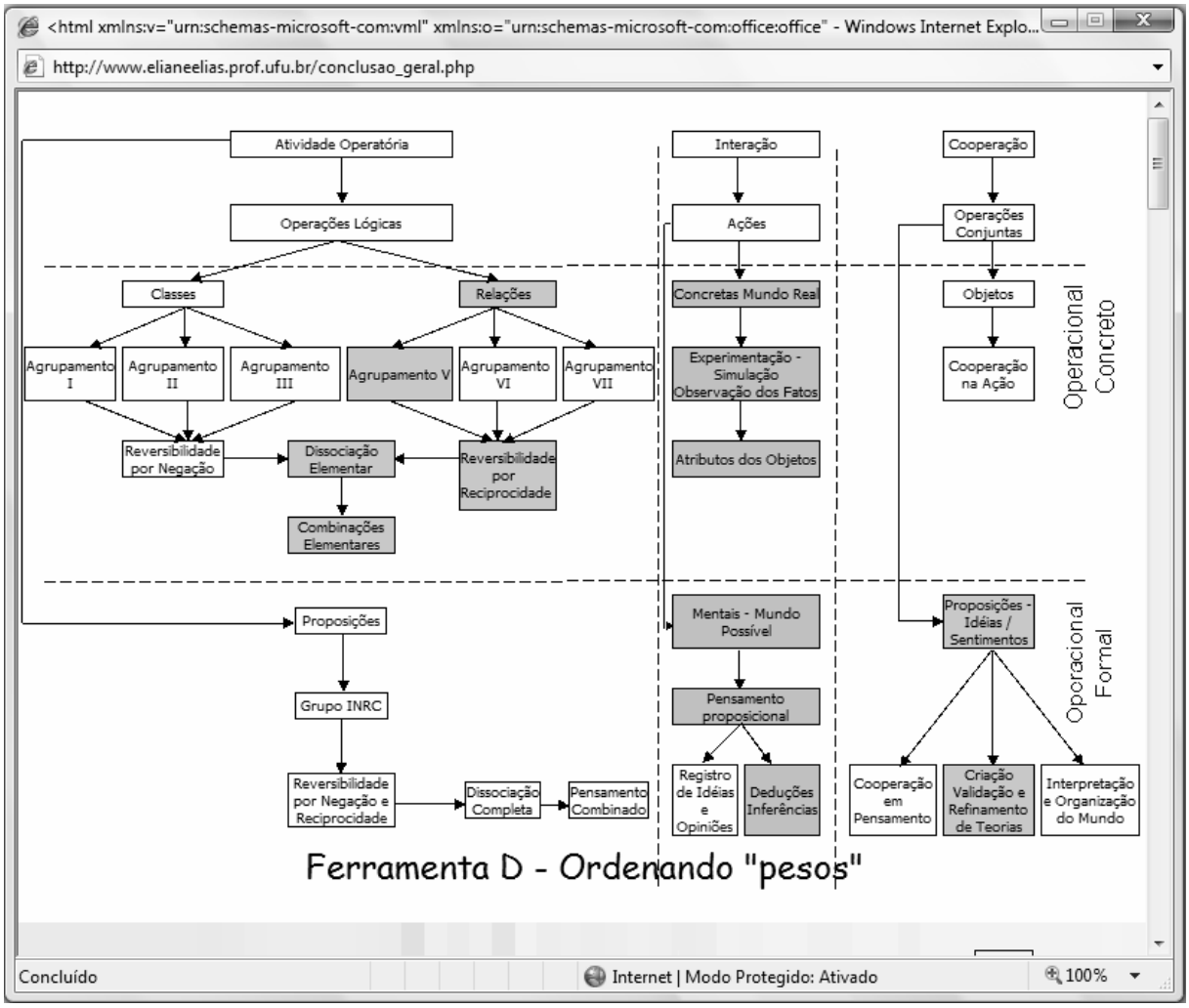

Figura 62 – Organizador gráfico da conclusão geral da Ferramenta D.
Fonte: dados da pesquisa.

A título de conclusão, o *Web*-ECoTEC emite um laudo de caracterização da Ferramenta D (Figura 63). Este laudo é uma síntese do que já foi concluído em cada um dos módulos separadamente.

Conclusão Geral

* A atividade proposta no software contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes a um dos agrupamentos lógicos.

