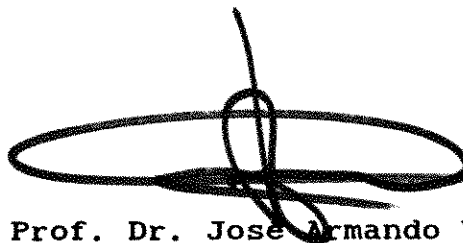


S I C R E
SISTEMA COMPUTACIONAL PARA RESOLUÇÃO DE EQUAÇÕES DE 1º GRAU

Este exemplar corresponde a redação final da tese devidamente corrigida e defendida pelo Sr. Klaus Schlünzen Junior e aprovada pela Comissão Julgadora.

Campinas, 17 de março de 1992.



Prof. Dr. Jose Armando Valente

Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

S I C R E

SISTEMA COMPUTACIONAL PARA RESOLUÇÃO DE EQUAÇÕES DE 1^o GRAU

Klaus Schlünzen Junior

"Assim diz o Senhor: Não se glorie o sábio na sua sabedoria, nem se glorie o forte na sua força; não se glorie o rico nas suas riquezas.

Mas o que se gloriar glorie-se nisto: em me conhecer e saber que eu sou o Senhor, que faço beneficência, juízo e justiça na terra; porque destas coisas me agrado, diz o Senhor."

Jeremias, Cap. 9, Vers. 23 e 24.

A minha esposa

Elisa

e

a meus pais :

Klaus , Marlene

Yoshio , Fátima

e Maria.

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho agradeço:

- À Deus, por estar presente em cada momento deste trabalho;
- Ao Prof. Dr. José Armando Valente, pela orientação amiga e atenciosa;
- À minha esposa Elisa, pelo amor e compreensão;
- Aos meus pais, sogros e tia Maria, pelo carinho e dedicação;
- À amiga Maria de Lourdes Bueno Trindade, pela atenção e disposição em todos os momentos;
- Às minhas irmãs, cunhados e cunhadas, pelo apoio dado;
- Aos amigos de trabalho, em especial a Maria Inés, Gilberto, Milton, Leirton, Farid, Iaderoza e Messias;
- À Universidade Federal de Santa Catarina, pelo suporte financeiro;
- Ao Colégio Braga Melo e seus alunos, pela contribuição no Trabalho de Campo;
- Aos demais alunos participantes do Trabalho de Campo, em especial ao Márcio, Rodrigo e Jun;
- Aos professores e pesquisadores que participam das atividades do NIED, Heloisa, Cecília, João, Bete, Fernanda, Ciça, Rosana, Martin e Silvana;
- À todos que direta ou indiretamente contribuíram neste trabalho.

SUMÁRIO

SICRE é um sistema computacional destinado ao ensino da resolução de equações de 1º grau. Sua implementação foi baseada na integração dos conceitos de ferramentas do tipo "SHELL", específicas para construção rápida de Sistemas Especialistas, e na metodologia educacional da linguagem LOGO, onde o estudante aprende através do processo de "ensinar" o computador. O usuário fornece regras à base de conhecimento e, assim, consegue formalizar e explicitar seu conhecimento. O sistema permite que o aluno, durante a resolução dos exercícios, seja capaz de testar suas regras e corrigi-las, se necessário. Descreve-se neste trabalho não apenas os aspectos de implementação do SICRE, mas também a metodologia e os resultados obtidos durante a realização de um Trabalho de Campo, o que ao final permitiu efetuar-se uma avaliação sobre as contribuições deste sistema.

ABSTRACT

SICRE is a computational system to help the teaching of 1st degree equation. The implementation is based on the integration of two concepts: SHELL-like tools, used to quickly develop expert systems, and LOGO educational methodology, where the pupils learn through the process of "teaching" the computer. The user provides the rules to the knowledge base, so that he can formalize and make explicit his own knowledge. The system allows the pupil, during the process of solving 1st degree equation, to test the rules and also to correct them, if necessary. This work describes the implementation of SICRE, the use of the system by students and the results obtained.

CONTEÚDO

Capítulo 1 - Introdução.....	01
Capítulo 2 - Informática na Educação.....	07
2.1 Idéias Gerais para utilização o Computador na Educação.....	08
2.1.1 Sistemas Educacionais.....	08
2.1.1.1 Exercício e Prática.....	09
2.1.1.2 Tutoriais.....	10
2.1.1.3 Simulações.....	10
2.1.1.4 Jogos Educacionais.....	11
2.1.1.5 ICAI.....	12
2.1.2 Resolução de problemas através do computador - a Formalização do Conhecimento.....	19
2.2 Uma Proposta Alternativa.....	23
Capítulo 3 - Objetivos e Metodologia.....	26
3.1 Objetivo Geral.....	26
3.2 Objetivos Específicos.....	26
3.3 Metodologia.....	27
Capítulo 4 - O Sistema SICRE.....	29
4.1 Descrição Funcional do Sistema SICRE.....	30
4.1.1 Idéias Gerais.....	30
4.1.2 Descrição do Sistema.....	31
4.1.2.1 Módulo Regras.....	32
4.1.2.2 Arquivo de Regras.....	34
4.1.2.3 Módulo Tradutor	34
4.1.2.4 Módulo Expert.....	35
4.1.2.5 Módulo Testes.....	36
4.1.2.6 Arquivo de Equações.....	37

4.1.3 Fluxo de Execução do SICRE.....	38
4.2 Descrição detalhada do SICRE.....	41
4.2.1 Inicialização.....	43
4.2.2 Opção 1 : Módulo Regras.....	47
4.2.2.1 Editor de Regras.....	48
4.2.2.2 Mostrar Arquivos de Regras.....	54
4.2.2.3 Sair do Módulo Regras.....	54
4.2.3 Opção 2 : Módulo Testes.....	55
4.2.3.1 Resolver Equações.....	56
4.2.3.2 Mostrar Arquivos de Equações.....	68
4.2.3.3 Sair do Módulo Testes.....	69
4.2.4 Opção 3 : Sair do SICRE.....	69
Capítulo 5 - Aspectos de Implementação do Sistema SICRE.....	70
5.1 Representação Interna das Equações.....	70
5.2 Representação de Conhecimento Usada em SICRE.....	71
5.3 Estrutura de Armazenamento na Base de Conhecimento.....	73
5.4 Máquina de Inferência.....	74
5.4.1 Estratégias de Inferência.....	74
5.4.2 Mecanismo de Controle.....	74
5.5 Analisador Léxico/Sintático.....	75
5.6 Ambiente de Implementação, Desenvolvimento e Execução.....	78
5.7 Estrutura Física de Arquivos do Sistema SICRE.....	82
5.7.1 Arquivos de Programas.....	83
5.7.2 Arquivo Executável.....	84
5.7.3 Arquivos Externos.....	84
5.7.4 Arquivos de Dados.....	85
Capítulo 6 - Projeto Piloto.....	86
6.1 Objetivos.....	86
6.2 Participantes do Projeto Piloto.....	87
6.3 Metodologia.....	87
6.4 Alterações do Sistema Sugeridas pelos Usuários.....	88

6.5 Nova Versão do SICRE após o Projeto Piloto.....	92
6.6 Uso do Sistema por Alunos da 7 ^a série do 1 ^o grau.....	93
6.6.1 Desenvolvimento das Sessões.....	94
6.6.2 Utilização do Sistema em uma Escola de 1 ^o grau - - Um Diagnóstico Preliminar.....	96
6.7 Tratamento de Regras Inconsistentes - - Uma Contribuição Posterior.....	98
6.8 Conclusões.....	101
 Capítulo 7 - Trabalho de Campo.....	102
7.1 Objetivo do Trabalho de Campo.....	103
7.2 ETAPA 1 - Uso Individual do Sistema SICRE.....	103
7.2.1 Metodologia de Uso.....	103
7.2.2 Análise dos Resultados.....	105
7.2.3 Um Estudo de Caso.....	110
7.2.4 Possíveis Contribuições na Aprendizagem.....	112
7.3 ETAPA 2 - Uso Coletivo do Sistema SICRE em uma Sala de Aula Computadorizada.....	113
7.3.1 Objetivo.....	113
7.3.2 Metodologia de Uso.....	114
7.3.3 Análise dos Resultados.....	114
7.3.4 Como Inserir SICRE na Sala de Aula.....	115
7.3.5 Conclusões sobre o Trabalho de Coletivo.....	116
 Capítulo 8 - Conclusões.....	117
8.1 Limitações do Sistema.....	118
8.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	119
 Referências Bibliográficas.....	121
 Apêndice A - Um Exemplo de um Arquivo de Regras.....	124

Apêndice B - Conjunto de Cláusulas Prolog geradas para o	
Arquivo do Apêndice A.....	125
Apêndice C - Exemplo de um Arquivo de Equações.....	127

LISTA DE FIGURAS

2.1 Arquitetura de um Sistema Especialista.....	14
2.2 Conjunto de Comandos em Logo que Define o Quadrado.....	22
4.1 Relações entre os Módulos e Arquivos.....	39
4.2 Diagrama Hierárquico de Funções do SICRE.....	42
4.3 Tela de Apresentação.....	44
4.4 Data e Nome do Arquivo de Equações.....	45
4.5 Mensagem Emitida em Caso de Nome Repetido para o Arquivo de Equações.....	46
4.6 Menu Principal de SICRE.....	47
4.7 Menu de Apresentação do Módulo Regras.....	48
4.8 Opções do Editor de Regras.....	49
4.9 Edição de Regras.....	50
4.10 Opção Modificar uma Regra.....	51
4.11 Alteração de uma Regra.....	52
4.12 Apagar uma Regra.....	53
4.13 Mensagem de Erro do Analisador Léxico/Sintático.....	55
4.14 Menu de Opções do Módulo Testes.....	56
4.15 "BOX" e Menu de Operações do Módulo Testes.....	57
4.16 Mensagem de Equação Inválida.....	60
4.17 Marcação de um trecho de uma Equação em Modo Reverso.....	61
4.18 Operação de um elemento em ambos os membros.....	62
4.19 Passo seguinte após a operação de um elemento em ambos os membros.....	63
4.20 Operações Aritméticas.....	64
4.21 Uso da operação F8 SIMPLIFICAR.....	65
4.22 Verificação do resultado I.....	66
4.23 Mensagens do Módulo Testes.....	67

4.24 Mensagem para Verificação do Resultado II.....	68
5.1 Arquivo de SICRE e seus Relacionamentos.....	83
6.1 Tratamento de Regras Inconsistentes.....	100

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho está inserido em um contexto amplo, que representa um dos temas mais fascinantes e polêmicos da atualidade – a questão da Informática na Educação.

Procurando evitar uma abordagem filosófica desta discussão, e mesmo uma visão tecnicista que encara o computador como a solução para a crise educacional, cogitou-se a possibilidade de conjugar Informática e Educação à partir do desenvolvimento de um sistema computacional aplicado à Educação. Antes de expor claramente as razões que conduziram a uma proposta neste sentido, faz-se necessário uma discussão sobre seus antecedentes.

Analisando, inicialmente, a questão do ensino, percebe-se que a aquisição de um conteúdo pode ser feita através de duas maneiras distintas. Na primeira esse conteúdo é adquirido por meio de um conjunto de instruções necessárias a resolução de problemas específicos. Uma outra forma de abordagem procura uma situação real onde o aluno pode vivenciar esta situação e extrair os conteúdos específicos envolvidos na resolução do problema.

Infelizmente, o que predomina no ensino é o processo de transmissão de conhecimento, no qual o professor é o controlador que repassa um conteúdo para o aluno. Isto ocasiona uma situação onde o aluno é considerado um recipiente que é obrigado a aceitar definições e conceitos. Tal atitude pode provocar uma ruptura do conhecimento que é fornecido da sua aplicação prática. Em

conseqüência, o aluno torna-se desestimulado e não tem a oportunidade de desenvolver sua criatividade e senso crítico.

Inserindo o computador nesta realidade educacional, faz-se necessário uma reflexão sobre o que esta tecnologia pode realmente contribuir no processo de ensino-aprendizagem. É preciso que seu uso seja desvinculado da idéia de panacéia solucinadora para todos os problemas e de um caráter de apelo atrativo para os alunos, e considerá-lo como um instrumento a mais na busca pela superação dos problemas enfrentados pelo ensino.

A idéia de utilizar a máquina como uma ferramenta educacional é algo que vem atraindo a atenção de muitos pesquisadores, tendo sido este processo desencadeado à partir do final dos anos 50.

Com relação às formas gerais de uso do computador no processo ensino-aprendizagem, pode-se destacar duas abordagens: os Sistemas Educacionais e a Resolução de Problemas Através do Computador.

Os primeiros Sistemas Educacionais foram os sistemas do tipo CAI (Computer Assisted Instruction), nos quais o aluno interage diretamente com o computador, que é programado para apresentar o material instrutivo ao aluno e verificar, através de testes, o que o aluno realmente assimilou. Nesta concepção o computador "ensina" o aluno.

No final dos anos 70 surgiram os "Intelligent Computer Assisted Instruction" - ICAI que, além de possuir o domínio do conhecimento e permitirem um diálogo com o estudante, utilizam os erros e acertos do aluno para diagnosticar seu desempenho. Com o desenvolvimento de sistemas computacionais que usam conceitos,

procedimentos, e técnicas de Inteligência Artificial para análise e resolução de problemas, vários esforços foram e continuam sendo dispendidos no sentido de aplicá-los nos ambientes educacionais.

Uma outra abordagem de uso do computador no processo ensino-aprendizagem, é usualmente denominada como Resolução de Problemas através do Computador. Tal abordagem caracteriza-se pela formalização, explicitação e construção do conhecimento, através do uso da máquina. Nesta concepção, o aluno "ensina" o computador ao invés de ser ensinado por ele. Assim, este aluno está envolvido diretamente com a programação de computadores como meio de representar a resolução de um problema através de uma linguagem de programação. Dentro desta proposta, encontra-se o trabalho pioneiro de Seymour Papert [22], com a implementação da linguagem LOGO. Essa abordagem vai de encontro ao processo de ensino-aprendizagem através da criação de situações que permitem o aluno resolver problemas reais e aprender através do uso e da experiência com os conceitos envolvidos no problema sendo resolvido.

Confrontando-se a crise educacional e a possibilidade de utilização do computador no processo de ensino-aprendizagem, pode-se identificar a Matemática como sendo uma das disciplinas mais problemáticas em relação ao modo como ela é apresentada aos alunos, e orientar o uso do computador no sentido de suavizar este impacto.

No ensino da Matemática em todos os níveis, e principalmente nos níveis de 1º e 2º grau são observados certos aspectos negativos decorrentes do enfoque que é dado a este ensino. Dante [12] relaciona uma série de características que são enfatizadas no ensino de Matemática, dentre as quais destacam-se: o treino de habilidades e memorização de algoritmos em detrimento a uma

aprendizagem compreensiva dos conceitos; o fornecimento de regras e esquemas em detrimento dos porques, do significado do que se faz; a repetição e a imitação, ao invés de incentivar a criatividade, curiosidade, iniciativa e exploração; aos resultados e não ao processo de aprendizagem; etc...

É possível relacionar alguns destes aspectos negativos com os problemas atuais do ensino da Matemática, e qualquer proposta com o intuito de melhorar este ensino deve prever uma mudança nas características que são hoje enfatizadas.

A partir do momento em que identificou-se alguns problemas do ensino da Matemática no contexto da crise educacional, e a possibilidade de incluir o uso do computador no processo ensino-aprendizagem, elaborou-se uma proposta que se apresenta como uma metodologia alternativa que, servindo-se de um sistema computacional aplicado a Educação, mais especificamente a área de Matemática, possa efetivamente contribuir no processo de aprendizagem. Tal metodologia alternativa procura inserir o aluno no processo de construção do conhecimento, priorizando a idéia do ensino participativo, onde o aluno possa ter um aprendizado compreensivo dos conceitos, com o incentivo a criatividade, curiosidade, iniciativa e exploração, através de um processo que utilize a experiência acumulada no dia a dia.

Buscando aproveitar algumas características que se mostraram mais apropriadas, do ponto de vista computacional, identificou-se uma possibilidade interessante: aproveitar a concepção da linguagem LOGO, que permite ao aluno explorar, criar e construir conhecimento, aliado a idéia básica de sistemas computacionais onde este conhecimento pode ser formalizado.

Assim sendo, com base na integração dos conceitos de construção

de sistemas computacionais e na proposta oferecida pela metodologia LOGO, propõe-se o desenvolvimento e implementação de um sistema, denominado SICRE, que permita a um estudante de nível primário, atuar como o construtor do sistema, bastando para isto, que ele forneça conhecimento sobre equações do 1º grau, através de regras.

Optou-se por abordar equações do 1º grau por tratar-se de um conhecimento facilmente expresso através de regras, ser um assunto de ensino problemático, porém necessário aos alunos de 1º grau, e além disso, útil para ilustrar a idéia aqui proposta.

Dentro deste contexto, o capítulo 2 do presente trabalho, fornece uma visão geral sobre os principais processos de utilização da informática na educação, enfatizando os aspectos que contribuíram para a elaboração de uma proposta alternativa para desenvolvimento de um sistema, que constitui-se no objeto desta pesquisa.

No capítulo 3 são estabelecidos os objetivos que norteiam o trabalho, bem como, a metodologia utilizada para atingí-los.

A descrição do sistema proposto é apresentada no capítulo 4, o qual fornece, em uma primeira etapa, uma visão funcional do mesmo, e posteriormente, uma visão detalhada de seus recursos.

No capítulo 5 são discutidos os aspectos relacionados com a implementação do sistema, analisando alguns pontos relacionados a representação e base de conhecimento; a máquina de inferência; ao ambiente de implementação, desenvolvimento e execução; e a estrutura dos arquivos.

O capítulo 6 relata as observações coletadas durante a execução

de um Projeto Piloto, considerado como sendo a primeira aplicação prática do sistema, e a partir do qual, desenvolveu-se sua versão final.

No capítulo 7 descreve-se a experiência, os resultados e conclusões obtidos ao final de um Trabalho de Campo, o qual reflete a aplicação do sistema em um ambiente escolar.

Finalmente, no capítulo 8, são apresentadas as conclusões do trabalho, algumas limitações verificadas no sistema, bem como sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

Atualmente, muito se discute sobre as maneiras de se utilizar o computador na educação de forma a torná-lo tão útil quanto o é para outros fins. Evidente que o útil, neste caso, refere-se a sua eficiência pedagógica, ou seja, a sua contribuição efetiva no processo de ensino-aprendizagem.

Talvez seja este o aspecto gerador da grande polêmica que ora se verifica, uma vez que as formas de utilizar o computador, em um ambiente escolar, têm ocasionado muitas discussões entre pesquisadores de Ciências da Computação, educadores, psicólogos, pais de alunos, enfim toda a comunidade diretamente envolvida neste processo.

Não se pretende, neste capítulo, discutir os caminhos e fundamentos históricos que levaram ao estágio atual da informática na educação. Muito menos, analisar os problemas sócio-econômicos que advêm deste processo, visto que estes são extremamente complexos. O mais importante, no caso, é apresentar as duas maneiras usuais de utilização do computador na educação, e efetuar uma análise da eficiência pedagógica no processo ensino-aprendizagem de cada uma delas.

2.1 - IDEIAS GERAIS PARA UTILIZAÇÃO DO COMPUTADOR NA EDUCAÇÃO

Basicamente, existem duas maneiras de utilizar o computador no processo ensino-aprendizagem:

- Sistemas Educacionais, onde o aluno é o recipiente que ganha o conhecimento da máquina.
- Resolução de Problemas Através do Computador - A Formalização do Conhecimento; onde a máquina é o recipiente que recebe as informações do aluno.

2.1.1 - Sistemas Educacionais

É um método de utilização do computador no qual a máquina é colocada na função de quem ensina o aluno, isto é, passa a cumprir um papel semelhante ao de um professor que repassa informações. O computador é a máquina de ensinar que transmite o conhecimento, e em seguida executa testes para verificar se o aluno realmente "assimilou" ou "aprendeu" o que lhe foi ensinado.

Esta categoria é representada por um grande número de sistemas que são utilizados em diversas escolas. Dentro desta filosofia de utilização do computador, pode-se incluir os primeiros sistemas CAI (Computer Assisted Instruction), com uma utilização acentuada de tutoriais, exercício e prática, simulações e jogos educacionais. Posteriormente, com o desenvolvimento da Inteligência Artificial muitos desses sistemas passaram a ser

controlados por conhecimento, gerando os sistemas ICAI (Intelligent Computer Assisted Instruction), os quais não resumem-se apenas na representação de um conhecimento, mas também a capacidade de analisar e diagnosticar as respostas do aluno, procurando redirecionar sua atenção para que possa corrigir erros que tenha cometido.

Historicamente, os sistemas CAI foram os primeiros a surgir, o que ocorreu no início da década de 60. São sistemas muito pobres pedagogicamente, pois baseiam-se na apresentação de textos aos alunos e na avaliação deste conteúdo através de questões apresentadas, sem nenhuma análise mais profunda sobre o comportamento e o desempenho do estudante.

A seguir são analisados os sistemas educacionais disponíveis, enfocando seu papel pedagógico dentro de um ambiente escolar.

2.1.1.1 - Exercício e Prática

São sistemas baseados na memorização e assimilação de conteúdos, através da prática de ações repetidas. Tem seus fundamentos na teoria de Skinner sobre o efeito "estímulo-resposta", onde ensinar torna-se simplesmente uma contingência da repetição constante de ações, seguido de apropriado "feedback" positivo ou negativo.

Assim, o material instrutivo é apresentado ao estudante que, por sua vez, responde sobre o conteúdo mostrado e o computador informa se a resposta é correta ou não. Em função das asserções do aluno, o programa dirige sua atenção para outro conteúdo, com um maior grau de dificuldade. Para ilustrar isto, existem programas que fazem com que o aluno pratique repetidamente as

operações aritméticas; que indique as capitais do mundo; o vocabulário de línguas estrangeiras, etc...

2.1.1.2 - Tutoriais

Um tutorial, geralmente, tem como objetivo levar o computador a instruir o aluno em uma determinada área de conhecimento, de maneira semelhante a um tutor. A maioria dos tutoriais são diálogos aluno-máquina, onde o computador fornece algumas informações e propõe questões sobre elas. Deve-se considerar ainda, que na maioria das vezes, os diálogos são pobres, pois muitos dos sistemas existentes não possuem condições de prever e analisar respostas que fogem de um diálogo "convencional" já estabelecido, ou seja, não conseguem abranger um número grande de possibilidades de respostas dadas pelo aluno, durante sua interação com o sistema. Caso o estudante forneça uma resposta não prevista pelo sistema, normalmente é emitida uma mensagem solicitando ao aluno que a reformule.

Existem muitos exemplos destes tutoriais para diversas áreas como Química, Matemática, Geografia, etc..., tendo atualmente apenas importância histórica na evolução dos atuais sistemas usados na educação.

2.1.1.3 - Simulações

Aqui, o computador funciona como um "pseudo-laboratório". Em uma simulação, certos elementos da realidade social ou física são abstraídos e o estudante pode interagir com a parte simulada. Deste modo, reproduz-se uma situação real, em forma de símbolos, usando as variáveis mais importantes desta situação, e

modificando-as de maneira a observar como elas afetam as demais variáveis e a situação geral. Além disso, uma simulação em computador pode oferecer ao aluno uma visão segura e de baixo custo de certos fenômenos. Por exemplo, supondo-se um programa que é capaz de mostrar visualmente, no monitor do computador, a órbita da Lua sobre nosso planeta. Este programa incorpora conceitos sobre a lei de gravitação, onde a órbita pode ser calculada, e permitir que o estudante, alterando a massa da Lua, tenha oportunidade de observar as mudanças ocorridas na sua órbita, e com isso, tirar suas conclusões sobre o assunto.

Um exemplo prático de simulação é o sistema chamado STEAMER, que constitui uma ferramenta computacional usada no treinamento de engenheiros que operam grandes navios. Através deste sistema, os engenheiros conseguem estudar o complexo sistema de propulsão destes navios e observar as condições de operação, tanto em situações normais como também em situações críticas.

2.1.1.4 - Jogos educacionais

Um jogo em computador tem a função de motivar o usuário, a partir da utilização de efeitos audiovisuais na apresentação da situação do jogo, onde os níveis de dificuldade podem aumentar gradativamente. Despertar a sensação de desafio, de curiosidade e de fantasia são características marcantes dos jogos, o que inegavelmente atrai os alunos.