* A atividade proposta no software pressupõe a construção de associações elementares entre objetos e classes características do estágio concreto.

* O software analisado dispõe de recursos para que o aluno manipule os objetos, realize experimentos e / ou simulações. Na visão construtivista este é um requisito importante para a construção das estruturas lógico-matemáticas. Por meio de ações concreto-abstratas, capturam-se os atributos dos objetos que permitem ordenar, classificar, relacionar os objetos e as classes de objetos.

* O software analisado não dispõe de recursos para que os alunos possam registrar e/ ou consultar idéias e opiniões sobre a atividade desenvolvida.

* O software analisado oferece recursos para que o aluno construa diferentes ações para a solução da atividade proposta.

* O software analisado não pode ser utilizado em rede. Este é um recurso importante para efetivar ações cooperativas entre os alunos.

* A organização didática do software não pressupõe trocas sociais geradas a partir do convívio social e /ou por situações vivenciadas pelos alunos fora da escola.

* A organização didática do software pressupõe que os alunos construam diferentes caminhos para a realização da atividade proposta. O que reflete a possibilidade de considerar operações associativas, que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado.

* Após a utilização do software, observa-se que os alunos não conseguem justificar de maneira criteriosa as operações executadas, atitude característica do pensamento concreto. O que ocorre é a aplicação mecânica do processo desenvolvido durante a atividade.

Figura 63– Laudo de caracterização da conclusão geral da Ferramenta D.
Fonte: dados da pesquisa.

7.2 – Discussão

7.2.1 – Módulo Atividades Operatórias

No módulo Atividades Operatórias, o *Web*-ECoTEC detectou características do esquema antecipador nas Ferramentas A, B, e D. Na Ferramenta C, o diagnóstico foi de que

não existe um esquema antecipador para a solução da tarefa proposta. O planejamento da solução vai sendo construído a partir das ações do aluno. Nos modelos de Reeves e Harmon (1996), Jigsaw, MEDA, Cronje (1998), E.M.P.I., TICESE, MAEP e MECSE não foi possível detectar nenhuma questão que possa fazer um diagnóstico do esquema antecipador da atividade proposta pelas FCE.

Em relação às estruturas do pensamento lógico-matemático a serem construídas, o diagnóstico feito pelo *Web*-ECoTEC detectou contribuições para a construção das estruturas correspondentes aos Agrupamentos I, II, III (Ferramenta A), V (Ferramenta D); ao esquema de pensamento referente às combinações elementares (Ferramenta C); e ao esquema de pensamento referente à noção de proporção (Ferramenta B). Detectou-se também que as Ferramentas A, C e D são mais apropriadas para o estágio das operações concretas enquanto que a Ferramenta B é mais apropriada para o estágio das operações formais. Na teoria de Piaget as estruturas lógico-matemáticas que modelam estes esquemas de pensamento são o agrupamento, o reticulado e o grupo de quatro transformações I.N.R.C.. Segundo Aebli (1976) essas estruturas possuem em comum a propriedade da reversibilidade. E assim, do diagnóstico dessas estruturas decorre também o diagnóstico sobre a reversibilidade das ações. Não foi possível detectar nas propostas dos modelos de Reeves e Harmon (1996), Jigsaw, MEDA, Cronje (1998), E.M.P.I., TICESE, MAEP e MECSE a preocupação em diagnosticar nas atividades propostas a possibilidade das FCE auxiliarem na construção da estrutura do pensamento lógico-matemático, nem a qual estágio a atividade é mais apropriada.

A Ferramenta C favorece a construção das combinações elementares. Este tipo de pensamento está associado às multiplicações lógicas formadas por matrizes/tabelas/quadros de dupla entrada, características do estágio concreto. O TICESE aborda a temática do pensamento combinatório nas FCE. No módulo I de classificação, com relação à complexidade cognitiva inquire: "O software, para além de proporcionar a aplicação dos conhecimentos, oferece ao aluno a oportunidade de desenvolver um comportamento criador, através de exercícios que solicitem a união de elementos e partes, combinando-os para que constituam uma configuração ou estrutura".

No MAEP, o subcritério "Componente Cognitiva", item "Estilos de Aprendizagem" a questão "O programa oferece a possibilidade de trabalhar com elementos ou partes e combiná-los entre si para favorecer a percepção de sua configuração e estrutura?" também investiga esta temática nas FCE.

Os *checklists* TICESE e o MAEP investigam apenas a possibilidade do aluno, ao utilizar a ferramenta, fazer combinações com elementos e partes, sem, contudo diagnosticar se

o tipo de combinação é própria do estágio concreto (elementar) ou se é própria do estágio formal.

7.2.2 – Módulo Interação

A interação é uma das idéias importantes na teoria de Piaget. Para a validação do ECoTEC foram selecionadas ferramentas com base epistemológica construtivista. Desta forma, é natural que todas as ferramentas atendam ao princípio da interação do sujeito com o objeto. O diagnóstico feito pelo *Web*-ECoTEC, no módulo Interação, revelou que as Ferramentas A, B, C e D apresentam recursos para a interação relacionados com a possibilidade de o aluno capturar atributos do objeto e fazer experimentos e simulações. Além disso, o diagnóstico aponta que o aluno tem recursos para realizar efetivamente os diferentes caminhos imaginados/deduzidos para uma possível solução da tarefa proposta.

Quanto a interação, no critério pedagógico "Controle do Aluno" do modelo de Reeves e Harmon (1996), é analisado se o controle total pertence ao programa (não existente, conceito mais negativo) ou se é o aluno quem decide que seções estudar, que caminhos seguir, que material utilizar (irrestrito, conceito mais positivo). No critério "Atividade do Usuário" esse modelo analisa se o ambiente de aprendizagem capacita o aluno a acessar várias representações de conteúdo (Matemagênico, conceito mais negativo) ou se o ambiente de aprendizagem engaja o aluno no processo de criação, elaboração ou representação do conteúdo (Generativo, conceito mais positivo).

No MAEP, as questões relativas à interatividade do sujeito com o meio físico estão alocadas no sub-critério "Didáticos e de Conteúdo", item "Métodos Pedagógicos" nas questões "O cenário pedagógico e os conteúdos do programa favorecem um processo ativo interno do aprendiz como agente de sua própria aprendizagem?" e "Os métodos e procedimentos pedagógicos do programa são centrados na atividade do aprendiz?". No MECSE, a interatividade do sujeito com o meio físico é investigada no atributo do aspecto interface, fator funcionalidade: se "o cursor do mouse move diferentes formas de acordo com as ações a executar" (tradução nossa).

Embora tanto nos modelos de Reeves e Harmon (1996), do MAEP e do MECSE esses critérios sinalizam para algum grau de interatividade do sujeito com a ferramenta, eles não são suficientes para esclarecer ao professor e/ou ao especialista sobre a possibilidade de o aluno

capturar os atributos dos objetos nem de realizar simulações e/ou experimentações por meio do computador.

No modelo de avaliação E.M.P.I. a questão 4.1 - "Se o software permite manipulação? Experimentação? Criação?" - associada ao subcritério "Interatividade" do critério didático "Estratégia Pedagógica" é análoga às questões 41 e 42 do Web-ECoTEC. O TICESE também investiga esta temática, porém restrita as simulações, como é o caso da questão proposta na seção "Recursos de apoio à compreensão dos conteúdos" do módulo II: Simulações são utilizadas pertinentemente e contribuem para a motivação e compreensão dos conteúdos?

7.2.3 – Módulo Cooperação

A análise das Ferramentas A, B, C e D pelo *Web*-ECoTEC, no módulo Cooperação, diagnosticou que a organização didática das atividades propostas pressupõem que o aluno escolha diferentes caminhos para a solução da tarefa. Os diferentes caminhos para a solução do problema estão associados com a aceitação da idéia de que por vias diferentes pode-se chegar a um mesmo resultado. Esta é uma etapa importante para a atividade cooperativa no sentido da coordenação de idéias e sentimentos.

O modelo de Reeves e Harmon (1996) analisa no critério pedagógico "Aprendizado Cooperativo" se a ferramenta avaliada não permite o trabalho cooperativo entre alunos (em pares ou grupos) (Não suportado, conceito mais negativo) ou se permite o trabalho cooperativo de modo que os objetivos sejam compartilhados beneficiando o aluno tanto instrucional quanto socialmente (Integral, conceito mais positivo).