Com relação ao ensino de Matemática pode-se citar, dentre muitos, o jogo "Dart's" [21][27], usado para ensinar noções básicas de frações às crianças. Este jogo usa dardos que estouram balões, quando um aluno acerta uma determinada fração, posicionada em uma escala referencial, por exemplo, uma fração no intervalo $[3,4]$.

Outro jogo, denominado "How the west was won" [21][27], permite ao jogador manusear expressões aritméticas. Neste caso, o aluno manipula expressões aritméticas de maneira a conduzir uma locomotiva de uma estação inicial, a uma final. Os valores das expressões aritméticas indicam o número de passos a serem percorridos pela locomotiva.

2.1.1.5 - ICAI (Intelligent Computer Assisted Instructions)

Na década de 70 surgiram os sistemas ICAI, que representaram uma melhoria considerável no desempenho dos sistemas anteriores, pois passaram a avaliar não apenas o conteúdo apresentado, mas também a fazer análise das respostas e dos erros dos estudantes, apresentando um diagnóstico destes erros e suas possíveis soluções. Basicamente, os sistemas ICAI dialogam com o estudante e usam erros identificados nas respostas dos alunos para detectar a fonte das dificuldades, criando modelos de usuários que os identifiquem. Considerando estes modelos, o sistema varia a apresentação do conteúdo. Assim, com base na sua possibilidade de dialogar com o estudante, estes sistemas podem ser considerados como tutoriais, pois instruem o aluno em uma determinada área do conhecimento.

Foi com o aparecimento dos ICAI que começaram a ser utilizadas mais intensivamente as técnicas de Inteligência Artificial, como linguagem natural, representação de conhecimento, métodos de inferência,...etc, na construção destes sistemas para a área educacional. As aplicações de Inteligência Artificial como simplificação algébrica, integração simbólica, diagnóstico médico, e prova de teoremas, tem sido usadas no aprimoramento dos até então sistemas CAI.

Como exemplos de alguns dos primeiros sistemas ICAI, podem ser citados:

- SCHOLAR: é um sistema tutorial cujo tema é a geografia da América do Sul. Toda a interface com o usuário é baseada em um diálogo tutorial, onde inicialmente tenta-se diagnosticar os erros, e em seguida apresentar um material que direcione o estudante a visualizar seus erros;

- SOPHIE: é um sistema que auxilia no desenvolvimento da habilidade do aluno para resolver os problemas que possam ocorrer em um laboratório de eletrônica durante a análise de circuitos. O problema a ser solucionado refere-se a identificação de falhas em uma peça de um equipamento eletrônico. Com base nas informações fornecidas pelo aluno, e em suas sugestões quanto a um possível diagnóstico, SOPHIE avalia as respostas do aluno, criticando-as e apresentando contra-exemplos, caso a resposta do aluno esteja correta.

O desenvolvimento dos sistemas ICAI sofreu uma alteração significativa, a partir da utilização de Sistemas Especialistas [5][9][11][13][15][16][17] na sua concepção. Esta nova possibilidade permitiu uma melhor representação do conhecimento, a utilização de estratégias tutoriais de uma forma mais adequada ao ensino, aliada à capacidade de justificar seus diagnósticos. Além disso, a arquitetura bem definida dos Sistemas Especialistas possibilitou um desenvolvimento muito mais rápido dos sistemas ICAI, quando comparado aos primeiros representantes desta categoria.

Assim sendo, os sistemas ICAI ingressaram em uma nova fase, quando passaram a utilizar a arquitetura dos Sistemas Especialistas, os quais são sistemas computacionais projetados

e desenvolvidos por pessoas que usam conceitos, procedimentos e técnicas de Inteligência Artificial para aplicar o conhecimento e os mecanismos de inferência de um especialista na análise e resolução de problemas. Assim, o desempenho do sistema é comparável com o do especialista.

Basicamente, um Sistema Especialista é composto por uma base de conhecimento, uma máquina de inferência e subsistemas de aquisição de conhecimento e de consulta, conforme ilustrado na figura 2.1.

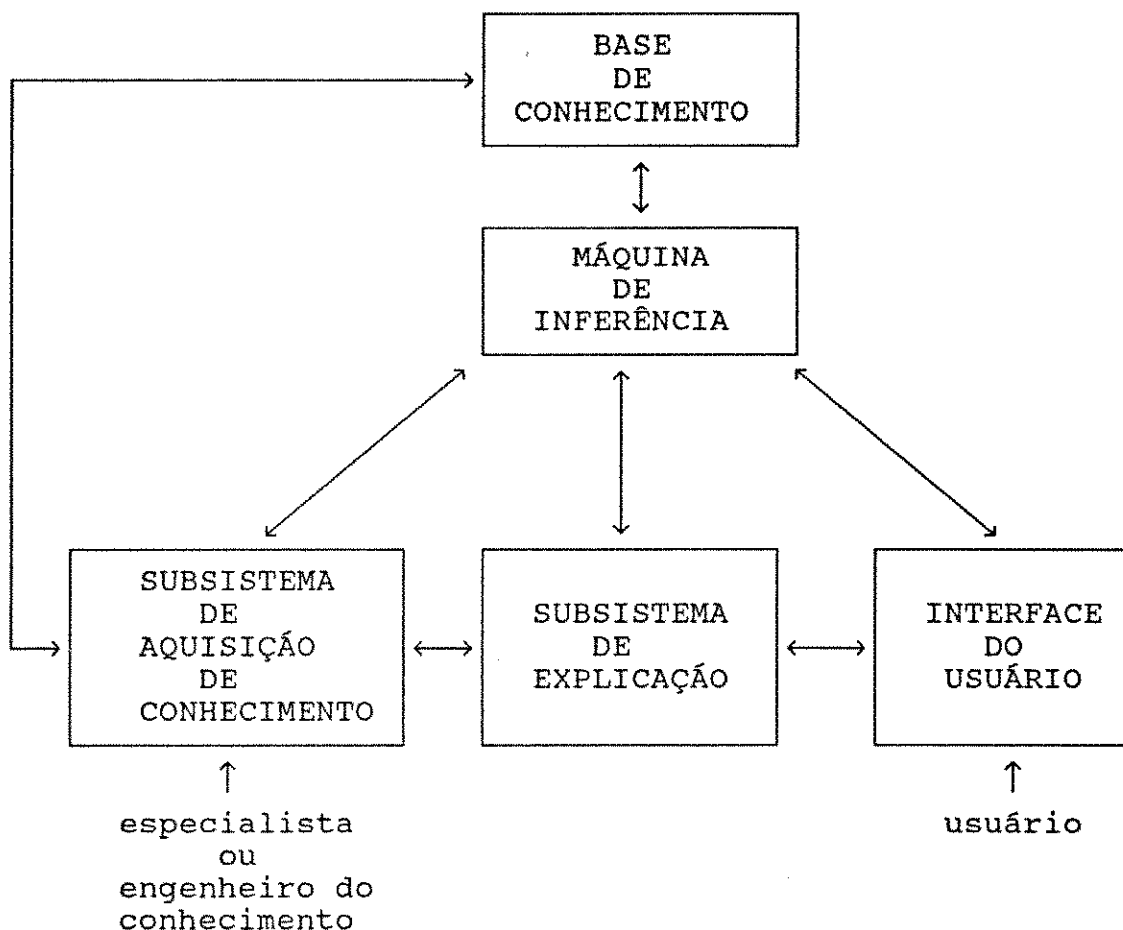


Figura 2.1 - Arquitetura de um Sistema Especialista

Na base de conhecimento são encontrados todos os fatos e regras que reúnem o conhecimento do especialista.

A máquina de inferência contém as estratégias de inferência, os controles que um especialista usa quando manipula os fatos e as regras.

O subsistema de aquisição de conhecimento é o meio pelo qual o especialista transfere todo o seu conhecimento para o sistema, seja de maneira direta ou indireta. A transferência indireta é feita através do engenheiro de conhecimento, que é a pessoa encarregada de adquirir todas as informações do especialista, organizá-las, e inserí-las na base de conhecimento utilizando alguma forma de representação. A transferência direta é aquela na qual o próprio especialista, utilizando-se de uma ferramenta para construção de Sistemas Especialistas, é responsável pela transferência do seu conhecimento para o sistema. Com o desenvolvimento destas ferramentas, a tendência atual é que haja uma predominância na transferência direta da informação pelo especialista.

O subsistema de consulta permite ao usuário obter a resolução de seus problemas mediante sua interação com o sistema. Os sistemas atuais oferecem ainda a facilidade de explicar o raciocínio que os levaram à solução de um determinado problema.

Talvez a principal característica destes sistemas seja o fato da base de conhecimento, fornecida por um especialista, e a máquina de inferência serem independentes, tornando possível acrescentar, eliminar ou alterar o conteúdo da base de conhecimento, sem que o sistema deixe de atuar na função para qual foi projetado,

pois a máquina de inferência não foi modificada.

A construção de um Sistema Especialista envolve inicialmente a identificação e análise do problema, além da determinação de custos e ferramentas para sua construção.

Neste sentido, cabe um aparte, em relação a algumas destas ferramentas. Atualmente, percebe-se um crescente aumento na utilização de ferramentas que permitem a construção rápida de Sistemas Especialistas, as quais são comumente chamadas de "SHELLs" [15][16][18]. Tais "SHELLs" apresentam mecanismos de inferência já definidos, assim como estrutura de representação de conhecimento e de consulta, bastando apenas ao usuário "recheiar" a base de conhecimento com as informações de sua área específica, para torná-lo um Sistema Especialista.

Posteriormente há o desenvolvimento de um protótipo, através da interação direta ou indireta do especialista, até chegar a etapa de expansão, verificação e revisão do sistema. Ao final, quando este sistema está pronto para uso, são necessários apenas as manutenções e as atualizações do mesmo, uma vez que ele deve acompanhar a evolução da área de especialidade para a qual o sistema foi desenvolvido.

Muito se tem feito para aplicar Sistemas Especialistas aos ambientes educacionais [28]. O exemplo mais clássico é o Sistema Especialista MYCIN [6], projetado para auxiliar médicos no diagnóstico e tratamento da meningite e da bacteremia. Este sistema pode ser aplicado no treinamento de médicos através de um outro sistema derivado dele próprio, chamado GUIDON [3][27], usado em faculdades de Medicina para treinamento em consultas. GUIDON é um sistema médico altamente especializado de diagnóstico e prescrição, destinado a ajudar os médicos nos casos de

infecções de meningite e de bacteremia. Possuindo uma base de conhecimento que acumula uma série de casos clínicos diagnosticados pelo MYCIN, oferecem oportunidade ao aluno de ter acesso a estes casos e de procederem diagnósticos através de perguntas que fazem ao sistema.

DEBUGGY [27] constitui um outro exemplo de Sistema Especialista aplicado à Educação, o qual é usado para descobrir e diagnosticar erros no domínio da subtração algébrica. Além disso, DEBUGGY procura explicar, através das respostas do aluno ao sistema, os principais problemas que devem ser sanados para que ocorra aprendizagem, oferecendo ao estudante somente os dados e exercícios terapêuticos necessários para eliminar suas falhas específicas.

Naturalmente, tais sistemas requerem um alto grau de sofisticação em programação, pois devem prever senão todas, grande parte das possíveis atitudes que possam ser tomadas pelo estudante durante sua interação com o sistema. Além disso, muitas vezes tais sistemas são desenvolvidos por especialistas em computação que não entendem muito da complexa tarefa que é ensinar, o que torna imprescindível uma atuação conjunta de especialistas tanto em Computação, como de Educadores e Professores. Há de se considerar, ainda, que os custos para desenvolvimento de tais sistemas são altos, e que exigem computadores de grande porte.

Além dos problemas mencionados anteriormente, existe o fato de que apesar de ser fácil representar o conhecimento e a performance do aluno utilizando os Sistemas Especialistas, ou mesmo outros sistemas ICAI, é complicado definir as estratégias de intervenção do sistema no ensino, ou seja, qual a maneira mais adequada para intervir durante a interação do usuário com o sistema, e o momento de intervir. Acrescenta-se a isto a

dificuldade em definir o que o sistema deve fornecer ao usuário durante uma intervenção.

Analizando os Sistemas Educacionais definidos anteriormente, percebe-se que, apesar de apresentarem uma grande quantidade de aplicações educacionais, os sistemas representados pelos Tutoriais e Exercício e Prática são dotados de uma linha de conduta, similar àquela habitualmente verificada nas salas de aula das escolas, ou seja, o computador fornecendo as regras a serem seguidas pelos alunos, e estes resolvendo exercícios de maneira mecânica, indecisa e por repetidas vezes. Estas repetições acentuadas acabam por fazer com que o aluno perca o interesse em trabalhar com o computador.

Em relação ao papel da simulação e dos jogos no campo da educação, nota-se uma preocupação com a sua eficiência educacional, isto é, acredita-se que ambos possam não ser capazes de criar situações que levem o aluno a refletir sobre o conteúdo que lhe é apresentado. As regras de um jogo, ou as regras para se proceder uma simulação são bem claras para o aluno, o que talvez não fique claro, são os pôrgues de uma determinada situação. Isto pode decorrer do fato de que o aluno queira atingir o objetivo final do jogo ("ganhar o jogo"), não se preocupando em analisar os passos intermediários que o conduziram ao final do jogo. No caso das simulações, a criança pode saber alterar um certo fenômeno de uma situação real, mas pode não saber identificar o que aconteceu durante a simulação, ou seja, como a alteração de alguma variável conduz ao resultado obtido. Evidentemente, se o professor souber complementar com os pôrgues, as situações oferecidas pelos jogos e simulações poderão se constituir em um bom ambiente de aprendizado.

Apesar dos sistemas ICAI, incluindo aqui os Sistemas

Especialistas usados na Educação, exercerem um diálogo muito melhor com o estudante, acredita-se que eles adotam uma postura ainda muito conducionista, ou seja, o aluno é dirigido pelo computador no seu processo de aprendizagem do conteúdo. Esta maneira de condução do processo de aprendizagem, além de ser muito semelhante a situação do aluno em uma sala de aula normal, pode levá-lo a não refletir sobre todo conteúdo envolvido na aprendizagem.

2.1.2 - Resolução de Problemas através do Computador - a Formalização do Conhecimento

Nesta segunda maneira de utilização do computador, a aprendizagem se dá através da exploração, busca, investigação, e descoberta. A máquina (computador) é usada livremente, ou seja, o aluno adquire conceitos através do envolvimento direto com programação. A idéia principal é a de que, ao programar um computador, o estudante estará desenvolvendo e expressando seu próprio entendimento sobre determinado assunto. O computador deixa de ser um meio de transferir informação e passa a ser uma ferramenta pela qual o aluno pode formalizar seus conhecimentos. Isto auxilia no desenvolvimento de suas habilidades, através da solução de um problema usando o computador, e não constituindo em um mero exercício destas habilidades. Observa-se que tudo que se aprende fazendo, explorando, investigando e descobrindo, tem um maior significado no desenvolvimento cognitivo do estudante, e permanece presente por muito mais tempo. Neste caso, procura-se explorar a aprendizagem individualizada, de maneira que ela se torne agradável e livre.

Dentro desta proposta ou filosofia, é encontrado o trabalho pioneiro de Seymour Papert [22], com a implementação da linguagem LOGO. O LOGO é, além de uma linguagem de programação, uma proposta alternativa interessante para a utilização do computador como uma ferramenta onde o estudante é completamente independente e livre para criar, construir, observar, enfim explorar, de inúmeras maneiras a sua capacidade criativa e inovadora. Obviamente, ele será sempre mediado por um facilitador que tem um papel fundamental nesse processo de ensino/aprendizagem.

Como mencionado anteriormente, LOGO é uma linguagem de programação, que incorpora em seu projeto recursos gráficos, como o caso da "geometria da tartaruga". Através destes recursos o aluno acaba descobrindo noções sobre ângulos, distâncias, ou seja, dominando toda uma geometria, pois passa a resolver problemas que implicitamente necessitam destes conceitos. A figura original da "tartaruga" que ao andar deixa um "rastro" na tela do computador, permite que, com uma programação muito simples, o estudante desenvolva desenhos e trabalhos muito interessantes, não apenas na área de Matemática, mas também em outras áreas como Biologia, Física, Química, etc... Esta linguagem, além de possuir inúmeros recursos gráficos, permite ainda a programação de listas que possibilitam as atividades de processamento simbólico.

A utilização de LOGO em ambientes escolares tem sido crescente, não só a níveis de 1º e 2º graus [26], como também a nível de ensino superior [23], onde diversos experimentos tem sido realizados.

A aprendizagem com LOGO se dá no instante em que o aluno passa a usar a linguagem para expressar seu entendimento sobre um determinado assunto. Ele é capaz de dar uma descrição precisa de

suas idéias, e ao mesmo tempo observar se estas idéias são corretas, refletindo sobre as respostas obtidas do computador e identificando as maneiras de corrigi-las, caso necessário. Por exemplo, o conjunto de comandos mostrado na figura 2.2, produz como resultado na tela, um quadrado. Através deste exemplo, pode-se observar algumas idéias interessantes. O aluno expressa seu conceito de quadrado como uma figura que possui quatro lados de mesmo comprimento e quatro ângulos iguais a 90° . Além disso, tem a oportunidade de observar visualmente, através do rastro feito pela tartaruga, que aquilo que foi desenhado, é exatamente o que se entende ser um quadrado. Assim, o fato de existir uma explicitação formal do conhecimento permite que o estudante possa manipular este conceito, executando, por exemplo, alterações em seus comandos. Neste sentido, pode-se observar o que aconteceria se, nos comandos da figura 2.2, fosse alterado o valor do ângulo de 90 para 120 graus.

O LOGO comparado a outros sistemas educacionais, possui ainda a peculiaridade de ser utilizado em qualquer nível escolar e também nas mais diversas áreas e disciplinas.

Entretanto, como esta filosofia de utilização do computador explora a construção de idéias e conceitos através da livre exploração, nem sempre contribui para que a criança desenvolva uma maneira eficaz de testar seus conhecimentos. Por exemplo, para esta criança talvez, o comando REPITA do LOGO sirva apenas para desenhar figuras fechadas, quando sabe-se que isto não é verdade. Para se eliminar esta idéia errônea e evitar outras, é necessário que professores e facilitadores sejam bem treinados para orientar o aluno no sentido de que corrijam suas idéias e explorem bem os recursos oferecidos por este tipo de aplicação.

```
APRENDA QUADRADO  
PARAFRENTE 10  
PARADIREITA 90  
PARAFRENTE 10  
PARADIREITA 90  
PARAFRENTE 10  
PARADIREITA 90  
PARAFRENTE 10  
PARADIREITA 90  
FIM
```

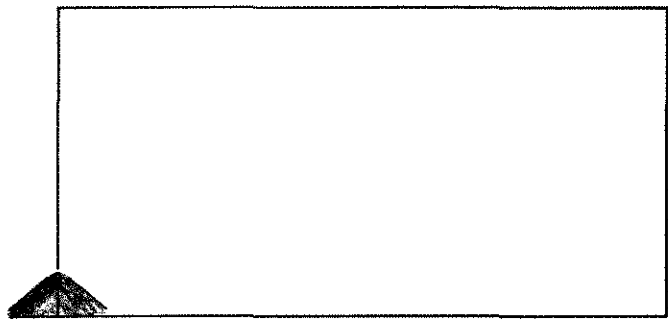


Figura 2.2 - Procedimento em LOGO que define um quadrado

Apesar de haver muito mais a ser discutido sobre LOGO e outros pacotes aplicativos [8], para este trabalho é relevante destacar o fato de que está sendo proposto um sistema computacional onde o aluno aprende através do processo de formalizar, explicitar, construir e testar seu conhecimento, "ensinando" o computador, e cuja filosofia está embasada em um procedimento cíclico de descrição, execução, reflexão e depuração do conhecimento.

2.2 - UMA PROPOSTA ALTERNATIVA

Apesar dos Sistemas Educacionais usados na transferência de conhecimento representarem uma grande variedade de aplicações no campo educacional, eles apresentam uma linha de conduta similar àquela utilizada atualmente nas salas de aula. A capacidade criativa do aluno passa a não ser explorada nestas aplicações, transformando o aluno em um ser passivo.

Isto não é diferente no ensino da Matemática, que passa por grandes problemas em decorrência da forma como esta disciplina vem sendo abordada. Trata-se, na maior parte das vezes, de um ensino que não desenvolve a capacidade de raciocínio, a criatividade do aluno e não associa o conteúdo apresentado com as experiências vivenciadas por ele.

Tendo em vista o exposto, propõe-se o desenvolvimento de um sistema que não detenha qualquer domínio de conhecimento, mas que dependa exclusivamente do estudante para que este conhecimento possa ser formalizado e explicitado. Logo, o estudante se vê na obrigação de pesquisar e estudar, para em seguida ensinar ao

sistema tudo o que sabe sobre o assunto e ainda, verificar este conhecimento através da resolução de problemas.

Com base na integração dos conceitos de ferramentas do tipo "SHELL", aplicadas a Sistemas Especialistas, e na concepção educacional que a metodologia LOGO possui, procurou-se criar condições, em um ambiente computacional, para que um estudante possa elaborar e explicitar, segundo uma linguagem específica, seu conhecimento através de regras. Tal conhecimento é testado por meio de exercícios, onde os resultados computacionais são obtidos segundo regras elaboradas e explicitadas pelo próprio aluno. Desse modo, o estudante torna-se o especialista que define as regras, insere-as no sistema e usa este sistema para testar seu conhecimento. O aluno descobre e aprende, da mesma maneira livre e criativa possibilitada pela metodologia LOGO, pois ele é o especialista que escreve a base de conhecimento.

O sistema desenvolvido, denominado Sistema Computacional para Resolucao de Equacoes de 1º grau - SICRE, permite a estudantes de nível primário, formalizar, explicitar e testar seu conhecimento através de regras, atuando na sua definição, execução, reflexão e depuração.

Optou-se pela abordagem de equações de 1º grau, inicialmente, pelo fato de tratar-se de um assunto de difícil ensino, porém estudado por qualquer aluno de 1º grau. Foi levado em conta ainda, que o conhecimento envolvido na resolução destas equações, pode ser facilmente expresso na forma de regras, o que o torna útil para ilustrar a idéia aqui proposta. Finalmente, cabe ressaltar que SICRE é utilizado na resolução de qualquer equação de 1º grau com coeficientes inteiros.

A filosofia que rege a concepção de SICRE é diferente daquela

comumente utilizada nos sistemas computacionais aplicados no ensino de Matemática [7][10]. Como exemplo destes sistemas pode-se destacar a Algebra Workbench [1][14], que constitui-se em um sistema para exploração de álgebra. Este sistema fornece facilidades de manipulação matemática para alunos de 1º grau. Sua interface é baseada em janelas, menus e "mouse", e foi implementado para computadores Macintosh. Neste, o estudante pode resolver equações utilizando operações já definidas. Estas operações, referem-se basicamente a adição, subtração, multiplicação e divisão de elementos, operação de elementos em ambos os membros, comando para cancelar operação, comando para verificar respostas, etc...

A Álgebra Workbench possui dois módulos: o aluno e o tutor. No módulo aluno, o estudante toma iniciativa em resolver uma equação. Ele escolhe as operações a serem executadas e então chama o especialista em álgebra do sistema para executar a operação. A qualquer momento ele pode acionar o tutor do sistema para indicar-lhe se a atitude que tomou é correta ou não; para apresentar-lhe o próximo passo; para indicar se sua resposta está certa. Cabe salientar que qualquer explanação do tutor é sempre a justificativa de suas atitudes. No módulo tutor, um problema é resolvido passo a passo, suas ações são explicadas. Além disso, o estudante pode sugerir alguma equação específica que ele queira que o tutor resolva. Durante esta resolução, o estudante pode intervir solicitando qualquer explicação a mais, ou sugerindo a execução de alguma operação.

A maneira que este sistema trabalha pode não ser muito estimuladora, pois poderá acomodar o estudante a recorrer frequentemente ao tutor para resolver seus problemas, evitando que ele faça uso de seu próprio esforço, contrariando ao que ocorre com SICRE.

CAPÍTULO 3 OBJETIVOS E METODOLOGIA

Tendo em vista a proposta alternativa que pretende-se implementar, são estabelecidos, a seguir, os objetivos que norteiam o presente trabalho, bem como, a metodologia utilizada para atingí-los.

3.1 - OBJETIVO GERAL

A proposta geral do presente trabalho é desenvolver, depurar e validar um sistema, com finalidade pedagógica, baseado em ferramentas do tipo "Shell", utilizadas na concepção de Sistemas Especialistas, enfatizando o processo de explicitação, formalização e construção do conhecimento de alunos de 1º grau.