No E.M.P.I., a questão 1.2 (Se os estudantes trabalham sozinhos ou em grupo) associada ao subcritério "relações entre os usuários" do critério didático "Situação de aprendizagem" corresponde à temática investigada na questão 48 do Web-ECoTEC - "A atividade pressupõe que as experiências e observações sejam realizadas pelos alunos de forma conjunta?".

No *checklist* TICESE, módulo II de avaliação, na seção de "Identificação dos Objectivos Pedagógicos" investiga se na documentação e na versão *on line* do produto estão descritos: Alguma sugestão para trabalhos individuais ou em grupos correlacionados com as atividades desenvolvidas no software?

No método de avaliação MAEP, a investigação sobre o trabalho cooperativo aparece no subcritério “Emocionais e Afetivos”, item “Motivação”, na questão “O programa favorece e estimula o trabalho cooperativo?”.

A resposta as questões propostas nos modelos de Reeves e Harmon (1996), E.M.P.I., TICESE e MAEP permitem apenas detectar se a atividade pressupõe uma troca social lógica sem caracterizar se esta troca ocorre por meio de ações efetivas com os objetos (cooperação na ação) ou por meio da coordenação de idéias e sentimentos (cooperação em pensamento). Nenhum dos modelos apresentados avalia a temática da cooperação nas FCE, a ponto de caracterizá-la nos estágios operatórios concreto e formal.

CAPÍTULO 8

Conclusão e Trabalhos Futuros

Esta pesquisa teve como meta propor uma metodologia de avaliação de FCE para detectar a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático em tecnologias educacionais construtivistas. Denominada de ECoTEC, esta metodologia é fundamentada na teoria operatória de Piaget e nas experiências por ele realizadas durante o desenvolvimento desta teoria.

8.1- Conclusão

Para selecionar FCE que possam efetivamente contribuir para a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático fez-se necessário compreender que estruturas são essas e como elas se formam. A pergunta de pesquisa que motivou o desenvolvimento da Estrutura Cognitiva para Tecnologias Educacionais Construtivistas - ECoTEC: "Qual metodologia de avaliação utilizar para selecionar as FCE, tendo em vista a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático?" foi respondida com a elaboração da metodologia de avaliação contendo os principais conceitos da teoria operatória de Piaget, segundo três aspectos complementares: a atividade operatória, a interação e a cooperação. A partir dessa metodologia definiram-se questões básicas que precisavam ser respondidas para se caracterizar as FCE em relação às estruturas do pensamento lógico-matemático:

1) É possível identificar na proposta da atividade parâmetros correspondentes ao esquema antecipador?
2) A atividade contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes aos Agrupamentos?
3) A atividade contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes ao Grupo INRC?
4) A atividade contribui para o desenvolvimento das estruturas lógico-matemáticas correspondentes aos esquemas operatórios?

5) A ferramenta computacional dispõe de recursos para a interação do sujeito com o meio físico?
6) A ferramenta computacional dispõe de recursos que viabilizem a interação do sujeito com o meio social?
7) A atividade proposta na ferramenta pressupõe a realização de operações conjuntas nas quais se ajustam movimentos e trabalhos com objetos concretos?
8) A atividade proposta na ferramenta pressupõe a realização de operações conjuntas nas quais se coordenam idéias e sentimentos?

Uma análise dos principais modelos de avaliação da qualidade de FCE que abordam os aspectos pedagógicos apontou a existência de uma lacuna em relação à caracterização destas ferramentas por meio das estruturas do pensamento lógico-matemático. Os modelos de avaliação analisados não permitem responder ao conjunto de questões elencadas acima e, como consequência, não contribuem para a questão da pesquisa. É neste contexto que a metodologia proposta na tese dá sua contribuição: a metodologia (a) caracteriza as FCE identificando o esquema antecipador da atividade (se ele existir); (b) detecta qual estrutura cognitiva está sendo construída por meio da atividade (agrupamento ou grupo INRC); (c) aponta os recursos que a ferramenta disponibiliza para a interação do sujeito com os objetos do cenário (meio físico) e com o meio social; (d) caracteriza a forma de cooperação favorecida por meio da utilização da ferramenta analisada. Com isso, facilita a seleção de FCE por professores, pedagogos e profissionais da educação.

A metodologia de avaliação assim proposta servirá também para aprimorar o projeto e desenvolvimento de FCE que tenham como objetivo favorecer a construção e coordenação do pensamento lógico-matemático.