3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Implementar um sistema, baseado na estrutura de um Sistema Especialista, a ser usado por alunos de 1º grau, onde tais alunos exercem as funções de especialista e usuário simultaneamente. Na função de especialista, o aluno incrementa a base de conhecimento

com o que sabe sobre o assunto, e na qualidade de usuário, testa este conhecimento usando a capacidade de reavaliação disponível no sistema.

b) Executar um Projeto Piloto com a participação de matemáticos de diferentes níveis de formação, e com quatro estudantes de 7^a série do 1^o grau, para a depuração do sistema implementado.

c) Realizar um Trabalho de Campo com dois grupos de alunos do 1^o grau, no sentido de verificar a viabilidade da utilização do sistema em um ambiente escolar.

3.3 - METODOLOGIA

O desenvolvimento metodológico utilizado para atingir os objetivos propostos, constou basicamente das seguintes atividades:

a) Implementação do sistema denominado SICRE, adotando-se o modelo básico de um Sistema Especialista, mantendo-se apenas, a estrutura da base de conhecimento sem o conteúdo, o qual é provido e avaliado pelo usuário.

b) Construção de um protótipo experimental do sistema que permitiu a realização do Projeto Piloto. Este Projeto Piloto foi executado em uma escola de 1^o grau, onde o sistema foi testado e avaliado por quatro alunos; e em uma universidade, onde dois professores e um aluno universitário também efetuaram a avaliação.

c) Depuração do sistema, com base no Projeto Piloto descrito no item b.

d) Realização de um Trabalho de Campo desenvolvido com duas abordagens diferentes:

1ª Abordagem: Experiência Individual

Um grupo de dez alunos, com os mais diversificados níveis de escolaridade, utilizaram o sistema individualmente por um período de uma hora e meia aproximadamente. A experiência de cada aluno foi acompanhada por um experimentador o qual propôs os exercícios a serem resolvidos, e documentou todas as ocorrências verificadas durante sua realização.

2ª Abordagem: Experiência em Grupo

Um grupo de onze alunos, em uma sala de aula computadorizada, tiveram a oportunidade de utilizar simultaneamente o sistema, por um período de tempo de aproximadamente duas horas. Nesta experiência, cada aluno utilizou o sistema individualmente, porém sem interferência direta do experimentador, o qual propôs os exercícios e utilizou um "datashow" para auxiliar os alunos durante a sessão.

CAPÍTULO 4 O SISTEMA SICRE

Este capítulo é dividido em duas partes:

A primeira parte contém uma descrição do SICRE, a qual fornece uma visão funcional do sistema, sendo que no capítulo seguinte são fornecidos detalhes mais aprofundados da sua implementação. Cabe observar que o sistema descrito é a versão utilizada nos testes de campo, e não constitui-se, necessariamente, na versão final do SICRE.

A segunda parte deste capítulo, apresenta uma demonstração detalhada, passo a passo, dos recursos do sistema.

As figuras apresentadas, com exceção das figuras 4.1 e 4.2, foram extraídas do programa original.

4.1 - DESCRIÇÃO FUNCIONAL DO SISTEMA SICRE

4.1.1 - Idéias Gerais

SICRE é um sistema computacional que baseia-se na idéia de criar condições para que o estudante possa elaborar e depois explicitar, segundo uma linguagem específica, seus conhecimentos através de regras, e em seguida testá-las, através da utilização do sistema. Assim, SICRE é destinado à explicitação de conceitos de Matemática, mais especificadamente equações de 1º grau, uma vez que o conhecimento necessário para a resolução destas equações pode ser facilmente expresso em forma de regras. Por exemplo, considerando a e b números inteiros, e x a variável da equação, para a equação $a \cdot x = b$, a resolução implica na utilização de uma regra do tipo:

SE $a \cdot x = b$
ENTÃO $x = b/a$.

Esta regra, no SICRE, é definida e implementada pelo aluno e utilizada na manipulação de operações executadas pelo próprio aluno. Portanto, SICRE é similar a um Sistema Especialista sem qualquer conhecimento, que permite que um estudante de nível primário atue como o especialista que fornece as regras para a base de conhecimento. Esta abordagem permite testar o processo de aprendizado, utilizando o computador para a formalização e explicitação do conhecimento do aluno através de regras. Assim, o aluno deve elaborar a regra, implementá-la no sistema, e usá-la na resolução de equações de 1º grau.

4.1.2 - Descrição do Sistema

SICRE consiste basicamente de quatro módulos e dois arquivos tipo "dribble file":

- Módulo Regras;
- Módulo Tradutor;
- Módulo Expert;
- Módulo Testes;
- Arquivo de Regras;
- Arquivo de Equações.

O Módulo Regras é um editor de texto especial, que permite ao aluno escrever, em uma linguagem específica, as regras que ele julgar necessárias para a resolução de suas equações.

O Módulo Tradutor faz a tradução das regras fornecidas pelo aluno através do Módulo Regras, analisando-as léxica e sintaticamente, e gerando cláusulas Prolog correspondentes a tais regras.

O Módulo Expert constitui a base de conhecimento que foi inserido, sendo constituído pelas regras que foram traduzidas pelo Módulo Tradutor.

O Módulo Testes permite que o aluno teste as regras por ele inseridas, através da resolução iterativa de equações. Neste módulo está inserido o mecanismo de inferência, cujo funcionamento é explicado no capítulo seguinte.

Além destes quatro módulos, SICRE possui um "Arquivo de Regras"

que contém a versão atual das regras escritas pelo aluno no Módulo Regras, e atua como auxiliar no diagnóstico dos erros cometidos pelo aluno. Possui ainda, um "Arquivo de Equações" com informações completas sobre o que aconteceu no Módulo Testes, durante uma determinada sessão de uso do sistema pelo aluno.

A interface com o usuário é feita basicamente à partir da apresentação de menus, de um editor de regras, e de uma janela, onde o aluno resolve suas equações, a qual convencionou-se chamar de "BOX". Adotou-se utilizar tais recursos devido a possibilidade dos menus apresentarem as diversas opções proporcionadas pelo sistema; em função da necessidade de dispor-se de um editor que permita ao usuário escrever suas regras; e finalmente, para que o aluno disponha de um espaço onde ele possa, interativamente, apresentar a resolução de suas equações.

4.1.2.1 - Módulo Regras

É o módulo pelo qual o aluno insere as regras que julgar necessárias e suficientes para resolver suas equações. Consiste basicamente de um editor de texto especial que permite a inserção e alteração de regras definidas pelo aluno, sendo estas expressas em uma linguagem simples e ainda, a visualização do Arquivo de Regras como um todo.

A regra é escrita segundo a idéia de preenchimento de lacunas nas suas partes antecedentes e conseqüentes. Assim, uma regra escrita neste Módulo é da seguinte maneira:

```
REGRA <numero>  
SE      antecedente  
ENTÃO   conseqüente
```

onde <numero> é o número da regra; antecedente e conseqüente serão preenchidos pelo aluno.

Por exemplo:

```
REGRA 1  
SE      a*x=b  
ENTAO   x=b/a
```

É importante notar que as palavras chaves REGRA <numero>, SE, ENTAO, são pré-definidas pelo editor, sendo inclusive a numeração das regras feita automaticamente, ou seja, para o caso de haver três regras já escritas, e do aluno querer inserir mais uma, o editor providenciará a seguinte disposição:

```
REGRA 4  
SE  
ENTAO
```

A numeração de regras para SICRE inicia-se pelo número 1, sendo que o processo de inserção de regras prosseguirá conforme necessidade do aluno. Uma vez inseridas as regras, ao deixar-se este Módulo, inicia-se o processo de análise das regras por parte do Módulo Tradutor.

4.1.2.2 - Arquivo de Regras

Este arquivo tem a função de guardar sempre a última versão do conjunto de regras definidas pelo aluno. As regras contidas neste arquivo, estão escritas na linguagem usada pelo estudante para escrever suas regras, ou seja, da seguinte forma:

```
REGRA #  
SE _____  
ENTÃO _____
```

No apêndice A é apresentado um exemplo de Arquivo de Regras.

4.1.2.3 - Módulo Tradutor

O Módulo Tradutor é um analisador léxico/sintático de Regras. Este analisador, escrito em Prolog, faz a análise léxica e sintática das regras escritas no Módulo Regras e armazenadas no Arquivo de Regras, e gera cláusulas Prolog para cada uma delas. O Módulo Tradutor, transparente ao usuário, é acionado quando este sai do Módulo Regras.

Dada uma regra, o analisador verifica o seu antecedente e consequente, gerando as cláusulas Prolog correspondentes, que formam a base de conhecimento do sistema. Assim, uma regra é formada por:

REGRA #
SE antecedente
ENTAO consequente

onde # indica o número da regra.

Esta regra é traduzida de forma geral para uma cláusula Prolog da seguinte maneira:

Regra(#,antecedente,termo adicional,consequente):-
 corpo da cláusula.

onde antecedente, termo adicional e consequente são listas Prolog. O corpo da cláusula, formado por outras cláusulas Prolog, poderá existir ou não, uma vez que em alguns casos, este será dispensável. Tais casos são explicados no capítulo 5 (Tipos de Cláusulas Independentes).

O termo adicional existirá somente em situações onde é necessário a operação de um determinado elemento em um ou em ambos os membros da equação, sendo definido por uma lista Prolog contendo este elemento. Caso contrário, o termo adicional é uma lista vazia.

4.1.2.4 - Módulo Expert

O Módulo Expert é a base de conhecimento do SICRE, ou seja, contém as regras do aluno, armazenadas no Arquivo de Regras, em forma de cláusulas Prolog geradas pelo Módulo Tradutor. Esse módulo é transparente ao usuário.

O processo de verificação da existência de uma regra, durante a iteração do aluno com o Módulo Testes, é feito pelo casamento de padrões ("matching"), ou seja, encontrada uma cláusula Prolog regra(#,antecedente,termo adicional,consequente) em que o antecedente seja satisfeito, o consequente desta cláusula será aplicado na resolução do problema. Ocorrido isto, o processo de procura de regras é interrompido.

A resolução dos problemas é baseada, então, na verificação da existência da regra e na aplicação de seu consequente, caso haja um "casamento de padrões" com o antecedente da mesma. No caso de ocorrerem regras com antecedentes iguais, o sistema aplicará aquela que encontrar primeiro. Cabe observar que a versão utilizada nos testes de campo não previa a solução para este problema de regras com antecedentes iguais (regras inconsistentes). No entanto, questionou-se a necessidade de sua implementação, conforme será apresentado e discutido no capítulo 6.

Não havendo uma regra que satisfaça as condições, o sistema emitirá uma mensagem indicando a impossibilidade de executar a operação solicitada.

O apêndice B mostra o conjunto de cláusulas Prolog gerado pelo Módulo Tradutor para o arquivo de regras do apêndice A.

4.1.2.5 - Módulo Testes

É o módulo pelo qual o usuário testa as regras inseridas no

sistema, através da resolução iterativa de equações.

Neste módulo, o controle da resolução de uma equação é totalmente exercido pelo aluno, através de um janela de visualização, a qual convencionou-se chamar de "BOX", que indica cada passo desta resolução. Caso o aluno tente executar uma operação que não esteja definida, em forma de uma regra no Módulo Expert, será emitida uma mensagem de erro.

Ao final da resolução de uma equação, o SICRE verifica se a resposta obtida pelo aluno é correta ou não, emitindo também uma mensagem simples, do tipo "O RESULTADO ESTÁ CORRETO" ou "O RESULTADO NÃO ESTÁ CORRETO" .

4.1.2.6 - Arquivo de Equações

Fazendo uma analogia, pode-se considerar o Arquivo de Equações como sendo a caixa preta de um avião, ou seja, é onde ficarão registrados todos os passos tomados pelo aluno, durante uma sessão no Módulo Testes. As informações nele contidas são:

- data e nome do arquivo;
- equações e passos de sua resolução;
- regras usadas durante a resolução das equações;
- as partes marcadas em modo reverso;
- mensagens do sistema.

Adotou-se, então, as seguintes convenções para as informações contidas neste arquivo:

- a) As mensagens do sistema e as operações escolhidas pelo

usuário estão em caixa alta;

b) O fim da resolução de uma equação é indicado com um traço duplo;

c) Dois traços simples indicam a manipulação de regras, como a inserção, alteração ou eliminação;

d) Um traço simples indica o início do processo de seleção de alguma operação a ser realizada na equação.

No apêndice C, é fornecido um exemplo do conteúdo de um Arquivo de Equações.

Este arquivo é um importante meio de diagnóstico das dificuldades encontradas pelo usuário ao resolver uma equação. Por exemplo, através dele, um professor pode fazer um levantamento dos erros mais comuns, e com isso enfocá-los, a fim de obter um melhor aproveitamento em suas aulas.

4.1.3 - Fluxo de Execução do SICRE

A figura 4.1 a seguir, descreve o funcionamento operacional do SICRE, onde as relações entre os componentes do sistema são identificadas através de setas numeradas, e os módulos transparentes ao usuário são representados por caixas tracejadas. Cabe observar que fluxo de dados é entendido como o percurso das informações no sistema; fluxo de controle são os parâmetros que possibilitam o redirecionamento do processamento; e fluxo de chamada refere-se à requisição de uma função atribuída a um outro

módulo, que não é aquele que a solicitou.

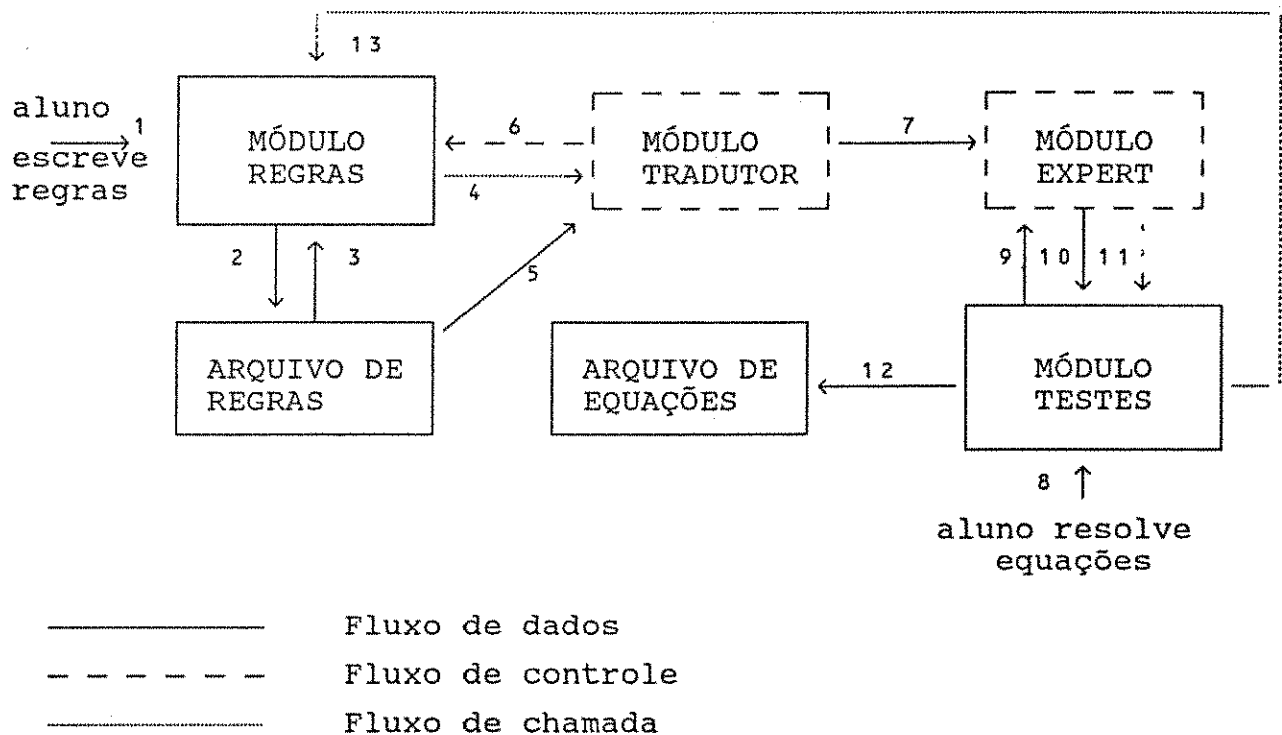


figura 4.1 - Relações entre os Módulos e Arquivos

Assim, o fluxo de execução representado na figura 4.1, através de setas, é identificado pelos índices definidos a seguir:

- 1 - o aluno interage com o Módulo Regras escrevendo, alterando e apagando regras;

- 2 - cada regra escrita pelo aluno no Módulo Regras é escrita no Arquivo de Regras;
- 3 - necessitando alterar uma regra, o aluno pode recuperá-la do Arquivo de Regras;
- 4 - O Módulo Tradutor é acionado quando o aluno encerra sua interação com o Módulo Regras;
- 5 - O Módulo Tradutor faz a análise léxica/sintática das regras, tomando-as individualmente do Arquivo de Regras;
- 6 - Caso seja identificado algum erro léxico/sintático em uma regra é emitido um sinal ao Módulo Regras para que seja procedida a correção;
- 7 - A medida que transcorre o processo de análise das regras são geradas pelo Módulo Tradutor, cláusulas Prolog correspondentes a tais regras, as quais são escritas no Módulo Expert;
- 8 - O aluno resolve suas equações através do Módulo Testes que é acionado, opcionalmente, tão logo o aluno saia do Módulo Regras;
- 9 - Na resolução de uma equação, o aluno deve escolher e marcar o trecho desta equação que ele deseja que seja resolvido e selecionar a operação que execute esta tarefa. Este trecho da equação é então transformado em uma lista Prolog que, juntamente com a operação escolhida é passada ao Módulo Expert para que seja verificada a existência de um antecedente em uma determinada regra, que satisfaça a lista.

- 10 - Encontrada uma regra que tenha seu antecedente satisfeito, o consequente é então devolvido ao Módulo Testes, para aplicação na continuidade da resolução da equação;
- 11 - Caso não haja uma regra que satisfaça o antecedente, um sinal é emitido ao Módulo Testes informando o ocorrido;
- 12 - Qualquer procedimento do aluno no Módulo Testes é registrado no Arquivo de Equações. Cada sessão possui um Arquivo de Equações distinto;
- 13 - Durante a resolução de uma equação, o aluno pode suspender suas atividades no Módulo Testes e acionar o Módulo Regras para escrever, alterar ou apagar uma regra. Ao retornar do Módulo Regras, são retomadas as atividades no Módulo Testes, no ponto em que ocorreu a suspensão das atividades.

4.2 - DESCRIÇÃO DETALHADA DO SICRE

Nesta segunda parte, são apresentados os recursos e alternativas do SICRE, através da descrição, passo a passo, da execução do programa. A figura 4.2 apresenta as opções do sistema na forma de um diagrama hierárquico, com finalidade de proporcionar uma melhor visualização do sistema como um todo.

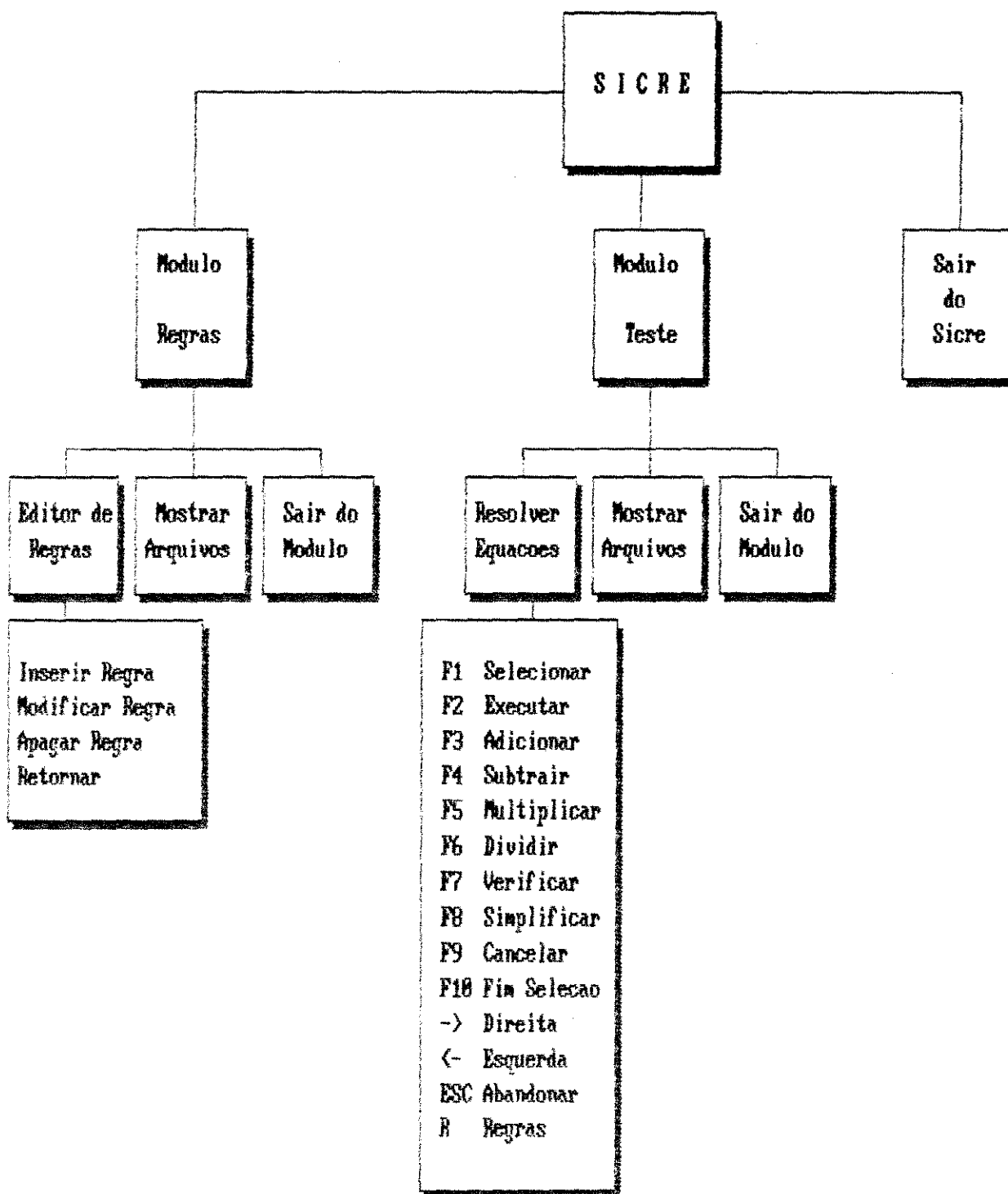


Figura 4.2 - Diagrama Hierarquico de Funcoes do SICRE

Na descrição que segue, supõe-se que algumas regras já foram definidas na base de regras, e que elas são suficientes para a resolução das equações apresentadas nesta descrição.

4.2.1 - Inicialização

O SICRE pode ser utilizado em qualquer equipamento compatível com um IBM/PC e executado sobre o sistema operacional MS-DOS. Os arquivos podem estar armazenados em disquetes ou disco rígido.

Para iniciar a execução do sistema, digita-se:

```
C>sicre
```

A figura 4.3 mostra a primeira tela do sistema, isto é, a tela de apresentação com o nome do sistema, autor e versão.

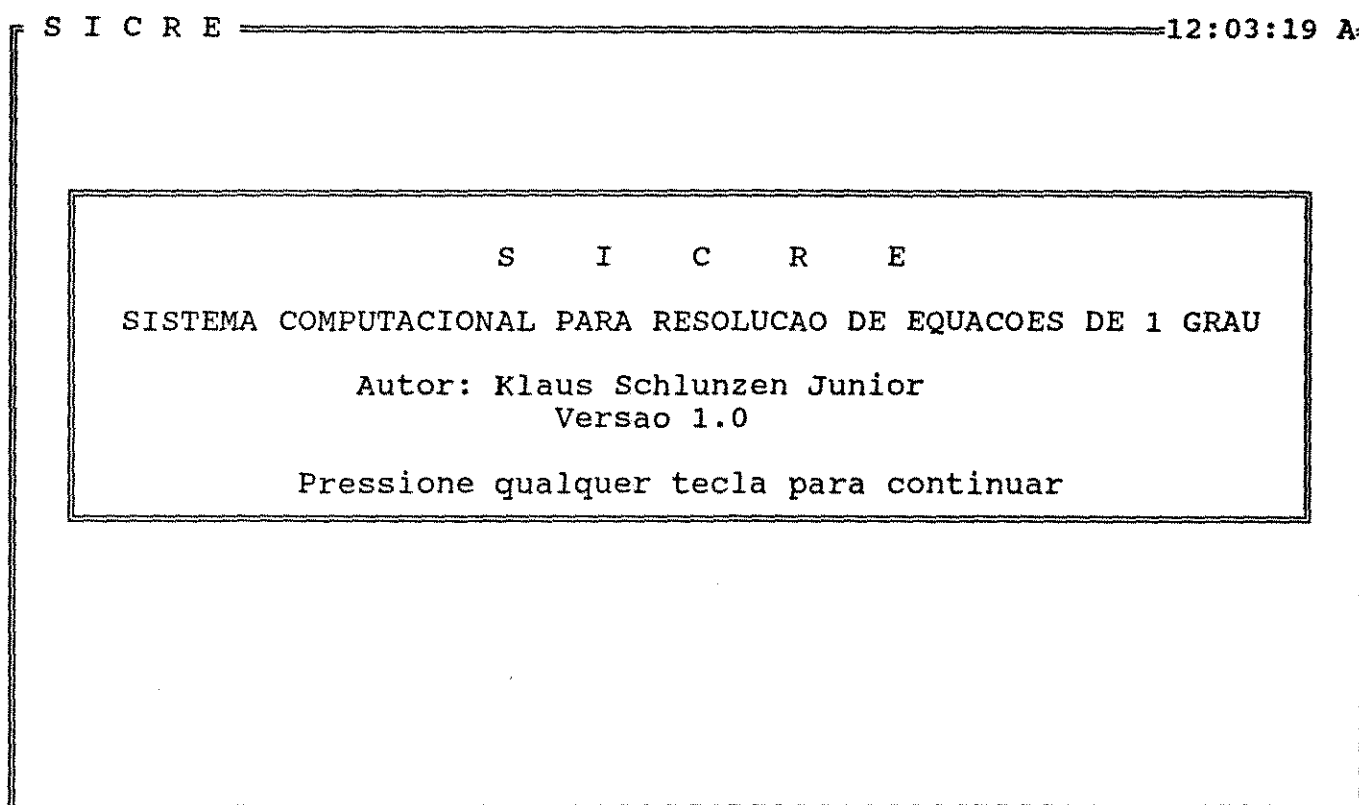


Figura 4.3 - Tela de Apresentação

Em seguida, o sistema requisita a data e o nome do arquivo de equações, conforme mostrado na figura 4.4.

S I C R E

12:03:30 A

NOME DO ARQUIVO DE EQUACOES: sessao1

DATA (DD/MM/AA) : 26/06/91

Pressione qualquer tecla para continuar

Figura 4.4 - Data e Nome do Arquivo de Equações

A data é interessante para que haja um controle do desenvolvimento cronológico do uso do sistema por parte de um usuário específico. Já o nome do arquivo de equações representa o histórico completo de uma sessão desenvolvida. Cabe observar que um mesmo aluno não poderá fornecer nomes iguais para diferentes sessões. Caso isto venha a ocorrer, uma mensagem de aviso é emitida, cujo teor é apresentado na figura 4.5, e o aluno deverá então fornecer outro nome ao arquivo.

S I C R E		12:03:55 A
NOME DO ARQUIVO DE EQUAC		NOME PARA ARQUIVO JA EXISTENTE !!! DE OUTRO NOME APERTE QUALQUER TECLA
DATA (DD/MM/AA) :		

Figura 4.5 - Mensagem emitida em caso de Nome repetido para o Arquivo de Equações

Em seguida, são apresentadas as três opções principais do SICRE, através de um menu, sendo cada uma delas escolhida pelo número que a identifica. Na figura 4.6 são apresentadas estas opções.

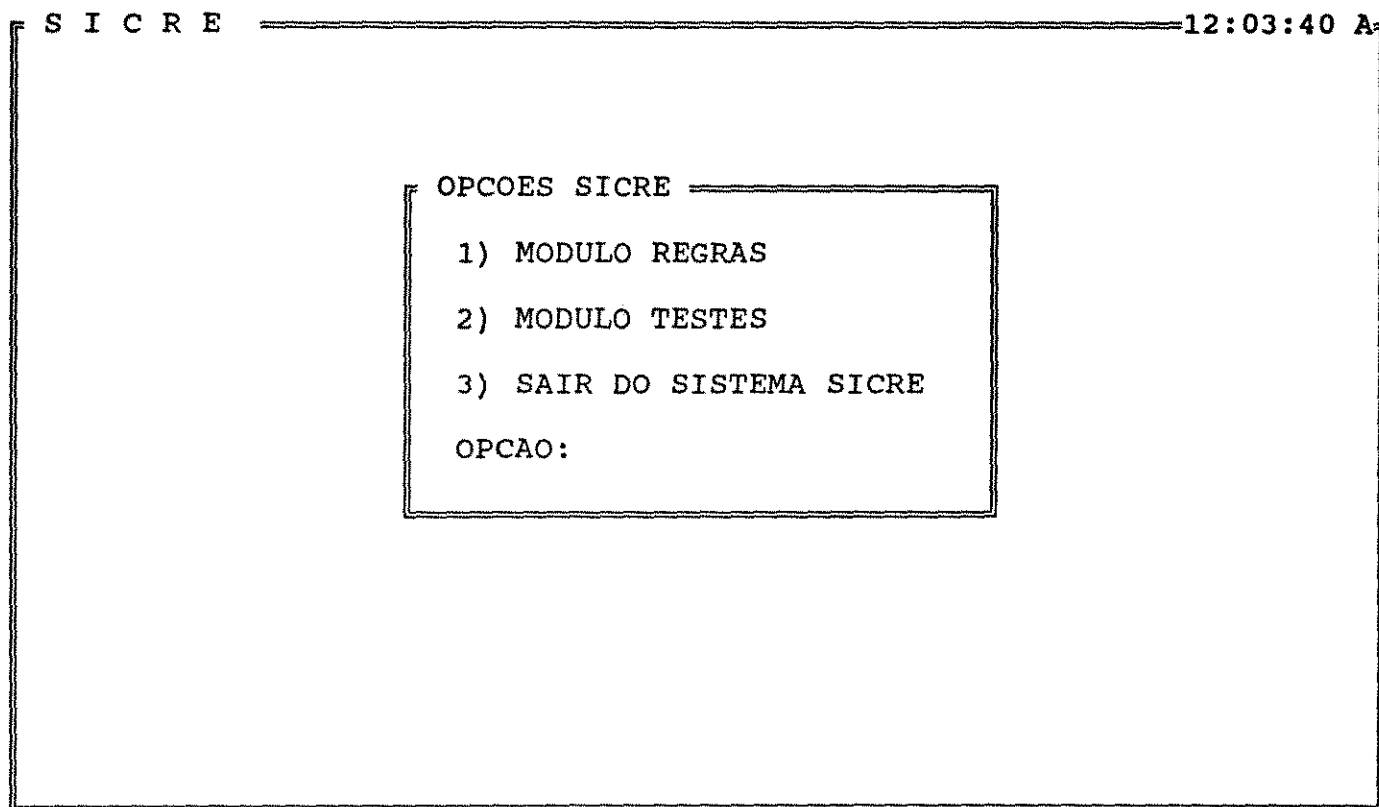


Figura 4.6 - Menu Principal de SICRE

A seguir, descreve-se cada uma das três opções.

4.2.2 - Opção 1 : Módulo Regras

A opção 1 dá acesso ao Módulo Regras. A figura 4.7 mostra o primeiro menu de apresentação, o qual mostra ainda três opções: Editor de Regras, Mostrar Arquivo de Regras e Sair do Módulo

Regras.

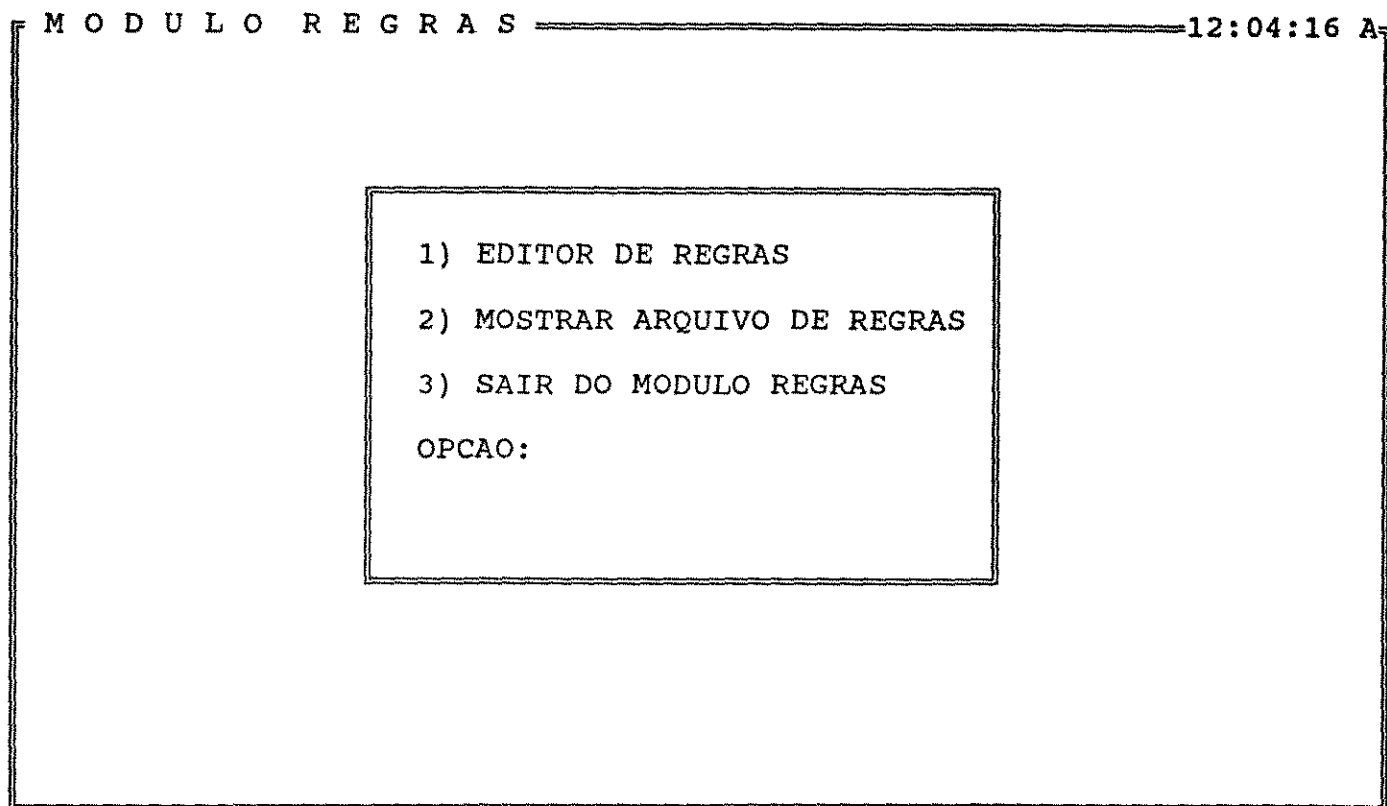


Figura 4.7 - Menu de Apresentação do Módulo Regras

4.2.2.1 - Editor de Regras

Na escolha da OPÇÃO 1, acessa-se o editor de regras de SICRE, onde é encontrado um novo menu com outras quatro opções, como mostra a figura 4.8.

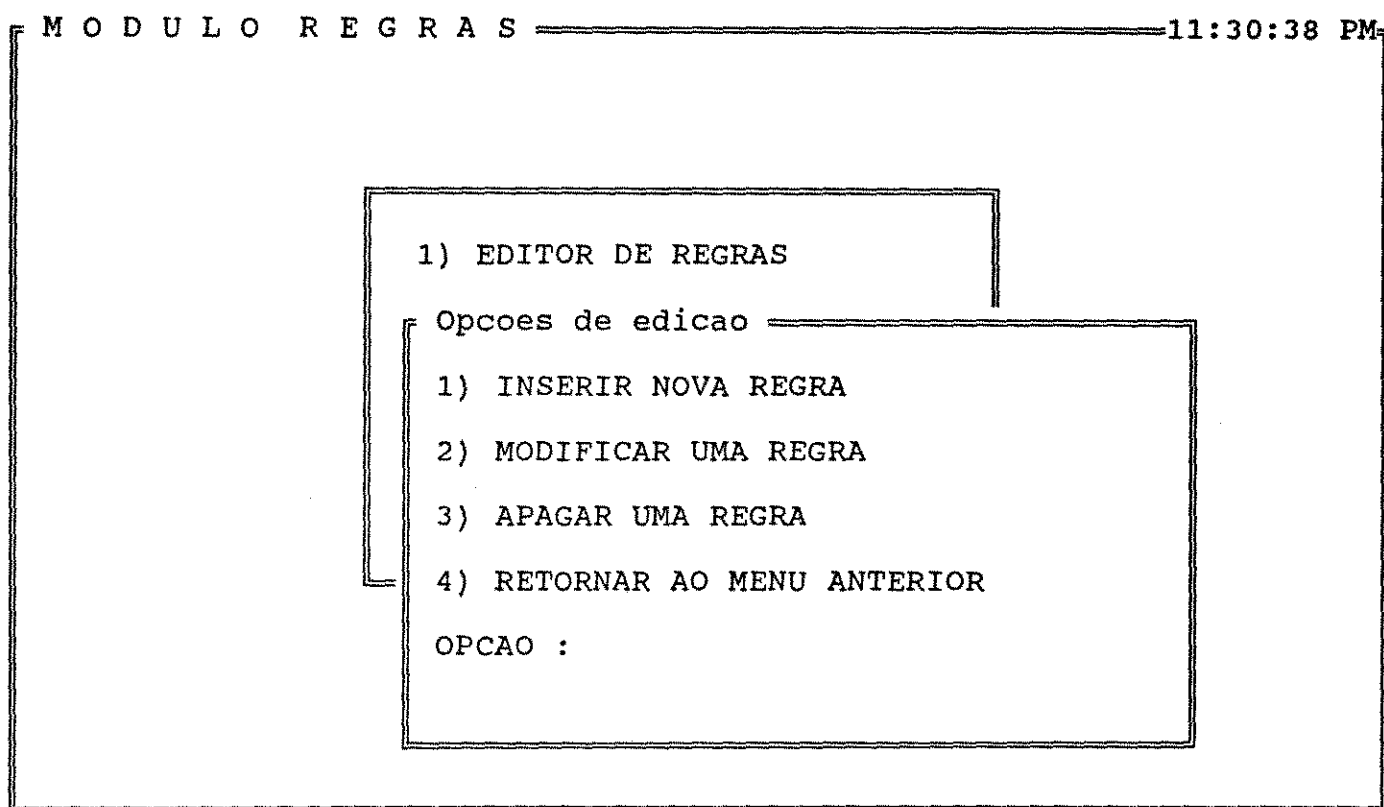


Figura 4.8 - Opções do Editor de Regras

A seguir, é feito um detalhamento de cada uma destas opções:

i) Inserir Nova Regra: O objetivo é, como o próprio nome indica, acrescentar uma nova regra à base de regras. O sistema, automaticamente, se encarrega de encontrar o número correto para a regra, em ordem crescente em relação às regras já existentes. Basta, então, o usuário digitar as partes antecedentes e consequentes da regra. A figura 4.9 mostra a tela que é visualizada caso se queira digitar a 1ª regra da base de

conhecimento.

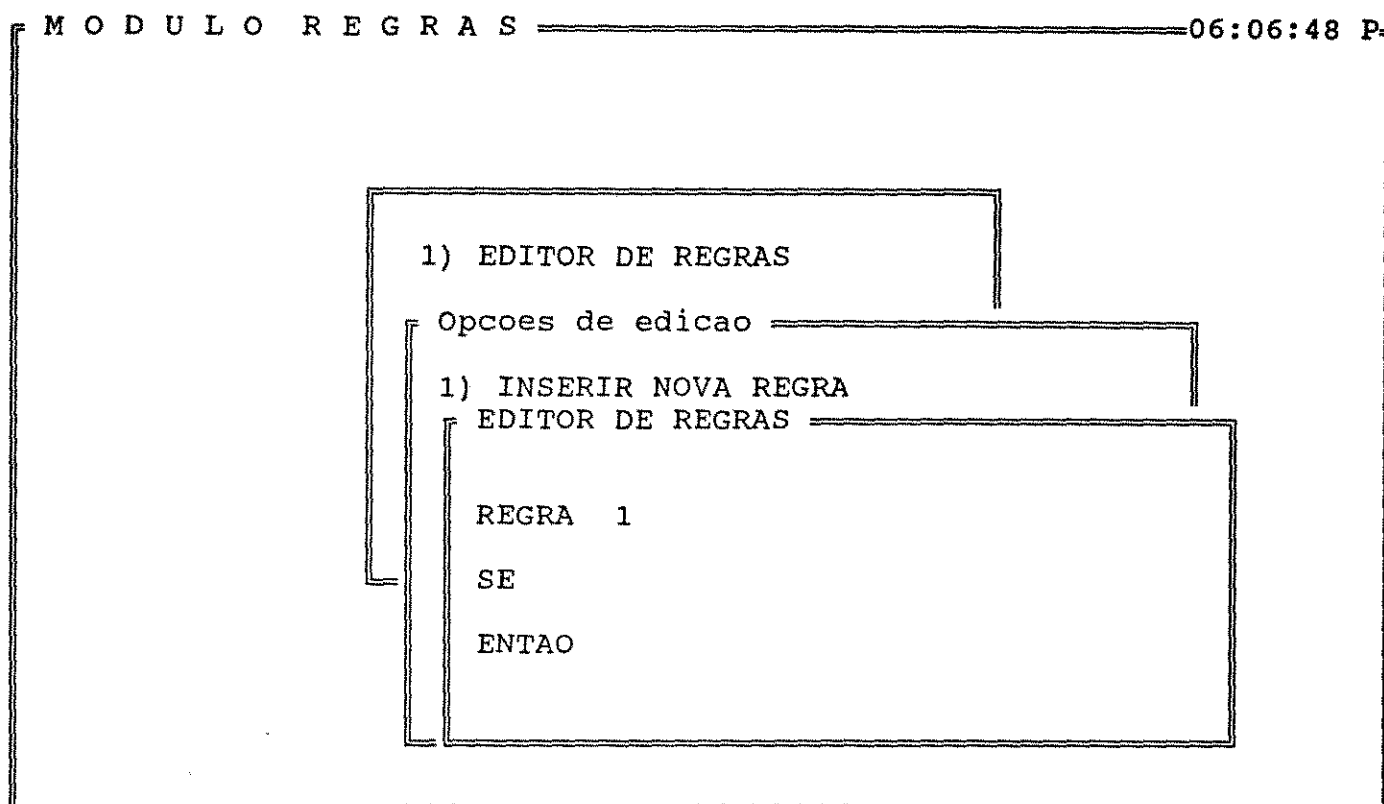


Figura 4.9 - Edição de Regras

ii) Modificar uma Regra: Esta opção permite ao aluno alterar uma determinada regra, através da indicação do seu número¹. Isto pode ser observado na figura 4.10.

1_____

Com a utilização da opção "Mostrar Arquivo de Regras" (que será detalhada mais adiante) o usuário poderá descobrir o número da regra, caso tenha se esquecido.

MODULO REGRAS 06:08:07 P

1) EDITOR DE REGRAS

Opcoes de edicao

1) INSERIR NOVA REGRA

2) MODIFICAR UMA REGRA

Numero da regra a modificar: 2

Digite -1 para cancelar a operacao

Figura 4.10 - Opção Modificar uma Regra

Indicado o número da regra, ela é recuperada, e então o usuário tem condições de realizar as modificações necessárias, conforme ilustrado na figura 4.11.

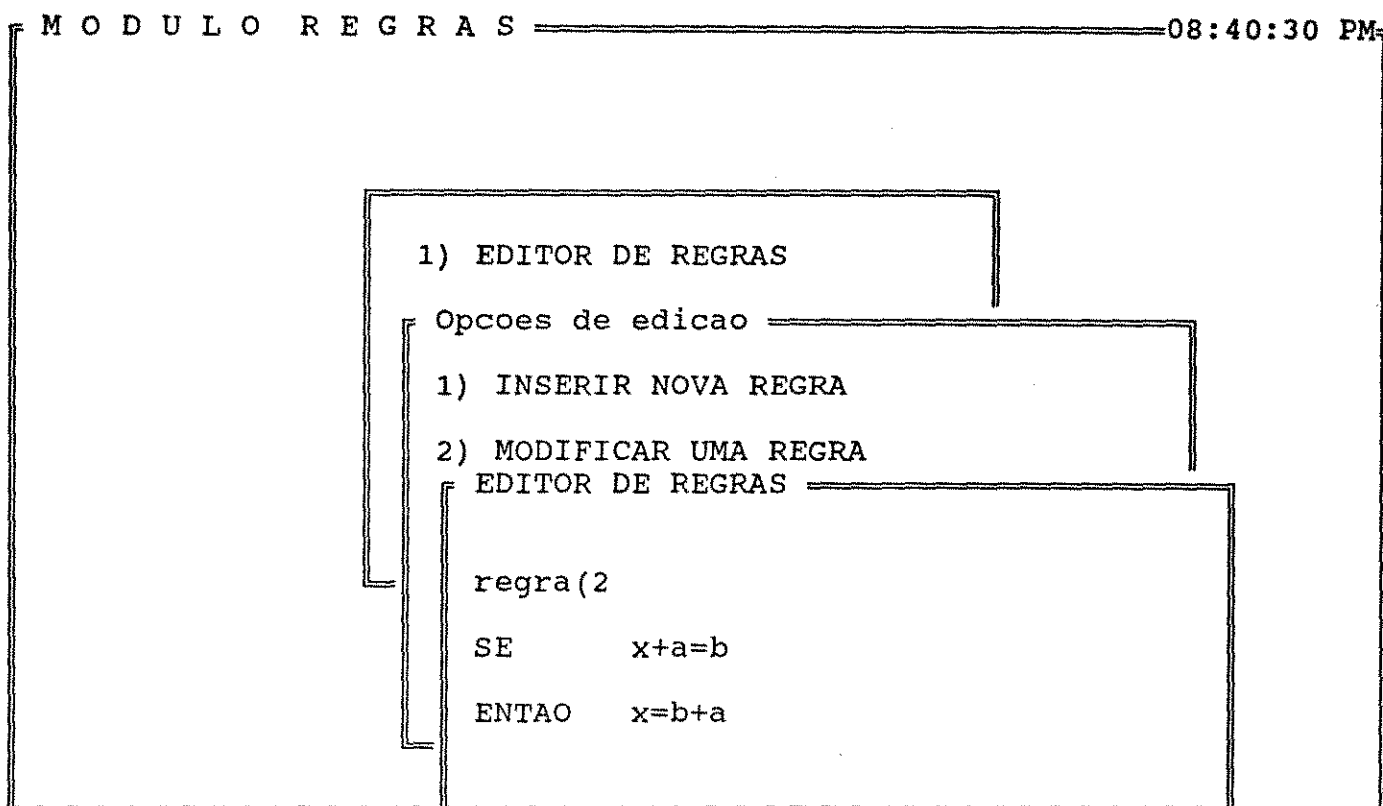


Figura 4.11 - Alteração de uma Regra

Neste caso, o cursor se posiciona no primeiro caracter do antecedente da regra, permitindo que o usuário o corrija, se desejar. Caso contrário, com a tecla "ENTER", ele poderá corrigir o consequente.

iii) Apagar uma Regra: Pela escolha do seu número, pode-se então, apagar uma regra. Esta possibilidade é mostrada na figura 4.12.