O desenvolvimento de uma versão demonstrativa de um instrumento interativo para a coleta automatizada de dados e informações, denominado de *Web*-ECoTEC, facilitou a tarefa de validação da metodologia de avaliação proposta. Foi possível utilizar o *Web*-ECoTEC para caracterizar as FCE em relação a construção das estruturas do pensamento lógico-matemático.

Na validação do ECoTEC, ao analisar algumas FCE utilizando o *Web*-ECoTEC, foi possível observar a potencialidade da metodologia em apresentar resultados que caracterizaram as estruturas do pensamento lógico-matemático presentes nas atividades das FCE.

Também foi observado a contribuição do instrumento de otimização - *Web*-ECoTEC na coleta das respostas e na geração de resultados de caracterização das FCE. O instrumento se

mostrou de fácil preenchimento e muito dinâmico ao prontificar os resultados de avaliação em diferentes formatos para o usuário-avaliador. O cálculo dos resultados em tempo real facilitou as interpretações e as decisões de escolha das FCE.

8.2 - Trabalhos futuros

a) A validação do *Web*-ECoTEC por professores, pedagogos ou especialistas.

A validação com professores, pedagogos ou especialistas poderá incluir ferramentas em situação real de uso. Esta aplicação permitirá um refinamento do vocabulário contido nas questões do *checklist*. Este refinamento terá como objetivo uma aproximação do vocabulário que é próprio das obras de Piaget com o vocabulário desses profissionais. A aproximação não deve descaracterizar a obra de Piaget, mas tornar as questões do *Web*-ECoTEC mais compreensíveis para esses profissionais. Nesta versão demonstrativa procurou-se solucionar esta dificuldade com os "Leia mais" em cada questão. Os *pop ups* explicam termos e exemplificam cada questão para evitar dúvidas na hora de responder.

Além do vocabulário, a validação com professores, pedagogos ou especialistas poderá também, gerar a necessidade de incluir e/ou excluir questões no *checklist*.

b) A complementação do *Web*-ECoTEC com quadros em branco para que o usuário-avaliador possa registrar suas opiniões, questionamentos e observações em relação à ferramenta analisada.

c) O desenvolvimento de FCE com base na estrutura do ECoTEC.

A estrutura do ECoTEC poderá ser referência para o desenvolvimento de FCE que se proponham a ajudar a construir o pensamento lógico-matemático.

d) A elaboração de um tutorial para o *Web*-ECoTEC.

Um tutorial dinâmico que explique e demonstre cada passo do instrumento de otimização *Web*-ECoTEC para que o usuário-avaliador possa responder às questões com mais tranqüilidade.

e) O desenvolvimento de um modelo de avaliação de FCE que integre numa única metodologia de avaliação os aspectos técnicos, de usabilidade e pedagógicos com os do ECoTEC.

f) O desenvolvimento de suporte para a avaliação comparativa de FCE por diferentes especialistas.

g) Utilizar a desconstrução e elaboração de rede de conceitos para outros aspectos da teoria de Piaget e / ou para outras teorias.

Referências Bibliográficas

AEBLI, H. **Didática psicológica: aplicação à didática da psicologia de Jean Piaget**. Tradução: João Teodoro d'Olim Marote. 2ª ed., 1ª reimp. São Paulo: Editora Nacional, 1974.

BEDNARIK, R. **Evaluation of Educational Enviroments**: The TUP Model. Master's Thesis. Department of Computer Science - University of Joensuu, Finland, 2002.

BEDNARIK, R. et al. Development of the TUP Model: Evaluating Educational Software. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT' 04) 0-7695-2181-9/04, 2004.

BLISS, J.; OGBORN, J. **Students' Reactions to Undergraduate Science**. London: Heinemann, 1977.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Trad. Maria João Alvarez; Sara Bahia dos Santos; Telmo Mourinho Baptista. Porto Portugal: Editora Porto Ltda, 1994.

BONSIEPE, G. (1997). **Design do Material ao Digital**. Florianópolis: FIESC/IEL.

CAMPOS, G. H. B. **Construção e validação de ficha de avaliação e produtos educacionais para microcomputadores**. Rio de Janeiro, 1989. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Educação, UFRJ.

CAMPOS, G. H. B. **Metodologia para avaliação da qualidade de software educacional. Diretrizes para desenvolvedores e usuários**. Rio de Janeiro, 1994. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ.