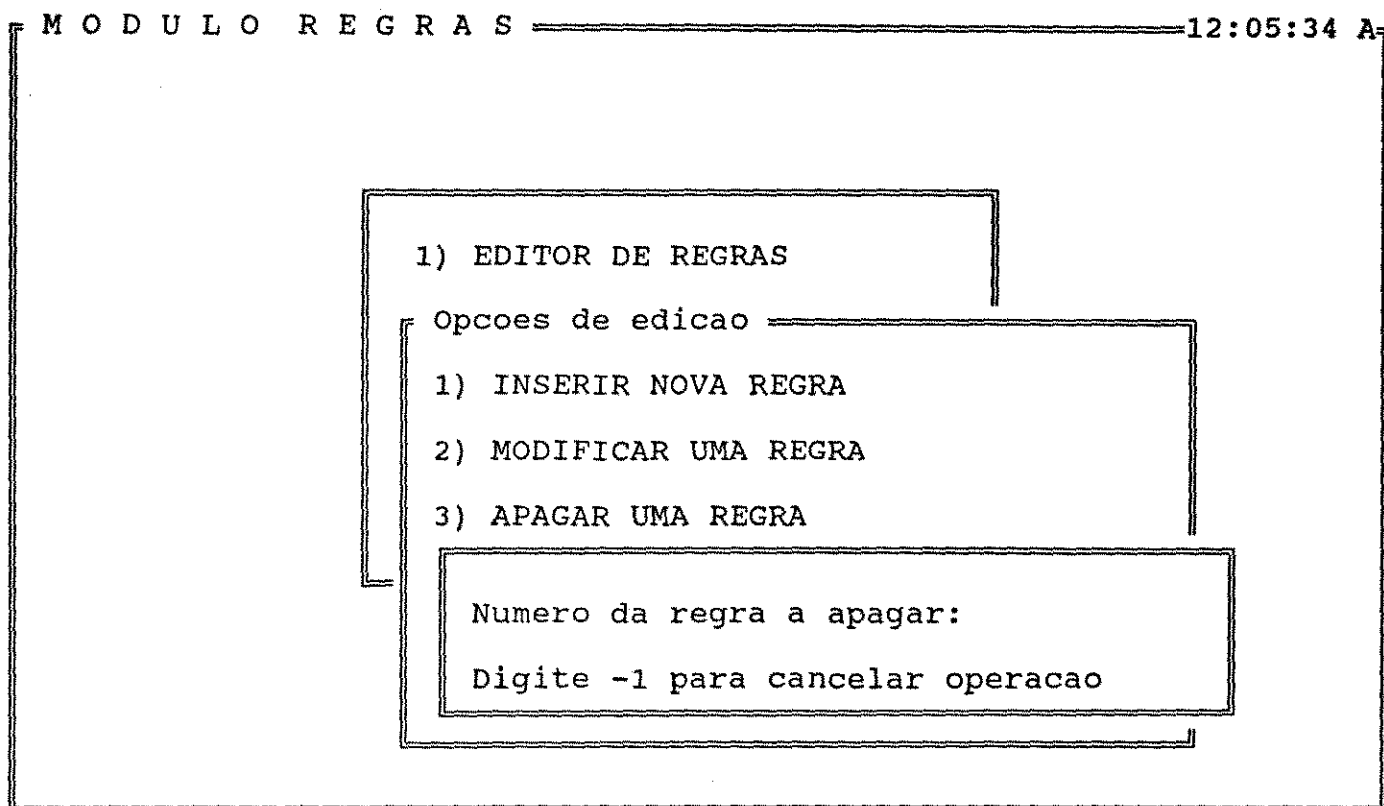


Figura 4.12 - Apagar uma Regra

Cabe observar que o sistema trata de rearranjar a numeração das regras automaticamente, isto é, caso a regra número 4 seja apagada, a regra 5 passará a ser a 4ª regra; a regra 6 será a 5ª regra, e assim por diante.

iv) Retornar ao menu anterior: Com esta opção retorna-se ao primeiro menu do Módulo Regras, mostrado na figura 4.7.

4.2.2.2 - Mostrar Arquivo de Regras

Escolhendo-se esta opção, o sistema verifica inicialmente se existe alguma impressora em linha com o equipamento. Em caso afirmativo, imprime o conteúdo do arquivo caso a impressora esteja ligada, ou então, apresenta-o no monitor de vídeo.

4.2.2.3 - Sair do Módulo Regras

Deixar o Módulo Regras não implica tão somente em voltar ao menu principal ilustrado na figura 4.6. É efetuada uma análise léxica/sintática da base de regras e são geradas cláusulas Prolog que comporão uma nova base de regras. Caso seja encontrado algum erro léxico/sintático nas regras, uma mensagem indica o número da regra incorreta, de acordo com a figura 4.13.

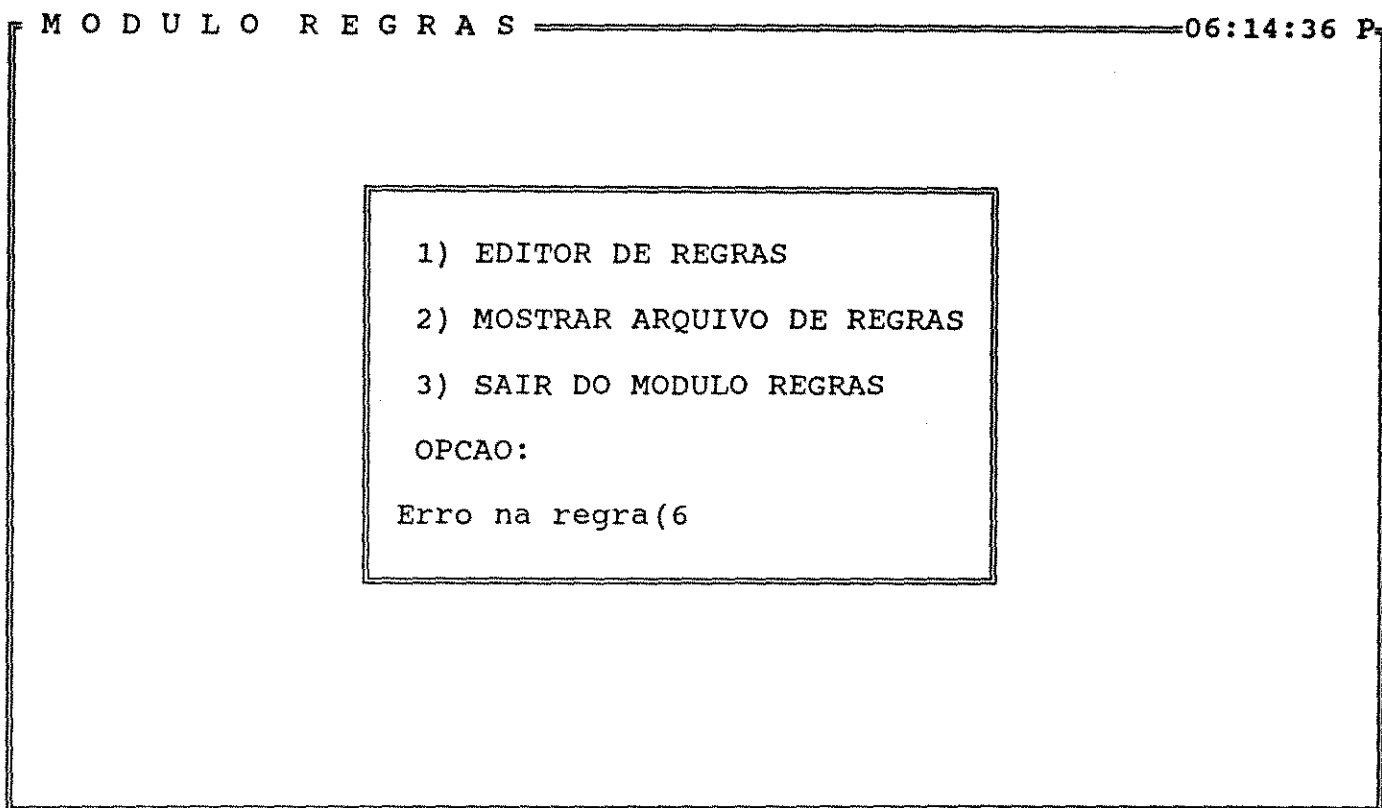


Figura 4.13 - Mensagem de erro do analisador léxico/sintático

Feita a análise das regras, e não sendo encontrado nenhum erro, volta-se ao menu principal do sistema (figura 4.6).

4.2.3 - Opção 2: Módulo Testes

Escolhida esta opção, passa-se ao Módulo Testes, cujo menu de opções é apresentado na figura 4.14.

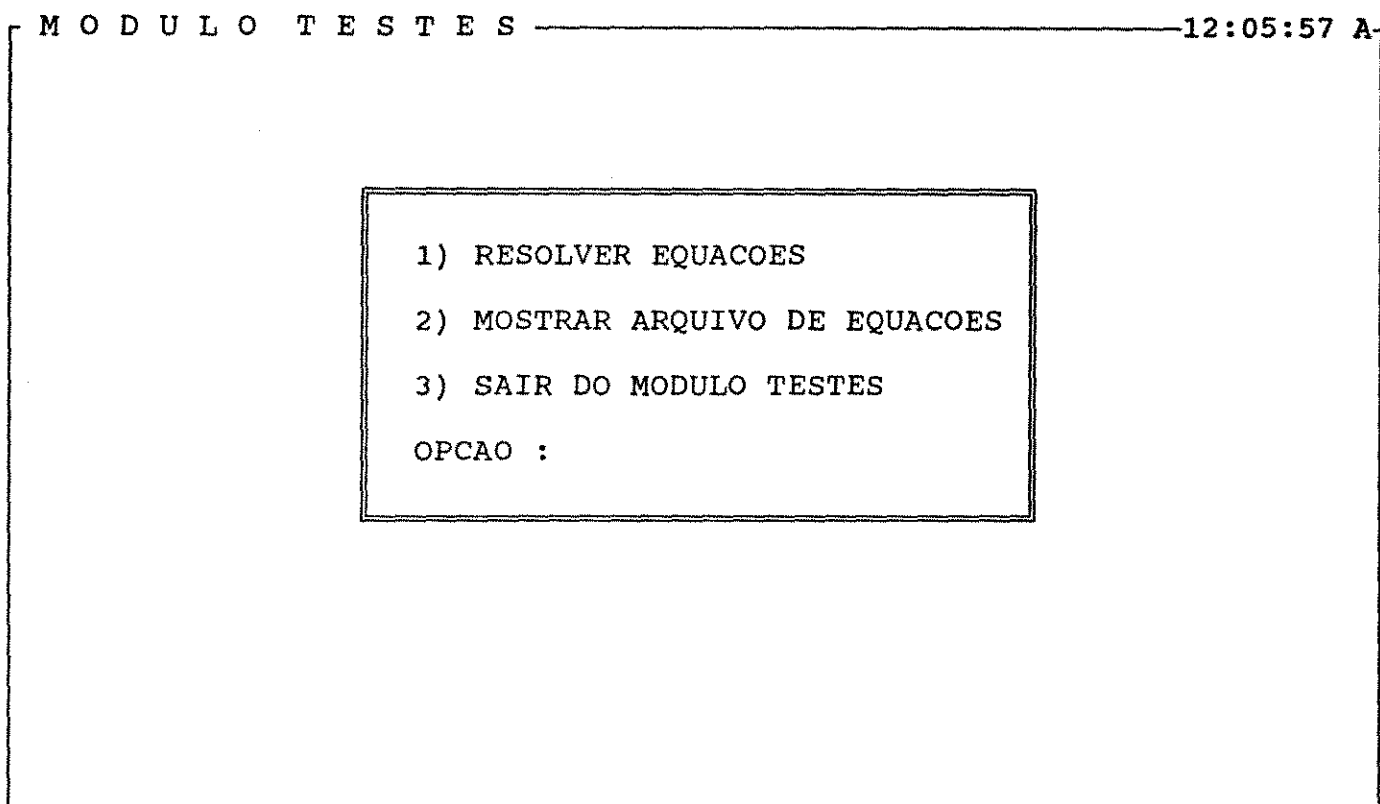


Figura 4.14 - Menu de opções do Módulo Testes

4.2.3.1 - Resolver Equações

Ao optar-se por resolver uma equação, entra-se em um ambiente o qual denominou-se "BOX", onde o aluno interage com o sistema e resolve suas equações. Além disso, o aluno tem disponível um menu de operações, conforme mostra a figura 4.15.

MODULO TESTES

06:08:48 P

Equacao a ser resolvida:

F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR	
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR	F9 CANCELAR
F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA	ESC ABANDONAR	R REGRAS

Figura 4.15 - "BOX" e menu de operações do Módulo Testes

A seguir, é descrita cada uma destas operações:

OPERAÇÃO

DESCRIÇÃO

SELECIONAR

Indica o elemento inicial da equação a ser marcado em modo reverso.

EXECUTAR

Executa a operação aritmética solicitada ou alguma manipulação algébrica nos elementos da equação marcados em modo reverso. Por exemplo, dada a regra

$$\text{SE } x+a=b$$

$$\text{ENTAO } x=b-a$$

e a equação $x+3=8$, é possível a aplicação da regra para transformar a equação anterior em :

$$x=8-3.$$

ADICIONAR

Adiciona um elemento em um ou ambos os membros da equação. Esta operação, bem como as três seguintes, tornam possível verificar a premissa de que a operação de um elemento em ambos os membros da equação não altera a igualdade.

SUBTRAIR

Subtrai um elemento em um ou ambos os membros da equação.

MULTIPLICAR

Multiplica um elemento em um ou ambos os membros da equação.

DIVIDIR

Divide um elemento em um ou ambos os membros.

VERIFICAR

Analisa se a resposta obtida pelo aluno é a correta ou não, e emite uma mensagem afirmativa ou negativa, respectivamente. Esta operação

permite ao aluno avaliar o resultado obtido na resolução de uma equação.

SIMPLIFICAR

Executa simplificações na equação, eliminando os elementos neutros e os sinais desnecessários.

CANCELAR

Cancela uma marcação em modo reverso caso o usuário erre na escolha de algum elemento da equação.

FIM SELEÇÃO

Indica o final da utilização do modo reverso. Só é usada quando se quer marcar mais de um trecho na equação.

ABANDONAR

Abandona a resolução de um exercício.

->

Movimenta o cursor para a direita, e quando acionada posteriormente à operação SELECIONAR, faz a marcação em modo reverso.

<-

Movimenta o cursor para a esquerda.

REGRAS

Suspende a resolução de uma equação, sai do Módulo Testes, e transfere o controle para o Módulo Regras. Ao retornar ao Módulo Testes, volta-se ao mesmo estágio onde a resolução da equação havia sido suspensa. Esta operação é útil quando se esquece

alguma regra necessária na resolução de um exercício, e é importante para que o usuário possa inserir ou até mesmo alterar uma regra sem ter que reiniciar toda a resolução.

Ao se digitar uma equação, é feita uma análise para verificar se a equação é uma sentença válida². Caso não o seja, o sistema emite uma mensagem conforme ilustra a figura 4.16.

MODULO TESTES

11:33:07 PM

Equacao a ser resolvida:

2*x+3+5

EQUACAO INVALIDA

F1 SELECIONAR F2 EXECUTAR F3 ADICIONAR F4 SUBTRAIR
F5 MULTIPLICAR F6 DIVIDIR F7 VERIFICAR F8 SIMPLIFICAR F9 CANCELAR
F10 FIM SELECAO -> DIREITA <- ESQUERDA ESC ABANDONAR R REGRAS

figura 4.16 - Mensagem de Equação Inválida

2_____

Entende-se por sentença válida qualquer equação do 1^o grau.

No "BOX", é representado cada passo da resolução, sendo que estes passos são determinados pelo aluno, através da marcação em modo reverso da parte a ser modificada na equação (figura 4.17).

MODULO TESTES

06:09:11 P

Equacao a ser resolvida:
$$2 * x + 3 - 4 = 6$$

F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR
F9 CANCELAR	F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA
ESC ABANDONAR		R REGRAS	

Figura 4.17 - Marcação de um trecho de uma equação em modo reverso

Para ilustrar a resolução da equação $x+3=4$ no Módulo Testes é utilizada uma seqüência de passos. Primeiramente, escolhe-se a operação F1 SELECIONAR, para indicar o início da marcação em modo

reverso. Com a seta para a direita, marca-se o trecho $x+3$ da equação. Em seguida, através da operação F10 FIM SELECAO, move-se o cursor sem que os elementos sejam marcados em modo reverso. Coloca-se o cursor sobre o número 4 e a operação F1 SELECIONAR é escolhida, marcando-se com isso também o número 4. Posteriormente, seleciona-se a operação F4 SUBTRAIR e é então solicitado o elemento a ser subtraído em ambos os membros, conforme ilustra a figura 4.18.

MODULO TESTES Equacao a ser resolvida: $x + 3 = 4$	06:10:04 P												
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> ELEMENTO —> 3 Aperte qualquer tecla </div>													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">F1 SELECIONAR</td> <td style="width: 25%;">F2 EXECUTAR</td> <td style="width: 25%;">F3 ADICIONAR</td> <td style="width: 25%;">F4 SUBTRAIR</td> </tr> <tr> <td>F5 MULTIPLICAR</td> <td>F6 DIVIDIR</td> <td>F7 VERIFICAR</td> <td>F8 SIMPLIFICAR</td> </tr> <tr> <td>F10 FIM SELECAO</td> <td>-> DIREITA</td> <td><- ESQUERDA</td> <td>ESC ABANDONAR R REGRAS</td> </tr> </table>		F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR	F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR	F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA	ESC ABANDONAR R REGRAS
F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR										
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR										
F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA	ESC ABANDONAR R REGRAS										

Figura 4.18 - Operação de um elemento em ambos os membros

Digitado o elemento, a base de regras é consultada e, caso seja possível executar tal operação pela definição de uma regra que a contemple, passa-se ao passo seguinte apresentado na figura 4.19.

-06:09:11 P-

Eguacao a ser resolvida:

$$x + 3 = 4$$
$$x + 3 - 3 = +4 - 3$$

F1 SELECIONAR F2 EXECUTAR F3 ADICIONAR F4 SUBTRAIR
F5 MULTIPLICAR F6 DIVIDIR F7 VERIFICAR F8 SIMPLIFICAR F9 CANCELAR
F10 FIM SELECAO -> DIREITA <- ESQUERDA ESC ABANDONAR R REGRAS

Figura 4.19 - Passo seguinte após a operação de um elemento em os membros

Com a seta para a direita, posiciona-se agora o cursor sob o número 3 e escolhe-se a operação F1 SELECIONAR. Novamente, através da seta da direita, marca-se em modo reverso o trecho 3-3. Utilizando-se da operação F10 FIM SELECAO, leva-se o cursor,

até o número 4, através da seta da direita, e em seguida marca-se o trecho 4-3 pela escolha da operação F1 SELECIONAR e utilização da seta da direita. Com a opção F2 EXECUTAR, realiza-se a operação de subtração de 3-3 e 4-3, conforme figura 4.20.

MODULO TESTES

06:09:11 P

Equacao a ser resolvida:
$$x + 3 = 4$$
$$x + 3 - 3 = + 4 - 3$$
$$x + 0 = + 1$$

F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR
F9 CANCELAR	F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA
		ESC ABANDONAR	R REGRAS

Figura 4.20 - Operações aritméticas

Através da operação F8 SIMPLIFICAR, elimina-se os sinais e zeros desnecessários, conforme ilustrado na figura 4.21.

MODULO TESTES

06:09:11 P

Equacao a ser resolvida:

$$x + 3 = 4$$

$$x + 3 - 3 = + 4 - 3$$

$$x + 0 = + 1$$

$$x = 1$$

F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR	
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR	F9 CANCELAR
F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA	ESC ABANDONAR	R REGRAS

Figura 4.21 - Uso da operação F8 SIMPLIFICAR

Optando-se pela operação F7 VERIFICAR, pode-se avaliar se o resultado é correto ou não através de uma mensagem emitida pelo sistema e ilustrada na figura 4.22.

MODULO TESTES		06:13:42 P
Equacao a ser resolvida:		
$x + 3 = 4$		O RESULTADO ESTA CORRETO
$x + 3 - 3 = + 4 - 3$		
$x + 0 = + 1$		Quer resolver outra equacao?(s/n)
$x = 1$		

F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR F9 CANCELAR
F10 FIM SELECAO -> DIREITA	<- ESQUERDA	ESC ABANDONAR R REGRAS	

Figura 4.22 - Verificação do resultado I

A figura 4.23 ilustra uma das mensagens de erro que podem ser emitidas, caso o aluno tente executar uma operação ainda não definida no Módulo Expert.

MODULO TESTES		06:10:04 P	
Equacao a ser resolvida:			
$2 * x + 3 - 4 = 4$			
NAO SEI :			
EXECUTAR 3 - 4			
Pressione uma tecla para continuar			

F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR
F9 CANCELAR	F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA
		ESC ABANDONAR	R REGRAS

Figura 4.23 - Mensagens do Módulo Testes

Caso a resolução de uma equação esteja incorreta, se o aluno digitar a tecla F7 VERIFICAR, o SICRE emitirá uma mensagem do tipo "O RESULTADO NÃO ESTÁ CORRETO", conforme ilustra a figura 4.24.

MODULO TESTES

06:13:42 P

Equacao a ser resolvida:

$$x + 4 = 3$$

$$x = 3 + 4$$

$$x = + 7$$

$$x = 7$$

O RESULTADO NAO ESTA CORRETO

Quer resolver outra equacao?(s/n)

F1 SELECIONAR	F2 EXECUTAR	F3 ADICIONAR	F4 SUBTRAIR	
F5 MULTIPLICAR	F6 DIVIDIR	F7 VERIFICAR	F8 SIMPLIFICAR	F9 CANCELAR
F10 FIM SELECAO	-> DIREITA	<- ESQUERDA	ESC ABANDONAR	R REGRAS

Figura 4.24 - Mensagem para verificação do resultado II

4.2.3.2 - Mostrar Arquivo de Equações

A opção "Mostrar Arquivo de Equações" apresenta todo o conteúdo do arquivo de equações, pertencente àquela sessão. Do mesmo modo que a opção "Mostrar Arquivo de Regras", ela também verifica se existe alguma impressora em linha. Caso exista, imprime todo o conteúdo do arquivo, senão, apresenta-o no monitor de vídeo.

4.2.3.3 - Sair do Módulo Testes

Como o próprio nome indica, com esta opção deixa-se o Módulo Teste e retorna-se ao menu principal, mostrado na figura 4.6.

4.2.4 - OPÇÃO 3: SAIR DO SICRE

Esta opção faz retornar ao sistema operacional, encerrando uma sessão de atividades desenvolvida pelo aluno.

CAPÍTULO 5 ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA SICRE

SICRE é um sistema computacional baseado na arquitetura de um Sistema Especialista e inicialmente sem qualquer domínio de conhecimento. No presente capítulo são discutidos alguns aspectos relacionados ao sistema com relação a sua concepção computacional. Sendo assim, são apresentados detalhes sobre representação e base de conhecimento; definição da máquina de inferência e ambiente de implementação, desenvolvimento e execução; e ainda, estrutura física dos arquivos.

5.1 - REPRESENTAÇÃO INTERNA DAS EQUAÇÕES

Quando um aluno propõe uma equação a ser resolvida no Módulo Testes, esta equação é transformada em uma lista Prolog. Isto é transparente ao aluno, e as equações são manipuladas através de listas Prolog.

Por exemplo, a equação $5x+12=3(x+3)$ é transformada internamente para uma lista Prolog do tipo:

`[5,*,x,+,12,=,3,*,'(' ,x,+,3,')']`

Adotou-se a utilização de listas pois esta estrutura de dados possui algumas características úteis, tais como:

- os elementos de uma lista podem ser constantes, variáveis, ou outras listas, etc..., o que facilita a representação de entidades matemáticas como equações, fórmulas e funções;

- o tamanho da lista não precisa ser definido previamente;

- a ordem de um elemento é estabelecida pela sua seqüência na lista.

5.2 - REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO USADA EM SICRE

A principal característica que distingue um Sistema Especialista dos sistemas convencionais é a maneira de estruturar o conhecimento. Em ferramentas convencionais, este conhecimento está incluído no algoritmo, sendo tal condição desejável em certas aplicações, mas inadequada nas situações em que as condições externas tendem a alterar-se. Assim, nos Sistemas Especialistas, o conhecimento é a parte do programa que dirige as operações; enquanto nos sistemas convencionais é o algoritmo que manipula os dados. Ou seja, nos Sistemas Especialistas o conhecimento sobre o domínio de aplicação é separado do processo que atua sobre ele (máquina de inferência). Essa separação faz com que seja necessário falar sobre meios de representar o conhecimento.

São propostas, como formalismos para representação de conhecimento, algumas maneiras diferentes de codificar os fatos e relações que constituem o conhecimento [3][17][20], quais sejam:

- Redes Semânticas;
- Tríades Objeto-Atributo-Valor;
- Regras de Produção;
- "Frames";
- Expressões Lógicas, baseadas em cálculo de predicados de 1ª ordem.

As redes semânticas são esquemas de representação mais gerais e um dos primeiros na Inteligência Artificial. Uma rede semântica é uma coleção de nós e elos que representam, respectivamente, objetos e relacionamentos. A flexibilidade e a hereditariedade na definição dos nós e elos constituem a sua principal característica e são muito usadas onde há necessidade de organizar e relacionar fatos.

Uma outra maneira de representar fatos é utilizar as tríades Objeto-Atributo-Valor. Neste esquema, os objetos podem ser entidades físicas e conceituais, os atributos são características ou propriedades gerais associadas aos objetos e por fim o valor especifica a natureza de um atributo em uma situação particular. As tríades Objeto-Atributo-Valor podem constituir-se em um caso especializado de redes semânticas.

Os "frames" associam um objeto a uma coleção de características (fatos, regras, valores "default", outros valores), através de inserções que armazenam todas as informações para este objeto. Este tipo de representação de conhecimento permite representações mais ricas, porém, são mais complexas e mais difíceis de desenvolver. Da mesma forma que as tríades Objeto-Atributo-Valor, os "frames" podem considerar-se casos especiais de redes semânticas.

Considerando que as representações acima estão mais relacionadas a aplicações mais gerais que envolvem objetos e fatos, e que os conceitos matemáticos envolvidos neste trabalho são normalmente expressos por regras, adotou-se utilizar regras de produção como forma de representação de conhecimento em SICRE. Pelo fato de ter sido implementado em Prolog[4], o SICRE usa também Lógica, baseada em cálculo de predicados de 1ª ordem, tanto para representar dados, como para implementar a máquina de inferência.

5.3 - ESTRUTURAS DE ARMAZENAMENTO NA BASE DE CONHECIMENTO

Uma base de conhecimento usando regras de produção é um conjunto de asserções do tipo

SE antecedente ENTÃO consequente

Isto significa que, se o antecedente é válido, o consequente é executado.

No SICRE, todo o conhecimento matemático é expresso através de regras de produção. Por exemplo, podem ser citadas:

SE $a \cdot x = b$	SE $x + a = b$
ENTÃO $x = b/a$	ENTÃO $x = b - a$

O apêndice A apresenta um exemplo de conjunto de regras similares àquelas que podem ser definidas pelo usuário.

5.4 - MÁQUINA DE INFERÊNCIA

5.4.1 - Estratégias de Inferência

A estratégia de inferência usada no SICRE é a aplicação de uma regra lógica chamada Modus Ponens [17]. Esta estratégia baseia-se no fato de que, caso A seja verdadeiro, e existindo uma regra que diga "Se A então B", é válido concluir que B é verdadeiro.

Assim, cada passo na resolução de uma equação leva em conta que, se o antecedente de uma regra é satisfeito, admite-se que o consequente da regra possa ser aplicado a equação.

Por exemplo, dada a equação $2 \cdot x = 4$, e supondo-se que esteja definida uma regra do tipo:

SE $a \cdot x = b$
ENTÃO $x = b/a$

aplicando-se esta regra à equação, tem-se que $x = 4/2$.

5.4.2 - Mecanismo de Controle

Os mecanismos de controle do SICRE são simples, e começam pela

avaliação da primeira regra na base de conhecimento, passando pelas demais em ordem crescente. Os conflitos não ocorrem, pois satisfeita uma regra, o sistema pára de avaliar as demais.

O sistema de encadeamento de regras adotado em SICRE é progressivo, ou seja, são examinadas as premissas das regras para verificar se são verdadeiras ou não. Se o forem, as conclusões obtidas são acrescentadas à resolução da equação.

5.5 - ANALISADOR LÉXICO/SINTÁTICO

O conjunto de símbolos aceitos pela linguagem para a definição das regras são:

(,),+,-,*,/,=, letras do alfabeto, dígitos, somado, subtraído, multiplicado, dividido.

onde letras do alfabeto - {x} → representam variáveis para qualquer número inteiro;

x → representa a variável da equação;

dígitos → qualquer número inteiro;

(,) → parênteses normalmente usados em equações para indicar a prioridade de determinada operação;

+, -, *, / → operadores;

= → sinal de igualdade;

somado → indica a operação aritmética de soma;

subtraído → indica a operação aritmética de subtração;

multiplicado → indica a operação aritmética de multiplicação;

dividido \rightarrow indica a divisão inteira.

Os símbolos somado, subtraído, multiplicado e dividido definidos anteriormente são importantes para o sistema, pois permitem ao aluno usuário definir em suas regras, as operações aritméticas tanto para constantes, quanto para variáveis. Por exemplo, a definição da multiplicação aritmética de duas constantes é feita pela regra

```
SE      a*b
ENTAO   a multiplicado b.
```

Este tipo de definição de operação poderia ser eliminada de SICRE com a implementação de uma calculadora. Entretanto, a calculadora não permite a representação simbólica de uma operação.

O trabalho de Sleeman [24][25], mostra que muitos alunos possuem conceitos errados e, conseqüentemente, escrevem as regras correspondentes de maneira incorreta. Adotando-se uma simbologia como a proposta, pode-se detectar estes conceitos errôneos como, por exemplo, na soma de 5 com 4 na equação $5*x+4=18$, onde o aluno deve escrever uma regra do tipo

```
SE      a*x+b
ENTAO   a somado b *x.
```

Nesta regra fica formalizado que o usuário possui um conceito errôneo, o que não ocorreria se a resolução fosse feita por uma calculadora implementada no sistema.

A seguir definiu-se a linguagem para a análise léxica e sintática das regras, da seguinte maneira:

num ::= letras do alfabeto - {x}/ dígitos;

var ::= x;

expressao ::= num /
 num * var /
 expressao + expressao /
 expressao - expressao /
 expressao * expressao /
 expressao / expressao /
 expressao somado expressao /
 expressao subtraído expressao /
 expressao multiplicado expressao /
 expressao dividido expressao /
 (expressao);

equacao ::= expressao = expressao.

A análise léxica/sintática do conjunto de regras da base de conhecimento é feita através de um "parser" baseado no conjunto de símbolos definidos e na gramática apresentada anteriormente.

Quando o "parser" encontra um erro, uma mensagem simples é emitida. (Ver figura 4.13, pg 55).

Uma vez que o sistema não é um tutorial, achou-se conveniente não indicar, através de mensagens específicas, os erros cometidos pelo aluno, pois é mais interessante que o próprio aluno descubra seus erros, corrigindo-os e aprendendo com eles.

5.6 - AMBIENTE DE IMPLEMENTAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E EXECUÇÃO

Inicialmente tentou-se implementar SICRE utilizando o Arity/Expert Development Package [2], que nada mais é que uma ferramenta tipo SHELL, para construção de Sistemas Especialistas, desenvolvido pela Arity Corporation.

O Arity/Expert tem uma base de conhecimento baseada em "frames" que definem os conceitos, e em regras de produção que definem os relacionamentos entre estes conceitos. A máquina de inferência é baseada no encadeamento regressivo de regras, e possui opções de controle definidas pelo usuário, as quais permitem modificar as características de consulta à base de conhecimento. Por exemplo, se o sistema não puder determinar uma resposta a uma consulta usando as regras que possui, poderá ser definida uma opção de controle com um valor "default". Além disso, o SHELL possui facilidades de explanação dos resultados obtidos em uma consulta. Por fim, é integrado com a linguagem Arity/Prolog, podendo ser usado em conjunto.

Apesar de todas estas características, abandonou-se a idéia de utilizar a ferramenta Arity/Expert pelas seguintes razões:

- toda a interface gráfica de SICRE deveria ser implementada em Prolog, visto que em Arity/Expert não é possível esta implementação;

- o sistema de encadeamento de regras no Arity/Expert é regressivo, porém o processo natural que reflete melhor o raciocínio do aluno na resolução de equações é o progressivo;

- a taxonomia de "frames" usada em Arity/Expert não é muito apropriada para definição de conceitos matemáticos, que normalmente são representados por regras;

- a utilização de Arity/Expert implicaria em escrever muito código do programa em Prolog, e ainda adaptá-lo às características desta ferramenta.

Diante do exposto, adotou-se usar a linguagem Arity/Prolog - versão 5.0 [19] para implementar o sistema em sua íntegra.

As principais características da linguagem Prolog, compartilhadas em Arity/Prolog, são:

- orientada para processamento simbólico;
- representa uma implementação da lógica como linguagem de programação;
- representa programa e dados através do mesmo formalismo (cláusulas);
- suporta codificações recursivas para descrição de processos.

Um programa Prolog é uma seqüência finita de cláusulas Prolog. O ambiente de desenvolvimento e execução de programas Prolog é uma área de memória, que permanece ativa durante uma sessão, e onde são carregados arquivos que contenham:

- cláusulas Prolog pré-definidas (conhecidas como primitivas Prolog);
- cláusulas Prolog correspondentes aos programas e procedimentos em utilização;
- cláusulas Prolog independentes, definidas interativamente pelo usuário.

A linguagem Prolog foi a escolhida pois possui características apropriadas para a implementação deste trabalho, ou seja:

- facilidades na manipulação de listas, visto que as equações são tratadas internamente como listas Prolog;

- possui máquina de inferência já definida e adotada por SICRE;

- os programas podem ser interpretados ou compilados, o que facilita o desenrolar da implementação, pois pode-se usar o interpretador nesta fase. O compilador será utilizado apenas na fase final da implementação;

- os programas desenvolvidos, mesmo sendo compilados, podem ter cláusulas ainda sendo interpretadas. Esta característica é muito importante para sistemas como o SICRE, que possuem uma base de regras que é constantemente alterada. Não faz sentido, a cada alteração, compilar-se novamente todo o sistema.

O ambiente de desenvolvimento e execução do SICRE, contém as seguintes cláusulas:

a) da linguagem Prolog

- Cláusulas Prolog pré-definidas (conhecidas como primitivas Prolog) que são carregadas quando o programa é ativado;

b) do SICRE

- Cláusulas Prolog correspondentes ao programa desenvolvido;

c) do usuário

- Cláusulas Prolog independentes (correspondentes as regras)

definidas pelo usuário.

Com exceção das cláusulas independentes, todas as demais são compiladas e "link-editadas" gerando um arquivo executável. Já as cláusulas independentes são interpretadas, pois estas, que nada mais são que as regras escritas pelos alunos, são constantemente alteradas, apagadas ou criadas. Assim, não é funcional nem prático, a cada alteração de regras, compilar e "link-editar" novamente todo o sistema.

- Tipos de cláusulas Independentes

O analisador léxico/sintático, efetua uma análise da base de conhecimento e gera cláusulas independentes, as quais podem ser de dois tipos:

- Cláusulas unitárias: o corpo da cláusula é vazio;
Por exemplo:

```
regra(#[A,*x,=,B],[],[x,=,B/,A]).
```

onde # indica o número da regra.

- Cláusulas não-unitárias: o corpo da cláusula contém outras cláusulas Prolog.

Por exemplo:

```
regra(#[A,+,B],[],Res_final):- soma(A,B,Res),  
append([],Res,Res1),  
append(Res1,[],Res_final).
```

Esta distinção é feita porque algumas regras manipulam apenas simbolicamente os elementos da equação. É o caso de $A*x=B$, onde o consequente $x=B/A$, alterou apenas a ordem e o operador da equação. Já para o exemplo acima, de cláusulas não-unitárias, pode-se verificar a necessidade de efetuar-se uma operação aritmética, a qual é definida pelo sistema através da cláusula soma.

5.7 - ESTRUTURA FÍSICA DE ARQUIVOS DO SISTEMA SICRE

A estrutura de arquivos do SICRE é formada por três arquivos de programas, um arquivo executável, três arquivos externos e três arquivos de dados, conforme ilustrado na figura 5.1.

Esta divisão foi feita devido a característica funcional de cada um desses arquivos. Alguns deles contém cláusulas Prolog que implementam toda a interface do usuário de SICRE e também o mecanismo de inferência, sendo denominados arquivos de programas, os quais geram um arquivo executável. Além destes, os chamados arquivos externos, contém rotinas escritas em outra linguagem que não Arity/Prolog (no caso em linguagem C). Estas rotinas executam testes de impressora. Por fim, os arquivos de dados são aqueles relacionados com a base de regras e com os "Dribble Files" do sistema.

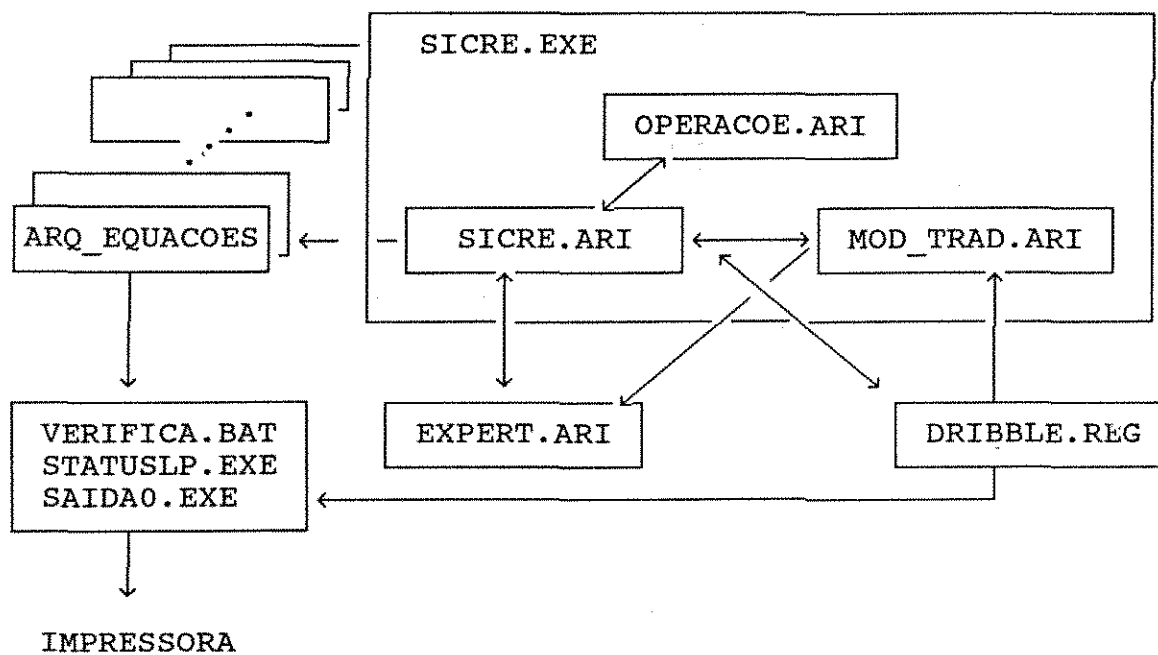


figura 5.1 - Arquivos de SICRE e seus relacionamentos.

5.7.1 - Arquivos de Programas

- SICRE.ARI: é o arquivo que contém cláusulas Prolog que implementam o Módulo Testes, o Módulo Regras, e o mecanismo de inferência para aplicação do conhecimento da base de regras (Módulo Expert).

- MOD_TRAD.ARI: Este arquivo contém cláusulas Prolog que implementam o Módulo Tradutor, o qual analisa as regras e gera as cláusulas independentes correspondentes.

- OPERACOE.ARI: este arquivo contém, em forma de cláusulas Prolog, a definição das quatro operações aritméticas executadas em uma equação de 1º grau.

5.7.2 - Arquivo Executável

- SICRE.EXE: é o arquivo executável, criado a partir dos arquivos SICRE.ARI, MOD_TRAD.ARI e OPERACOE.ARI, compilados e "link-editado".

5.7.3 - Arquivos Externos

- VERIFICA.BAT: Contém rotinas que verificam se a impressora está pronta para ser utilizada. Em caso afirmativo, imprime o arquivo que é passado como parâmetro, e em caso contrário, mostra o conteúdo do arquivo no monitor de vídeo. As rotinas deste arquivo são utilizadas em SICRE nas opções de impressão de arquivos.

- STATUSLP.EXE: Arquivo com rotinas em linguagem C as quais verificam se a impressora está pronta para ser utilizada.

- SAIDA0.EXE: Possui rotinas que indicam o "status" de execução, ou seja, se o programa de impressão de arquivos terminou sem problemas.

5.7.4 - Arquivos de Dados

- DRIBBLE.REG: contém as regras escritas pelo aluno através do Módulo Regras. Por exemplo,

REGRA 3

SE $x-a=b$

ENTAO $x=b+a$

O apêndice A é um exemplo deste arquivo.

- EXPERT.ARI: este arquivo é manipulado pelo Módulo Tradutor que analisa as regras do arquivo DRIBBLE.REG; e gera cláusulas Prolog correspondentes no EXPERT.ARI. Além do Módulo Tradutor, o Módulo Testes usa cláusulas deste arquivo para a resolução das equações.

O arquivo EXPERT.ARI contém, especificamente, cláusulas Prolog independentes, por exemplo,

`regra(3,[x,-,A,=,B],[],[x,=,B,+,A]).`

O apêndice B mostra o arquivo EXPERT.ARI gerado a partir das regras contidas no arquivo DRIBBLE.REG do apêndice A.

- ARQUIVO_DE_EQUACOES¹: as atividades desenvolvidas pelos alunos e ocorridas no Módulo Testes são registradas neste arquivo, sendo que, em cada sessão, é solicitado um nome diferente para o arquivo de equações.

1_____

O nome deste arquivo é definido pelo usuário em cada sessão que tem com o sistema. Assim, optou-se pelo nome , ARQUIVO_DE_EQUACOES para sugerir intuitivamente o seu conteúdo.

CAPÍTULO 6 PROJETO PILOTO

A definição da configuração final do sistema implementado, é fruto também de um constante trabalho de melhorias possibilitadas pela execução de um Projeto Piloto, ou seja, o desenvolvimento de um protótipo experimental levado, inicialmente, a uma escola e utilizado por quatro estudantes; e a uma universidade para uso por dois professores e um aluno de Licenciatura em Matemática. Esta fase pode ser considerada como a primeira aplicação prática do SICRE, e baseado nas opiniões e sugestões coletadas, desenvolveu-se a versão do sistema que foi utilizado em sala de aula, etapa que será descrita no próximo capítulo.

6.1 - OBJETIVOS

O objetivo do Projeto Piloto foi de, primeiramente, depurar o sistema, a fim de que, quando levado a uma aplicação prática, não apresentasse problemas de implementação ou de "design". Outro fator, certamente o mais importante para a realização desta etapa, foi a verificar a viabilidade da utilização de SICRE em um ambiente escolar real, por usuários em idade compatível com a faixa escolar para a qual SICRE se destina.

6.2 - PARTICIPANTES DO PROJETO PILOTO

Participaram do estudo um professor doutor em Matemática da UNESP-Presidente Prudente, formado pela University of Oxford na área de Análise Numérica; uma professora auxiliar de ensino da UNESP-Presidente Prudente, licenciada em Matemática e especialista em Computação pela USP-São Carlos; e um aluno de graduação do curso de Licenciatura em Matemática da UNESP-Presidente Prudente. Além destes, mais quatro estudantes de 7ª série do 1º grau de um colégio particular de Presidente Prudente contribuíram nesta fase. Estes alunos já haviam estudado equações de 1º grau.

O critério de escolha dos alunos participantes do projeto baseou-se na prerrogativa de constituir uma clientela bastante diversificada em termos de idade, e de níveis de escolaridade, com históricos escolares que indicassem um bom aproveitamento. Adotou-se este critério esperando que pessoas com um bom desempenho escolar fornecessem uma maior contribuição para a melhoria do sistema. Além disso, as diferentes idades trariam experiências novas e diversas, considerando-se que uma criança vê e utiliza o sistema de uma maneira, enquanto o adulto pode trabalhar de outra forma. Isto é importante nesta fase pois é necessário testar o sistema para as mais diversas situações e tipos de usuários.

6.3 - METODOLOGIA

A análise efetuada pelas diferentes pessoas que participaram

do Projeto Piloto foi baseada em uma atividade interativa usuário/sistema. O participante foi convidado a utilizar o sistema durante um período de aproximadamente três horas, podendo este tempo ser contínuo ou não. Durante esta experiência com o sistema, o usuário pôde criticar e sugerir mudanças. Todas as sessões foram acompanhadas pelo autor, para esclarecimentos iniciais e possíveis intervenções, em caso de dúvida por parte do usuário.

Todos os acontecimentos ocorridos durante as sessões foram anotados e observados e as sugestões de alterações foram analisadas e implementadas, quando cabíveis.

6.4 - ALTERAÇÕES NO SISTEMA SUGERIDAS PELOS USUÁRIOS

Como mencionado anteriormente, o Projeto Piloto contou com a participação de pessoas com níveis de escolaridade bastante diversificados. Em função disto, os usuários trabalharam o SICRE de maneira diferenciada, e forneceram contribuições também diferentes.

Em uma primeira fase o SICRE foi utilizado por professores da Universidade e pelo aluno de graduação, com os quais foram discutidos detalhes de projeto do software. Isto foi possível pois estas pessoas tinham conhecimento computacional suficiente para sugerir melhorias no sistema.

A seguir são relatados os aspectos discutidos e implementados:

a) Usuário 1

Nível de formação: Licenciatura em Matemática

- Sugeriu alterar o nome "Módulo Aluno" para "Módulo Regras". Esta sugestão deveu-se ao fato de que o nome "Aluno" não sugeria, para o usuário, a real função deste módulo. A proposta de mudança foi plenamente aceita pois, considerando o fato anterior, o nome "Regras" sugere, que o módulo tem como finalidade, a inserção e manipulação de regras.

- Teve problemas com a opção "SIMPLIFICAR" pois inicialmente não compreendeu a sua real função. A dúvida surgiu quando resolvia a equação: $2*x=4$. Na resolução do passo seguinte, ou seja, $x=4/2$, a expectativa era de que, ao escolher a opção "SIMPLIFICAR", obteria como resultado $x=2/1$. Na realidade, o usuário tinha em mente que esta opção era destinada também a realizar simplificações algébricas, quando na realidade executava apenas simplificações do tipo:

$2*x+0=6$ para $2*x=6$, ou ainda

$x+4=+7+8$ para $x+4=7+8$

Esta opção não realiza simplificações algébricas as quais podem ser entendidas como operações do tipo:

$x=6/4$ para $x=3/2$ ou
 $2*x+3=4+3$ para $2*x=4$,

ou seja, operações que são realizadas nas equações de maneira a torná-las mais simples. Pela concepção do sistema, achou-se mais interessante que o próprio usuário defina regras para este tipo

de opção.

- Não compreendeu o termo "Dribble File". Por este motivo, optou-se por trocar os nomes das duas opções que usavam este termo, ou seja, o que era "IMPRIMIR DRIBBLE FILE DE EQUAÇÕES" passou a ser "IMPRIMIR ARQUIVO DE EQUAÇÕES" e o que era "IMPRIMIR DRIBBLE FILE DE REGRAS" passou a ser "IMPRIMIR ARQUIVO DE REGRAS".

b) Usuário 2

Nível de formação: PhD em Matemática Aplicada

- Sugeriu que houvesse uma compilação automática das regras logo após o usuário sair do Módulo Regras. Esta proposta deveu-se ao fato de que, dentro das opções do editor de regras, havia uma opção denominada "COMPILAR REGRAS". Esta opção tinha o objetivo de fazer a análise léxica e sintática das regras através do "parser" do sistema. Entretanto, por ser uma opção altamente computacional, mesmo pessoas com experiência em computação, como este usuário, esqueciam de executá-la. Pelas razões anteriores, a sugestão foi plenamente aceita e implementou-se a compilação automática das regras.

- Salientou a importância de esclarecer ao usuário, os dois tipos de regras que julgou existentes:

- Regras de Edição;
- Regras de Execução.

Exemplos:

Regra de Edição

SE $a \cdot x = b$

ENTAO $x = b/a$

Neste tipo de regra pode-se observar que não ocorreu nenhuma operação aritmética, mas apenas uma alteração na ordem dos elementos da equação.

Regras de Execução:

SE $a+b$

ENTAO a somado b

Neste caso, o usuário classificou esta regra como sendo de execução, pois toma-se o elemento a , o elemento b e executa-se sobre eles uma operação aritmética de soma.

Esta observação feita pelo usuário, na realidade, não altera em nada o SICRE, e não foi implementada, por constituir apenas uma sugestão de esclarecimento aos usuários sobre os tipos de regras que, segundo ele, existem na base de conhecimento. Além disso, julgou-se esta sugestão não relevante para o processo de aprendizagem do aluno, visto que esta definição de regras forçaria o aluno a classificá-las, contrariando o objetivo do sistema.

- Sugeriu uma melhoria na interação usuário/sistema, ou seja, a inserção de uma opção a mais para a resolução de um exercício no Módulo Testes. A idéia de criar esta nova opção, surgiu do fato de que, durante a resolução de uma equação, o usuário pode descobrir que necessita de uma regra ainda não definida em sua base de conhecimento, precisando, portanto, acrescentá-la. Feita a inserção ou alteração da regra, o sistema volta ao estágio onde se encontrava antes e a nova regra pode ser utilizada.