CAMPOS, G. H. B. **Avaliação da qualidade de software educacional**. COPPE/UFRJ, setembro de 1996. (notas de acompanhamento de curso).

CASTORINA, J. A.; PALAU, G. D. **Introducción a la logica operatoria de Piaget**: alcances y significado para la psicología genética. Buenos Aires: Ediciones Paidos, 1982.

CHIEU, Vu M.; MILGROM, E.; FRENAY, M. Constructivist learning: operational criteria for cognitive flexibility. In **Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies** (ICALT'04) 0-7695-2181-9/04, 2004.

COBURN, P. et al. **Practical guide to computers in education**. New York: Addison-Wesley, 1982.

COSTA, L. A. C. da; FRANCO, S. R. K.. Ambientes virtuais de aprendizagem e suas possibilidades construtivistas. In: **Novas Tecnologias na Educação**, V. 3 Nº 1, Maio, 2005
CRONJE, Joannes. **The process of Evaluating Software and its Effect on Learning**. University of Pretoria. Department of Didactics. Disponível on-line em http://hagar.up.ac.za/catts/learner/eel/Conc/conceot.htm (acessado em 21/07/2009).

CROZAT, S.; HÛ, O.; TRIGANO, P. A Method for Evaluating learning Software. In **Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies** 0-7695-0253-9/99, 1999.

DALL'OGLIO, P. **PHP Programando com Orientação a Objetos**: Inclui Design Patterns. 1.ed. São Paulo: Novatec, 2007.

DEPOVER, C.; GIARDINA, M.; MARTON, P. **Les environnements ' apprentissage multimédia:** analyse et conception. Paris, L' Harmattan, 1998.

ELISSAVET, G.; ECONOMIDES, A. A. Evaluation Factors of Educational Software. In: **iwalt**, pp.113, International Workshop on Advanced Learning Technologies, 2000.

ENNALS, R; GWYN, R.; ZDRACHEV, L. **Information tech nology and education***:* the changing school. England: Ellis- Horwood, 1986.

FARIA, A. R. de. **O Desenvolvimento da Criança e do Adolescente Segundo Piaget**. Série Educação. São Paulo: Ática, 1998.

FIGUEROA, M. A. A. MECSE- Conjunto de Métricas para Evaluar Software Educativo. In **UPIICSA XIII**,V,39, 2005.

FLAVELL, J. **The Developmental Psychology of Piaget**. Nova York: Van Nostrand. (Tradução. A psicologia do Desenvolvimento de Jean Piaget, São Paulo: Pioneira, 1975).

GAMEZ, L. **Técnica de Inspeção de Conformidade Ergonômica de Software Educacional**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Humana. Portugal: Universidade do Minho, 1998.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GODOY, A. S. Introdução à Pesquisa Qualitativa e suas Possibilidades. In **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v35, n.2, p. 57-63, Mar/Abr 1995a.

GODOY, A. S. Introdução à Pesquisa Qualitativa: Tipos fundamentais. In **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v35, n.3, p. 20-29, Mai/Jun 1995b.

GRAVINA**,** M. A.; SANTAROSA, L. M. **A aprendizagem da matemática em ambientes informatizados.** Anais do IV Congresso RIBIE, Brasília, 1998.

HÛ, O.; TRIGANO, P.; CROZAT, S. E.M.P.I.: Une méthode pour l'évaluation de multimédia interactive pédagogique. **Sciences et techniques éducatives. Vol. 8 – no. 3-4/2001.**

INHELDER, B.; PIAGET, J. **Da Lógica da criança à lógica do adolescente**. Trad. Dante Moreira Leite. São Paulo: Pioneira, 1976.

KAMII, C.; DECLARK, G. **Reinventando a aritmética**. Trad. Elenice Curt, Maria Célia Moraes Dias, Maria do Carmo Domith Mendonça. 7. ed. Campinas, SP: Papirus, 1993.

LIMA, L. de O. **Piaget**: sugestões aos educadores. Petrópolis, RJ: Vozes, 1998.

MACEDO, L. de; PETTY, A. L. S.; PASSOS, N. C. **Aprender com Jogos e situações-problema**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

MILANI, A. **Mysql**: guia do programador. São Paulo: Novatec, 2006.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

MOURA, M. Design de Hipermídia: relações entre cultura, linguagem, transdisciplinaridade e informação. In: **Anais** do 1º Congresso de Design da Informação
São Paulo: Centro Universitário Senac, 2003.

PAPERT, S. **Logo**: Computadores e educação, Ed Brasiliense, São Paulo, 1988.

PARK, R. E.; W.B. G.; W. A. F. **Goal Driven Software Measurement** – A Guidebook, CMU/SEI- 96- BH- 002, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1996.

PIAGET, J. **The Origins of Intelligence in Children**. Nova Yorque: International University Press. (Trad. O Nascimento da Inteligência na Criança. Rio de Janeiro: Zahar.), 1952.

_____. **A Psicologia da Inteligência**. Trad. Egléa de Alencar. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1958.

_____. **Problems of the Social Psychology of Childhood**. Trad. Terrance Brown e Michael Gribetz. Paris: Presses Universitaires de France, 1963.

_____. **A Epistemologia Genética**. Trad. Nathanael C. Caixeira. Petrópolis: Vozes, 1970.

_____. **Estudos sociológicos**. Trad. Reginaldo de Piero. São Paulo: Companhia Editora Forense, 1973.

_____. **A Equilibração das Estruturas Cognitivas:** Problema central do desenvolvimento. Trad. Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

_____. **O Estruturalismo**. Trad. Moacir Renato de Amorim. São Paulo: DIFEL, 1979.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software**. Trad. Mônica Maria G. Travieso. 5.ed. Rio de janeiro: McGraw-Hill, 2002.

RADFAHRER, L. **Design / web / design**. [S.I.]: Market, [2000?]

REEVES, T. C.; HARMON, S. W. Systematic Evaluation Procedures for Interactive Multimedia for Education and Training. In REISMAN, Sorel. **Multimedia computing**: preparing for the 21st century. Harrisburg, USA [u.a.]: Idea Group Publishing, 1996.

REY, G. **Pesquisa Qualitativa em Psicologia**: caminhos e desafios**.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

ROCHA, A. R.; CAMPOS, G. H. B. Avaliação da qualidade de software Educacional. In: **Em Aberto.** Brasília, ano 12, n.57, jan./mar. 1993.

SICA, C. ***PHP* Orientado a Objetos**: Fale a Linguagem da Internet. 1.ed. Rio de Janeiro - RJ: Ciência Moderna, 2006.

_____. **Programação Segura Utilizando PHP**: Fale a Linguagem da Internet. 1.ed. Rio de Janeiro - RJ: Ciência Moderna, 2007.

SIEGEL, D. **Criando sites arrasadores na web**: a arte da terceira geração em designs de sites. Trad. Túlio Camargo da Silva. São Paulo: Editora Quark do Brasil, 1996.

SILVA, C. R. de O e.; VARGAS, C. L. S. Avaliação da qualidade de software educacional. XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção e V International Congress of Industrial Engineering. **Anais...**CD-ROM. Rio de Janeiro, novembro de 1999.

SILVA, C. R. de O e. **MAEP:** Um método ergopedagógico interativo de avaliação para produtos educacionais informatizados. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Faculdade de Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

SILVA, C. G. da. **Exploração de bases de dados de ambientes de Educação a Distância por meio de ferramentas de consulta apoiadas por Visualização de Informação**. Tese de Doutorado. Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

SILVA, M. S. **Construindo sites com CSS e (X)HTML**: sites controlados por folhas de estilo em cascata. São Paulo : Novatec Editora, 2008.

SOLINGEN, R. V.; BERGHOUT, E. **The Goal/Question/Metric Method**. New York: McGraw-Hill Education, 1999.

SQUIRES, D.; McDOUGALL, A. **Choosing and Using Educational Software:** A Teacher's Guide. Falmer Press Ltd: London United Kingdom, 1994.

SQUIRES, D.; PREECE, J. **Usability and learning:** evaluating the potential of educational software. Great Britain: Computer Edu. v. 27, n. 1, p. 15-22, 1996.

STAHL, M. M. **Avaliação da qualidade de software educacional***:* relatório técnico do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. Rio de Janeiro: UFRJ, COPPE, 1988.

WADSWORTH, B. J. **Inteligência e afetividade da criança na teoria de Piaget**. Tradução: Esméria Rovai. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1997.

WURMAN, R. S. **Information Architects***.* Watson-Guptill, 1997.