Considerou-se tal sugestão procedente e adicionou-se, ao menu de de operações, apresentado durante a resolução das equações, mais uma opção constituída pela "R-REGRAS". Esta opção "R-REGRAS" permite que o estudante ou usuário vá ao editor de regras, edite sua regra e retorne ao Módulo Testes no mesmo estágio em que se

encontrava antes da escolha da opção. Antes desta alteração o usuário precisava sair do Módulo Testes, entrar no Módulo Regras, editar a regra e em seguida, retornar ao Módulo Testes, no qual deveria reiniciar todo o trabalho de resolução da equação.

c) Usuário 3

Nível de formação: Graduando em Licenciatura em Matemática

- Teve dificuldade inicial em usar as teclas e suas funções. Por exemplo, as funções F1, F2, ..., F10 foram, muitas vezes, confundidas com as teclas referentes aos números 0, 1, ..., 9. Acredita-se que isto deveu-se ao nervosismo do aluno, pelo fato de estar temeroso em cometer erros ou talvez falta de familiaridade na utilização do computador. Além disto, com o passar da sessão, este tipo de problema deixou de ocorrer. Entretanto, a princípio, houve uma preocupação com este fato, pois não se tinha certeza de que isto era decorrente do estado emocional do aluno ou por uma falha de projeto do sistema. Contudo, a segunda hipótese foi descartada, pois para os demais usuários este problema não foi verificado.

6.5 - NOVA VERSÃO DO SICRE APÓS MODIFICAÇÕES PROPOSTAS PELOS USUÁRIOS

Durante esta fase do trabalho, o SICRE passou por algumas modificações, fruto das sugestões feitas pelos usuários. A seguir, estão resumidas as alterações propostas e implementadas, com relação ao projeto de software do SICRE:

a) MUDANÇA DO NOME "MÓDULO ALUNO": O SICRE inicialmente tinha quatro módulos com os seguintes nomes: Módulo Aluno, Módulo Tradutor, Módulo Expert e Módulo Testes. Por sugestão, o nome "Módulo Aluno" foi alterado para "Módulo Regras" pois o próprio nome sugere sua real função.

b) COMPILAÇÃO AUTOMÁTICA DE REGRAS : O sistema compila automaticamente as regras, no momento em que o usuário sai do editor de regras.

c) ACRÊSCIMO DA OPERAÇÃO "R-REGRAS": Dentro do menu de operações apresentado durante a resolução das equações, foi adicionada a opção "R - REGRAS" .

d) MUDANÇA DE NOME EM DOIS ARQUIVOS : Foram modificadas as opções "Imprimir Dribble File de Regras" para "Imprimir Arquivo de Regras" e "Imprimir Dribble File de Equações" para "Imprimir Arquivo de Equações".

6.6.- USO DO SISTEMA POR ALUNOS DA 7ª SÉRIE DO 1º GRAU

A segunda fase do Projeto Piloto foi aplicada a estudantes de 7ª série do 1º grau (em número de 4). Esta clientela foi selecionada em função de constituir-se no público alvo do sistema, o que ofereceu a oportunidade de observar detalhes relacionados com a maneira pela qual o sistema foi utilizado e como transcorria uma sessão de uso. Além disso, foram observados procedimentos interessantes e distintos em diferentes alunos, apesar de todos eles terem o mesmo nível de escolaridade; já terem visto equações

do 1º grau; e apresentarem um bom desempenho escolar, comprovado pelos seus históricos.

6.6.1 - Desenvolvimento das Sessões

O comportamento dos quatro alunos foi analisado em relação a alguns aspectos referentes a maneira como eles usaram o sistema e como construíram suas regras. Salienta-se que, para cada aluno participante do projeto, foi necessário um esclarecimento inicial sobre os módulos que compõem o sistema, principalmente com relação a sua função. Além disso, procurou-se resolver os mais variados tipos de equações, sendo até solicitado aos alunos que trouxessem, de casa, exemplos de equações para serem resolvidas usando o SICRE.

Com uma única exceção, nenhum dos alunos havia utilizado antes um computador para qualquer finalidade. Isto permitiu distingui-lo dos demais através da maneira como utilizava o sistema.

A análise do uso dos recursos do SICRE foi baseada na maneira pela qual os alunos utilizaram as opções oferecidas pelo sistema.

Sem excessão, nenhum dos alunos participantes deste Projeto Piloto fizeram uso das opções ADICIONAR, SUBTRAIR, MULTIPLICAR, DIVIDIR. Este comportamento pode ser explicado pela maneira com que os estudantes aprenderam a resolver as equações. Segundo eles, os professores os ensinaram que, quando mudava-se uma constante de um membro para outro, trocava-se o sinal. Nunca lhes foi dito que, na realidade, o que acontecia era uma operação aritmética de um elemento em ambos os membros, o que pode

justificar o fato deles nunca utilizarem estas opções.

De um modo geral, os quatro alunos não compreenderam inicialmente o que significava e para que servia, o "Arquivo de Equações" e o "Arquivo de Regras". Feitos os esclarecimentos, eles compreenderam as suas funções. Alguns chegaram, inclusive, a elogiar a idéia, através de frases do tipo: "Com estes arquivos posso depois ver as regras que faltam e a maneira como resolvi as equações". Além dos alunos, os professores participantes desta etapa, salientaram a importância que tais arquivos terão para o próprio professor, pois eles permitirão que seja feito um diagnóstico preciso da aprendizagem de cada aluno, e dos aspectos deficientes que devem ser superados no processo ensino-aprendizagem.

Por fim, cabe salientar que ocorreram maneiras diferentes de escrever regras, que na realidade executavam a mesma função. Por exemplo:

- 1) SE $x+x$
ENTAO 1 somado $1*x$
OU
- 2) SE $x+x$
ENTAO $2*x$

Isto mostra a flexibilidade do sistema em expressar o conhecimento do estudante da maneira como ele aprendeu. Outro fator marcante, é que SICRE deixa os alunos a vontade no sentido de escrever as regras da maneira que acharem melhor, permitindo que cada um se expresse de acordo com a sua própria criatividade. Com SICRE não há a influência subjetiva do professor.

6.6.2 - Utilização do Sistema em uma Escola de 1º grau - - Um Diagnóstico Preliminar

Da experiência inicial realizada com alunos da 7ª série do 1º grau, foi possível fazer um diagnóstico preliminar sobre as possibilidades educativas do SICRE:

a) É fácil perceber que a base de regras criada pelos diferentes alunos, reflete claramente a maneira como eles aprenderam o assunto em sala de aula. Por exemplo, no caso dos alunos não utilizarem, em momento algum, as opções ADICIONAR, SUBTRAIR, MULTIPLICAR, DIVIDIR, deixa claro que a base de regras de cada um, é um espelho de como o conhecimento lhe foi transmitido.

Cabe aqui, criticar a maneira incorreta de atuação de alguns professores com relação ao ensino do conteúdo de suas disciplinas. O fato de passar regras do tipo: "quando um elemento em uma equação muda de um membro para outro, então muda-se também o sinal deste elemento", e não explicar porque isto ocorre, prejudica o desenvolvimento do raciocínio e o processo de aprendizagem. Deste modo, não é mostrado que, ao efetuar-se uma mesma operação aritmética em ambos os membros, não se altera a equação, pois a igualdade é mantida. Isto também não significa que utilizar regras seja errado, mas sim que estas regras devem estar bem claras para o estudante, ou seja, que ele próprio possa criar as suas regras segundo seu conhecimento, tornando-se um elemento ativo e não passivo. Esta passividade pode ser constatada em frases do tipo: "o professor disse que valia esta regra e portanto estou usando-a".

b) Com SICRE o aluno pode aprender fazendo, agindo diretamente sobre o sistema. Assim, é possível criar um Sistema Especialista

sem qualquer conhecimento do assunto em questão (no caso, equações de 1^o grau), o qual é ensinado por um estudante que fornece o conhecimento. A possibilidade do aluno ensinar o sistema torna-se uma parte fundamental de sua aprendizagem, pois assim, ele consegue formalizar e construir seu conhecimento.

c) O ato de executar uma operação não é uma mera substituição do computador pela calculadora, pois o sistema exige uma regra que indique como fazer. Nesse sentido, o aluno "recheia" um Sistema Especialista, como um "expert" faria, e em seguida testa seu conhecimento. Assim trata-se o aluno como um "expert" e não como um ser passivo que recebe regras, as vezes não bem definidas, do professor.

d) O fato de poder verificar a resposta permite, ou força a depuração das regras. Durante a interação do estudante com o sistema, foi comum notar-se que, quando o aluno comete um erro, ele rapidamente o identifica e tem a oportunidade de corrigi-lo quase que imediatamente ("Feedback"), já que o sistema pode avaliar a resposta de cada equação. Talvez o fato mais importante da interação com o sistema ocorra quando um erro é cometido e o aluno tem que retornar a sua base de conhecimento para descobrir qual regra está incorreta. Para isto, ele pode utilizar também o "Arquivo de Equações", onde são encontradas as regras usadas no exercício que foi resolvido anteriormente. O ponto principal é que o aluno passa a refletir e a tentar descobrir o erro cometido, sem a intervenção do professor. Claro que poderão ocorrer casos onde o estudante necessite do professor, visto que talvez, não encontre o seu erro. Porém neste caso, já ocorreu algum tipo de reflexão e busca, sendo este processo diferente do caso de "ganhar" as soluções prontas do professor.

e) O aluno pode consultar a base de regras e ter uma visão ampla do que é necessário conhecer, para então estar apto a resolver

uma equação de 1º grau (meta-conhecimento). Foi comum ouvir comentários do tipo: "Puxa, já tenho muitas regras, olha quanto eu preciso saber para resolver uma equação". Com frases como esta pode-se observar que o estudante passou a ter uma noção mais real de todo o conhecimento por ele aprendido, e o processo de resolver uma equação deixou de ser algo feito mecanicamente, sem qualquer reflexão.

f) O sistema pode ser utilizado por alunos de idade escolar compatível com o assunto que SICRE se destina a abordar. Esta conclusão foi obtida da experiência com os alunos que contribuíram nesta etapa, pois todos conseguiram trabalhar normalmente com o sistema.

6.7 - TRATAMENTO DE REGRAS INCONSISTENTES - **- UMA CONTRIBUIÇÃO POSTERIOR**

No entendimento mais amplo de Projeto Piloto, identifica-se um processo contínuo de aprimoramento, que sugere o aperfeiçoamento do sistema implementado.

Neste contexto, considerou-se a possibilidade de melhorar o desempenho do sistema implementando-se, posteriormente aos testes de campo, um recurso adicional que foi sugerido por pesquisadores, aqui entendidos como não usuários do sistema. Assim sendo, quando da apresentação do SICRE a um grupo de especialistas norte-americanos em Inteligência Artificial do Massachusetts Institute of Technology (MIT), EUA, foi levantada a possibilidade de ocorrerem regras inconsistentes, possibilidade esta não prevista na versão do SICRE utilizada nos testes de

campo.

Entende-se por regras inconsistentes, como sendo aquelas que possuem o mesmo antecedente, mas com consequentes diferentes, conforme exemplo a seguir:

REGRA 1

SE $a \cdot x = b$

ENTAO $x = a/b$

REGRA 2

SE $a \cdot x = b$

ENTAO $x = b/a$

Verifica-se que estas duas regras tratam o mesmo problema de diferentes maneiras, e até então, SICRE não fazia a verificação da inconsistência das regras na base de conhecimento.

Apesar de não terem sido definidas regras inconsistentes no decorrer dos testes de campo, a idéia de incorporar esta sugestão ao sistema, tornou-se mais evidenciada a medida que outros pesquisadores atentaram para o fato. Deste modo, optou-se por acrescentar o tratamento de regras inconsistentes à versão utilizada nos testes de campo.

Isto resultou no acréscimo de uma função ao Módulo Tradutor, o qual, além de analisar léxica e sintaticamente as regras definidas, compara cada uma delas com as demais, verificando sua consistência.

No caso de serem encontradas regras inconsistentes, será emitida uma mensagem no Módulo Regras, indicando o número das regras inconsistentes e solicitando que o usuário apague ou modifique uma delas, conforme ilustrado na figura 6.1.

Enquanto o usuário não proceder a eliminação desta inconsistência, o sistema não permite a saída do Módulo Regras.

Convém salientar que o tratamento de regras inconsistentes incorporado ao sistema, não altera a estrutura básica do SICRE, constituindo apenas no acréscimo de um recurso.

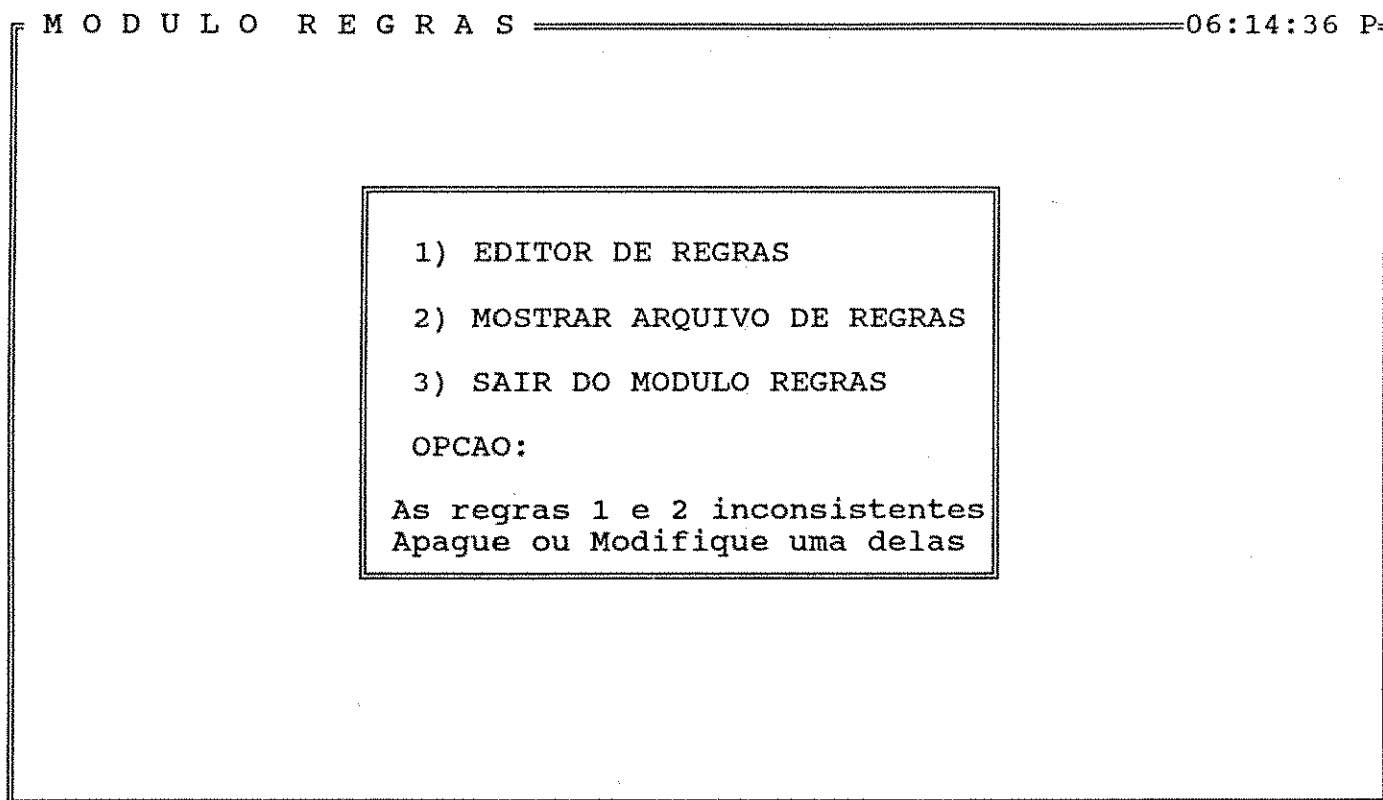


Figura 6.1 - Tratamento de Regras Inconsistentes

6.8 - CONCLUSÕES

Baseado nas observações efetuadas durante a realização do Projeto Piloto pode-se concluir, em síntese, que o SICRE é utilizável tanto por alunos que já tenham estudado equações do 1º grau, quanto por professores.

O sistema tem uma interface amigável e de fácil compreensão, uma vez que, no decorrer das sessões, não foram registrados maiores problemas de comunicação entre o usuário e o sistema. Além disso, ele torna explícitas certas características inerentes ao processo de aprendizagem, as quais deseja-se enfatizar. Estas características referem-se ao "como fazer"; ao processo de aprendizagem através da formalização do conhecimento, refletido no ato do aluno ensinar a máquina; e finalmente, a oportunidade oferecida pelo sistema para que o aluno possa reavaliar os erros, que porventura tenha cometido.

CAPÍTULO 7 TRABALHO DE CAMPO

Após a depuração do sistema, possibilitada pelo Projeto Piloto, partiu-se para uma outra etapa, na qual foram criadas situações que refletissem a aplicação do SICRE em um ambiente escolar. Para tanto trabalhou-se com um número maior de alunos, divididos em duas etapas:

1ª) Trabalho individual com dez alunos, com níveis de escolaridade diversificados, ou seja, alunos de 7ª e 8ª séries, e um aluno de 4ª série do 1º grau. Cada um desses alunos utilizou o sistema por um período de uma hora e meia, em sessões individuais. Nesta etapa, cada um dos alunos resolveu cinco tipos de equações (as equações foram propostas pelo experimentador e foram as mesmas para os dez alunos). O trabalho de cada um deles foi observado e documentado pelo experimentador.

2ª) Trabalho em grupo que consistiu em promover o uso individual e simultâneo do SICRE por onze alunos de 7ª série do 1º grau em uma sala de aula computadorizada. Essa experiência teve duração de aproximadamente duas horas. Durante este período de tempo, o experimentador procurou observar, além do comportamento individual dos alunos ao utilizar o sistema, as limitações e vantagens oferecidas pelo SICRE em uma sala de aula no decorrer de uma sessão simultânea.

A seguir, são relatadas a experiência, os resultados e as conclusões obtidas após concluída esta fase do trabalho.

7.1 - OBJETIVO DO TRABALHO DE CAMPO

O objetivo principal do Trabalho de Campo foi de verificar a viabilidade da utilização do SICRE como uma ferramenta útil ao processo de aprendizagem, para a resolução de equações de 1º grau. O propósito deste Trabalho de Campo, realizado com um número maior de alunos, foi obter o máximo possível de informações que permitissem uma conclusão mais precisa sobre os pontos positivos e negativos do SICRE, e ainda estudar a utilização do sistema em uma situação de sala de aula e com uso individual.

7.2 - ETAPA 1 - USO INDIVIDUAL DO SISTEMA SICRE

7.2.1 - Metodologia de uso

Cada aluno, individualmente, foi convidado a utilizar o sistema por aproximadamente uma hora e meia. Durante este período de tempo foi proposto um conjunto de equações a serem resolvidas.

As equações propostas foram:

1) $2 \cdot x = 16$

2) $x + 2 = 7$

3) $4*x-1=27$

4) $x+x=4+2*3$

5) $8*x+2=4*x+10$

Nestas equações observa-se um grau de dificuldade crescente. Assim, as duas primeira equações foram propostas com o intuito de permitir que o estudante se familiarizasse com o sistema através de regras bem simples, e também de verificar se ele tinha conceitos bem fundamentados, ou apenas regras. A terceira equação reúne características das duas equações iniciais, isto é, as regras são similares àquelas escritas para as duas primeiras.

Por exemplo, a regra:

SE $a*x=b$

ENTAO $x=b/a$

pode ser utilizada na resolução da primeira equação e também da terceira. Já a quarta equação, foi proposta para verificar se o aluno tem em mente a prioridade de operadores, visto que nesse exemplo, os elementos 2 e 3 devem ser operados antes de serem somados ao 4. Finalmente, a quinta equação foi uma tentativa de observar se o aluno sabia manipular simultaneamente variáveis e constantes em uma mesma equação.

No transcorrer da sessão, a medida que terminava um exercício, o aluno era convidado a resolver o seguinte, na mesma ordem apresentada anteriormente. Isso criou uma sequencialidade que permitiu um melhor aproveitamento do tempo disponível para a utilização do sistema.

A intervenção do experimentador aconteceu somente quando necessário, e este procurou deixar o aluno o mais a vontade possível.

7.2.2 - Análise dos Resultados

Os resultados obtidos nesta etapa foram analisados com base na observação do comportamento dos alunos ao utilizar o sistema e na maneira como resolveram os exercícios propostos. Cabe salientar que os alunos participantes desta etapa, resolveram todas as equações apresentadas.

Na discussão destes resultados são considerados tópicos referentes a: generalização x especificidade de regras, globalidade de regras, uso dos recursos do sistema, e visão global da base de regras.

a) Generalização x Especificidade

A generalização de regras pode ser entendida como sendo a aplicação de uma determinada regra a várias situações distintas. Em contrapartida, a especificidade pressupõe a utilização de uma regra para a resolução de problemas específicos.

Nenhum dos dez alunos chegou a generalizar as regras. Para cada equação, foram criadas regras específicas, como por exemplo:

SE $2 * x = 16$

ENTAO $x = 16 / 2$

ao invés de:

SE $a \cdot x = b$

ENTÃO $x = b/a$

Nesta situação, o experimentador não informou o aluno sobre a possibilidade de escrever regras genéricas. O objetivo disto foi observar se algum aluno perceberia que suas regras eram muito específicas e que talvez pudesse generalizá-las. Isto infelizmente não ocorreu. Este comportamento pode ser explicado, em primeiro lugar, pelo curto período de tempo disponível para o aluno trabalhar com SICRE, não permitindo que ele reflita sobre suas regras. Isto poderia ter ocorrido caso o aluno tivesse um maior contato com o sistema, e a chance de observar que o número de regras na sua base de conhecimento, tornou-se muito elevado. Em uma situação com maior tempo, o professor poderia utilizar o sistema para fazer um trabalho que levaria o aluno a concluir sobre a generalidade de regras. Segundo, pelo fato do aluno aprender a resolver as equações com soluções locais¹ e não genéricas.

b) Globalidade de Regras

Entende-se por globalidade de regras, como sendo a definição de uma regra considerando todos os elementos de uma equação, e não apenas aqueles necessários para executar a operação.

Somente dois alunos perceberam que, para escrever uma regra, não precisavam expressar a equação por inteiro. Por exemplo, no caso 1

Soluções locais se entende como equações que apresentam coeficientes numéricos. O aluno de 1º grau não aprende a resolver equações genéricas como $a \cdot x = b$, mas sim equações do tipo $2 \cdot x = 4$.

da equação $x=7-2$, a regra para executar a subtração de 7 por 2 poderia ser escrita como:

SE 7-2
ENTAO 7 subtraído 2
ou mais genericamente como:

SE a-b
ENTAO a subtraído b

O que ocorreu foi que, a maioria dos alunos escreveu regras do seguinte modo:

SE $x=7-2$
ENTAO $x=7$ subtraído 2
ou

SE $x=7-2$
ENTAO $x=5$

Um primeiro aspecto a ser considerado como uma das possíveis causas desta globalidade de regras foi que os alunos usaram o SICRE para escrever as regras a serem utilizadas na resolução das equações como fazem usando lápis e papel (soluções locais), sendo que esta característica ficou refletida nas regras escritas por estes alunos, as quais descreviam a resolução das equações passo a passo, como um todo, e não em partes.

Um outro fator observado decorreu, principalmente, do pouco tempo que os alunos participantes desta etapa dispunham para a utilização do sistema. Este aspecto deve ser considerado, uma vez que dois dos alunos participantes perceberam o aspecto global das regras que definiam. Convém salientar que estes dois estudantes eram alunos de 7^a série de um colégio particular, e

ambos considerados bons alunos.

c) Uso dos recursos do sistema

Como ocorreu no Projeto Piloto, nenhum dos alunos utilizou as operações ADICIONAR, SUBTRAIR, MULTIPLICAR, DIVIDIR. As razões que explicam isto foram apresentadas no capítulo 6, e nesta etapa do estudo pôde-se reafirmar o que já havia sido observado através do Projeto Piloto quanto ao hábito dos docentes, de ensinarem "regrinhas" a serem usadas na resolução de problemas. O importante seria que o professor, antes de tudo, explicasse o pôrquê da sua utilização. Nesse caso, o SICRE poderia servir como suporte a este tipo de metodologia. Usando o SICRE, o professor pode incentivar o aluno a definir regras e concluir, por exemplo, que subtrair uma constante em ambos os membros, não altera o resultado da equação. Uma vez mostrado isto, é interessante deixar o aluno explorar bem este conceito, permitindo também que ele descubra outras operações que utilizam esta propriedade. Assim o aluno pode ter uma visão clara de um conceito que é comumente ensinado através de "regrinhas", já que o problema não é a utilização de regras, mas na maneira pela qual estas regras são passadas.

Outros aspectos observados foram as diferentes maneiras, com que muitos alunos escreveram suas regras. Existem exemplos muito interessantes de regras, como por exemplo:

$$\text{SE } 4 \cdot x - 1 = 27$$

$$\text{ENTÃO } x = 27 + 1/4$$

Pode-se observar que, com esta regra o aluno adiantou vários passos na resolução da equação. Outro detalhe a ser observado, diz respeito ao fato de que, na parte consequente da regra, ou

seja $x=27+1/4$, não existe parênteses para indicar que o que estava sendo dividido por 4 era $27+1$, o que poderia ter conduzido este aluno a um erro na resolução. Porém, apesar de não ter sido explicitado na regra através de parênteses, o aluno resolveu corretamente a equação, marcando primeiro os elementos da soma, e usando uma regra que define esta operação, e em seguida, executando a divisão do resultado da soma com o elemento 4.

Da maneira como foi definida, a regra está incorreta, porém, quando da seleção de operações, isto foi contornado. Tal característica reforça a flexibilidade do sistema, no sentido de permitir que o aluno controle todo o processo de resolução de suas equações, desde a definição e utilização das regras, até a priorização dos operadores a serem usados.

Um outro exemplo interessante de regra foi o seguinte:

SE $x+x=18$

ENTAO $x=9$

Aqui, o estudante chegou rapidamente à resposta, suprimindo os passos intermediários.

Acredita-se que estas regras mais subjetivas foram fruto da maneira pela qual o aluno resolve as equações no papel. Utilizando-se disso, muitas vezes, passos intermediários na resolução de uma equação são omitidos. Isso é verificado, frequentemente, em pessoas que dominam plenamente o conteúdo.

d) Visão Global da base de regras

Entende-se visão global da base de regras, como sendo a capacidade de percepção do aluno para o fato de que o sistema

executa apenas as operações que estejam definidas na forma de regras.

Dos dez alunos participantes, quatro deles perceberam a importância da base de regras, ou seja, se não dispõe-se de uma regra que defina, por exemplo a multiplicação aritmética de duas constantes, de nada adianta solicitar ao sistema que execute esta operação. Os demais (seis alunos) insistiram, a cada passo, em solicitar ao sistema que executasse algo que ainda não haviam definido na forma de regras. É interessante observar que estes quatro alunos, além de possuírem um bom aproveitamento escolar, já haviam utilizado computadores, "videogames", "videocassete", etc..., e portanto, tinham claro a idéia de que qualquer máquina programável executa apenas operações previamente definidas.

7.2.3 - Um Estudo de Caso

No sentido de validar a possibilidade do SICRE como uma ferramenta útil no processo de aprendizagem de equações do 1º grau, entendendo-se aqui, aprendizagem como uma mudança de comportamento decorrente da assimilação de um conhecimento, cogitou-se em testar o sistema com um aluno que não havia estudado, formalmente, equações do 1º grau.

Identificou-se um estudante da 4ª série do 1º grau, com 10 anos de idade, que ainda não havia visto equações do 1º grau na escola, porém tinha noções elementares sobre algumas operações envolvidas na sua resolução. Estes conceitos elementares, que restringiam-se às quatro operações aritméticas e a idéia básica de manipulação de equações do 1º grau mais simples, como inversão de operações quando ocorre mudança de um elemento de um membro

para outro, foram transmitidas por seus pais.

Além disso, levou-se em conta que este estudante tinha familiaridade com equipamentos do tipo "videogame", "videocassete", e com o computador, característica esta considerada desejável, uma vez que pretendia-se observar o comportamento de um aluno que não tinha problemas com a utilização da máquina.

Neste contexto, verificou-se que, apesar do pouco conhecimento analítico de equações, este aluno conseguiu trabalhar com SICRE. Suas regras, apesar de não serem gerais, eram bem elaboradas. Por exemplo:

REGRA 3	REGRA 4	REGRA 8
SE $x+2=7$	SE $x=7-2$	SE $x=28/4$
ENTAO $x=7-2$	ENTAO $x=5$	ENTAO $x=28$ dividido 4

Durante sua sessão com o sistema, pode-se observar momentos em que este aluno cometia alguns erros na resolução das equações, principalmente quando deparava com equações mais complexas. Para ilustrar, na resolução da equação $4*x-1=27$, ele escreveu inicialmente a seguinte regra:

```
SE      4*x-1=27
ENTAO   x=27 dividido 4 - 1
```

Em seguida, ele observou que havia feito algo de errado, pois o sistema informou que a resposta encontrada não estava correta. Imediatamente ele passou a rever as suas regras e concluiu que poderia usar um critério que já havia usado antes na resolução de equações mais simples ("Feedback"). Assim, o aluno em primeiro lugar passou as constantes para o outro membro trocando o sinal, através da definição da seguinte regra:

SE $4*x-1=27$

ENTAO $4*x=27+1$

Continuando a resolver esta equação, somou 27 com 1, dividiu esta soma por 4 e obteve a resposta correta.

A observação deste caso, leva a uma reflexão sobre a possibilidade que o SICRE oferece para a construção do conhecimento à partir de conceitos elementares, pois o aluno foi capaz de perceber a relação entre estes conceitos e associa-los para a resolução de equações mais elaboradas, contribuindo assim, no seu processo de aprendizagem.

7.2.4 - Possiveis Contribuições na Aprendizagem

Apesar de não ter sido feito nenhum teste para avaliar o grau de aprendizado dos alunos durante estas sessões, uma vez que isto demandaria um trabalho a longo prazo e aplicado a uma situação real, foram observados alguns aspectos que poderiam vir a contribuir no processo de aprendizagem.

a) O que foi observado no decorrer do Projeto Piloto, e apresentado no item 6.6.2, foi, de modo geral, confirmado nessa etapa do estudo, ou seja, a base de regras criada pelos alunos reflete a maneira como eles aprenderam o assunto em sala de aula; com o SICRE o aluno pode aprender fazendo; o aluno "ensina" o sistema a medida que formaliza suas regras; o sistema leva o aluno a refletir sobre seus erros ("Feedback") e sobre todo o processo envolvido na resolução de uma equação (meta-conhecimento).

b) Na quarta equação proposta, os alunos que tinham em mente a prioridade de operadores, apenas ratificaram os seus conhecimentos, multiplicando primeiramente 2 por 3 e adicionando 4; enquanto os que não tinham este conceito bem fundamentado, erraram na resolução da equação. O importante foi que todos os alunos foram advertidos de que tinham feito algo de errado. Foi observado a partir disto que, após uma reflexão, todos conseguiam detectar o erro e refazer o exercício. Acredita-se que esta reflexão venha a contribuir para a aprendizagem, não apenas neste caso, mas em todos onde o aluno apresentar deficiências.

c) O estudo de caso descrito no item 7.2.3, evidencia uma situação onde um estudante, a partir de conceitos elementares, pôde explicitar um conhecimento ainda não adquirido. Acredita-se que este foi o fato observado de maior relevância, pois demonstra a construção de um conhecimento.

7.3 - ETAPA 2 - USO COLETIVO DO SICRE EM UMA SALA DE AULA **COMPUTADORIZADA**

7.3.1 - Objetivo

O objetivo desta etapa é analisar o uso coletivo de SICRE simultaneamente, por um grupo de alunos, com o propósito de estudar questões sobre: como inserir o SICRE em uma sala de aula; e se o conhecimento prévio sobre o computador, antes de usar SICRE, é fundamental ou não.

7.3.2 - Metodologia de Uso

Uma sala foi equipada com doze computadores, sendo que onze deles foram utilizados individualmente por alunos de 7^a série de um colégio particular. Utilizou-se um "datashow" acoplado ao 12^o microcomputador, para passar as instruções de como chamar o programa, e de como usar o SICRE; bem como para mostrar o desenvolvimento das atividades.

Foram propostas as mesmas equações apresentadas aos alunos participantes da primeira etapa.

7.3.3 - Análise dos Resultados

Esta primeira experiência de uso do SICRE coletivamente foi bastante lenta, no que se refere ao desenvolvimento dos trabalhos. Cabe salientar que nenhum dos alunos participantes havia usado anteriormente um microcomputador. Sendo assim, o trabalho foi demorado comparado àquele da experiência da etapa anterior.

Durante esta sessão coletiva, apenas alguns alunos chegaram a tentar resolver a 4^a equação proposta, sendo que a grande maioria chegou apenas até a 3^a. Atribui-se isto ao fato destes alunos nunca terem utilizado um computador e até que eles adquirissem familiaridade com SICRE e com o computador, foi perdido muito tempo antes do início das atividades.

Como não foi possível um atendimento individual a cada aluno, foi demonstrado, inicialmente, como resolver uma equação usando SICRE. Para esta demonstração usou-se o "datashow". Por outro lado, foi possível também observar o desenvolvimento da sessão através do "Arquivo de Equações" de cada aluno.

Pela análise destes arquivos, pode-se verificar que nenhum dos alunos chegaram a generalizar regras, e que todos eles analisaram as equações por inteiro. Além disso, as operações ADICIONAR, SUBTRAIR, DIVIDIR E MULTIPLICAR não foram utilizadas por nenhum dos alunos, a exemplo do que ocorreu no Projeto Piloto e na primeira etapa do Trabalho de Campo.

7.3.4 - Como Inserir SICRE na Sala de Aula

Pela experiência vivenciada nesta etapa, conclui-se que o SICRE, quando utilizado por alunos sem nenhuma experiência com computadores, apresenta um desenvolvimento mais lento das atividades. Assim, acredita-se que a melhor maneira para inserir SICRE em uma sala de aula, com alunos sem experiência computacional, seria combinando o uso coletivo com o uso individual, onde o aluno poderia explorar o sistema como ele bem entender. Baseado no uso individual, o professor poderia detectar erros ou regras mal definidas, e a partir do trabalho coletivo, depurar estas idéias e o conhecimento do aluno.

7.3.5 - Conclusões sobre o Trabalho Coletivo

O objetivo básico desta etapa foi de analisar a possibilidade de colocar SICRE em uma sala de aula, para ser usado simultaneamente por um grupo de alunos. Baseado nas observações realizadas, conclui-se que tal possibilidade mostrou-se viável, uma vez que todos os alunos conseguiram resolver, pelo menos, três das equações propostas.

Para se fazer uma avaliação mais detalhada sobre a exploração dos recursos do SICRE nesta etapa, não dispõe-se de subsídios conclusivos, visto que, como já foi mencionado, os participantes tiveram um primeiro contato com um computador nesta oportunidade; dispuseram de pouco tempo para utilizá-lo, e não foi possível um atendimento mais individualizado para sanar as dúvidas que surgiam.

Para trabalhar coletivamente o SICRE deve-se considerar o fato de que apenas alguns alunos possuem experiência anterior na utilização do computador, e no caso daqueles que nunca tiveram contato com a máquina, faz-se necessário um trabalho prévio de familiarização.

Todavia, sua inserção em uma sala de aula com alunos sem experiência computacional implicaria em promover sessões que combinassem o uso coletivo com o uso individual.

CAPÍTULO 8 CONCLUSÕES

Conforme enfatizado no decorrer do trabalho, o objetivo de desenvolver, depurar e verificar a viabilidade da utilização de um sistema com finalidade pedagógica, no caso, o SICRE, foi satisfatoriamente atingido.

O SICRE foi desenvolvido com base na estrutura de um sistema especialista, com ênfase no processo de explicitação, formalização e construção do conhecimento, e implementado para a utilização de alunos do 1º grau.

Para a depuração do SICRE, foi executado um Projeto Piloto com a participação de Matemáticos e estudantes da 7ª série do 1º grau, a partir do qual pôde-se concluir que o sistema pode ser usado tanto por professores quanto por alunos; que ele apresenta uma interface amigável; e ainda, torna explícitas algumas das características do processo de aprendizagem que se deseja enfatizar.

A realização do Trabalho de Campo com dois grupos de alunos, mostrou que um atendimento individualizado é mais produtivo. As sessões de uso coletivo implicam em um período de tempo maior para que o aluno se familiarize com o sistema, principalmente nos casos em que não há uma experiência computacional anterior.

Um dos aspectos considerado dos mais relevantes ocorreu durante o Trabalho de Campo, quando um estudante à partir de conceitos elementares conseguiu explicitar e construir um conhecimento

ainda não adquirido. Assim sendo, o Trabalho de Campo serviu ao propósito de viabilizar o sistema implementado.

A seguir, são apresentadas algumas limitações verificadas no sistema, bem como sugestões para trabalhos futuros.

8.1 - LIMITAÇÕES DO SISTEMA

a) O sistema ainda não possui opções de ajuda ("help") o que exige a presença constante do professor para esclarecimentos sobre suas opções e operações. No entanto, este problema pode ser contornado acrescentando-se opções de ajuda em cada módulo de SICRE, e implementado à partir de uma janela em cada ambiente do sistema. Esta janela apresentaria esclarecimentos sobre as opções ou operações do SICRE relacionadas ao ambiente em que o aluno se encontra.

b) Em função do sistema acessar muito o disco, é conveniente usar um equipamento com disco rígido. Esta limitação não pode ser contornada, uma vez que cada atitude do aluno, durante uma sessão, é registrada em um arquivo de equações ("Dribble File"), para posterior avaliação do seu desempenho.

8.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A idéia que SICRE adota pode ser utilizada em outras áreas, como também ter uma continuidade no campo da Matemática.

Dentro do campo matemático pode-se sugerir uma extensão para a resolução de equações de ordem mais elevada, ou até mesmo para o problema de derivadas e integrais, vistos em cursos de nível superior. Para isto seria necessário realizar alterações no sistema, dentre elas, por exemplo, a ampliação do conjunto de símbolos aceitos pela linguagem e da definição gramatical de regras; assim como a capacidade do sistema em manipular números reais.

Outras implementações podem ter efeito no ensino do conteúdo disciplinar de outras áreas do conhecimento, como Geografia, História, etc..., aproveitando as idéias gerais utilizadas em SICRE. Neste sentido poderia-se talvez mudar o tipo de representação de conhecimento utilizada no sistema. Uma possibilidade seria utilizar redes semânticas onde o aluno definiria as entidades e os relacionamentos. Além disso, toda o mecanismo de consulta e teste do sistema deveria ser modificado adaptando-se à nova área do conhecimento abordada.

No caso de Ciências da Computação pode-se pensar em um sistema baseado em SICRE para ensinar, por exemplo, um aluno a programar em uma determinada linguagem de programação. O estudante definiria a gramática da linguagem e o código a ser gerado através de regras de produção. Assim, no final, o sistema seria testado com programas gerais e todo o processo de compilação e

geração de código seria controlado pela base de regras que o estudante escreveu.

Finalmente, sugere-se que, para se fazer uma avaliação mais real da contribuição do SICRE no processo de aprendizagem, utilize-se uma metodologia aplicada por uma equipe multidisciplinar composta por psicólogos, pedagogos, sociólogos, filósofos, professores das áreas específicas e informatas, e que assim, esteja apta a fazer uma análise desta contribuição em uma sala de aula regular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CLEMENTS, Douglas H.. Research on Variables, Algebra, and Logo, Part IV: Logo Tools. *LOGO EXCHANGE*, April, 1988.
- [2] ARTITY CORPORATION. The Arity/Expert Development Package, 1986.
- [3] BARR, Avron e FEIGENBAUM, Edward A.. The Handbook of Artificial Intelligence. Heuris Tech Press, 1982. Vol 1 e 2.
- [4] BRATKO, Ivan. PROLOG Programming for Artificial Intelligence. Addison-Wesley, 1988.
- [5] BOYER, Chuck. Artificial Intelligence. *Think*, number 1, 1987.
- [6] BUCHANAN, Bruce G. e SHORTLIFFE, Edward H.. Rule-Based Expert Systems. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1984.
- [7] CALMET, Jacques & LUGIEZ, Denis. A Knowledge-based System for Computer Algebra. *ACM-SIGSAM*, nº1, fevereiro de 1987. Vol 21.
- [8] CHAVES, Eduardo O.C. e SETZER, Valdemar. O Uso de Computadores em Escolas: Fundamentos e Críticas, Editora Scipione, 1988.
- [9] CHORAFAS, Dimitris N.. Sistemas Especialistas: Aplicações Comerciais. Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1988.

[10] COLLARTE, Susana A.. Dessarrollo de Diálogos Estudiante-Máquina, mediante el Lenguaje Computacional Micro-Prolog. Tese de mestrado, Universidad de Chile, 1987.

[11] D'AMBRÓSIO, Bruce. Expert Systems - Myth or Reality?. BYTE, january, 1985.

[12] DANTE, Luiz Roberto. Ênfases Dominantes no Ensino da Matemática e algumas indicações para mudança. UNESP, Artigo não publicado.

[13] FEIGENBAUM, Edward. The Rise of the Expert Company. Times Books, 1988.

[14] FEURZEIG, Wallace. Algebra Slaves and Agents in a Logo-Based Mathematics Curriculum. Instructional Science 14, Elsevier Science Publishers B.V., 1986.

[15] GERSHON, Gary. The Genesis of a Knowledge-based Expert System. IBM Systems Journal, nº 2, 1986. Vol 25.

[16] HARMON, Paul. Expert Systems Tools and Applications. John Wiley & Sons, Inc., 1988.

[17] HARMON, Paul e KING, David. Sistemas Especialistas: a Inteligência Artificial chega ao mercado. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1988.

[18] KINNUCAN, Paul. Software Tools Speed Expert System Development. High Technology, march, 1985.

[19] ARITY CORPORATION. Manual Arity/Prolog Programming Language version 5.0. 1988.

- [20] NILSSON, Nils J.. Principles of Artificial Intelligence. Springer-Verlag, 1982.
- [21] O' SHEA, Tim e SELF, John. Learning and Teaching with Computers , Prentice-Hall Inc, 1983.
- [22] PAPERT, Seymour. LOGO: Computadores e Educação , editora Brasiliense S.A, São Paulo, 1985.
- [23] ROCHA, Heloisa V.. Representações Computacionais Auxiliares ao Entendimento de Conceitos de Programação. Tese de doutorado, FEE, UNICAMP, 1991.
- [24] SLEEMAN, D. An Attempt to Understand Students' Understanding of Basic Algebra , Cognitive Science, 1984, vol 8.
- [25] SLEEMAN, D e BROWN, J.S.. Intelligent Tutoring Systems , Academic Press Inc, 1982;
- [26] VALENTE, José A.. EDUCOM - UNICAMP: O LOGO na Escola Pública. Núcleo de Informática Aplicada à Educação, UNICAMP, artigo não publicado.
- [27] WENGER, Etienne. Artificial Intelligence and Tutoring Systems. Morgan Kaufmann Publishers, 1987;
- [28] WOOLF, Beverly Park e outros. Knowledge-base Environments for Teaching and Learning. AI Magazine, 1991.

APÊNDICE A UM EXEMPLO DE UM ARQUIVO DE REGRAS

```
regra(1
SE      a*x=b
ENTAO   x=b/a
regra(2
SE      a/b
ENTAO   a dividido b
regra(3
SE      x+a=b
ENTAO   x=b-a
regra(4
SE      a-b
ENTAO   a subtraido b
regra(5
SE      a*x-b=c
ENTAO   a*x=b+c
regra(6
SE      a+b
ENTAO   a somado b
regra(7
SE      x+x
ENTAO   1 somado 1 *x
regra(8
SE      a*b
ENTAO   a multiplicado b
regra(9
SE      a*x+b=c*x+d
ENTAO   a*x-c*x=d-b
regra(10
SE      a*x-b*x
ENTAO   a subtraido b *x
```

APÊNDICE B CONJUNTO DE CLAÚSULAS PROLOG GERADOS PARA O ARQUIVO
DO APÊNDICE A

```
regra(1,[A,*,x,=,B],[],[x,=,B,/,A]).
```

```
regra(2,[A,/,B],[],Res_final):-divisao(A,B,Res),  
append([],Res,Res1),  
append(Res1,[],Res_final).
```

```
regra(3,[x,+,A,=,B],[],[x,=,B,-,A]).
```

```
regra(4,[A,-,B],[],Res_final):-subt(A,B,Res),  
append([],Res,Res1),  
append(Res1,[],Res_final).
```

```
regra(5,[A,*,x,-,B,=,C],[],[A,*,x,=,B,+,C]).
```

```
regra(6,[A,+,B],[],Res_final):-soma(A,B,Res),  
append([],Res,Res1),  
append(Res1,[],Res_final).
```

```
regra(7,[x,+,x],[],Res_final):-soma(1,1,Res),  
append([],Res,Res1),  
append(Res1,[*,x],Res_final).
```

```
regra(8,[A,*,B],[],Res_final):-mult(A,B,Res),  
append([],Res,Res1),  
append(Res1,[],Res_final).
```

```
regra(9,[A,*,x,+,B,=,C,*,x,+,D],[],[A,*,x,-,C,*,x,=,D,-,B]).
```

```
regra(10,[A,*,x,-,B,*,x],[],Res_final):-subt(A,B,Res),  
append([],Res,Res1),  
append(Res1,[*,x],Res_final).
```

APÊNDICE C UM EXEMPLO DE ARQUIVO DE EQUACÕES

sessao1 01/09/91

Equacao : $2 * x = 4$

Selecao: $2 * x = 4$

EXECUTAR

NAO SEI :

EXECUTAR $2 * x = 4$

$2 * x = 4$

Inserir:

Regra(1

SE $a*x=b$

ENTAO $x=b/a$

Selecao: $2 * x = 4$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(1

SE $a \cdot x = b$

ENTAO $x = b/a$

$$x = 4 / 2$$

Inserir:

Regra(2

SE a/b

ENTAO a dividido b

Selecao: $4 / 2$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(2

SE a/b

ENTAO a dividido b

$$x = + 2$$

VERIFICACAO DA RESPOSTA:

Voce nao chegou na resposta

SIMPLIFICAR

$$x = 2$$

VERIFICACAO DA RESPOSTA:

O RESULTADO ESTA CORRETO
=====

Equacao : $x + 5 = 3$

Selecao: $x + 5 = 3$

EXECUTAR

NAO SEI :

EXECUTAR $x + 5 = 3$

$x + 5 = 3$

Inserir:

Regra(3

SE $x+a=b$

ENTAO $x=b+a$

Selecao: $x + 5 = 3$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(3

SE $x+a=b$

ENTAO $x=b+a$

$x = 3 + 5$

Selecao: $3 + 5$

EXECUTAR

NAO SEI :

EXECUTAR $3 + 5$

$x = 3 + 5$

Inserir:

Regra(4

SE $a+b$

ENTAO a somado b

Selecao: $3 + 5$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(4

SE a+b

ENTAO a somado b

x = + 8

SIMPLIFICAR

x = 8

VERIFICACAO DA RESPOSTA:

O RESULTADO NAO ESTA CORRETO

=====

Equacao : x + 5 = 3

Modificar regra de:

regra(3

SE x+a=b

ENTAO x=b+a

para :

regra(3

SE x+a=b

ENTAO x=b-a

Selecao: $x + 5 = 3$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(3

SE $x+a=b$

ENTAO $x=b-a$

$x = 3 - 5$

Inserir:

Regra(5

SE $a-b$

ENTAO a subtraido b

Selecao: $3 - 5$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(5

SE $a-b$

ENTAO a subtraido b

$x = - 2$

VERIFICACAO DA RESPOSTA:

O RESULTADO ESTA CORRETO
=====

Equacao : $2 * x + 4 * x = 12$

Inserir:

Regra(6

SE $a * x + b * x$

ENTAO a somado $b * x$

Selecao: $2 * x + 4 * x$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(6

SE $a * x + b * x$

ENTAO a somado $b * x$

$+ 6 * x = 12$

SIMPLIFICAR

$6 * x = 12$

Selecao: $6 * x = 12$

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(1

SE $a \cdot x = b$

ENTAO $x = b/a$

$$x = 12 / 6$$

Selecao: 12 / 6

EXECUTAR

REGRA USADA:

regra(2

SE a/b

ENTAO a dividido b

$$x = + 2$$

SIMPLIFICAR

$$x = 2$$

VERIFICACAO DA RESPOSTA:

O RESULTADO ESTA CORRETO

=====