

ALEXANDRE RÔMOLO MOREIRA FEITOSA

**ANÁLISE DO USO DE FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO
HEURÍSTICO NO ENSINO DE JOGOS ATRAVÉS DO ESTÍMULO À
ALTERNÂNCIA ENTRE COMPETIÇÃO E COLABORAÇÃO**

Texto apresentado ao Programa de Pós-graduação
em Informática do Setor de Ciências Exatas da
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial para a obtenção do título de doutor.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Ibrahim Direne.

CURITIBA

2013

F311a Feitosa, Alexandre Rômolo Moreira
 Análise do uso de formalização de conhecimento heurístico no ensino de
 jogos através do estímulo à alternância entre competição e colaboração /
 Alexandre Rômolo Moreira Feitosa. – Curitiba, 2013.
 242f. : il. color. ; 30 cm.

 Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
 Exatas, Programa de Pós-graduação em Informática, 2013.

 Orientador: Alexandre Ibrahim Direne.
 Bibliografia: p. 219-239.

 1. Inteligência artificial - Aplicações educacionais. 2. Xadrez - Estudo e
 ensino. 3. Ensino auxiliado por computador. I. Universidade Federal do
 Paraná. II. Direne, Alexandre Ibrahim. III. Título.

CDD: 006.33

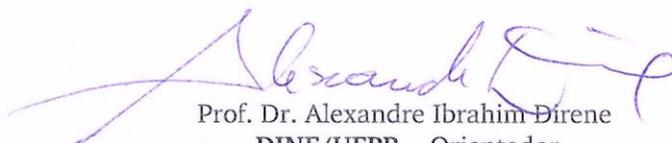


Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Informática

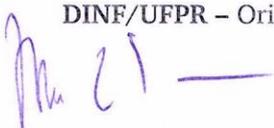
PARECER

Nós, abaixo assinados, membros da Banca Examinadora da defesa do aluno de Doutorado em Ciência da Computação, Alexandre Rômolo Moreira Feitosa, avaliamos a tese de doutorado intitulada “*Análise do uso de formalização de conhecimento heurístico no ensino de jogos através do estímulo à alternância entre competição e colaboração*”, cuja defesa pública foi realizada no dia 27 de agosto de 2013, às 13:30 horas, no Departamento de Informática do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná. Após avaliação, decidimos pela **aprovação** do candidato.

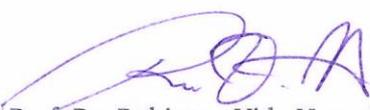
Curitiba, 27 de agosto de 2013.



Prof. Dr. Alexandre Ibrahim Direne
DINE/UFPR – Orientador



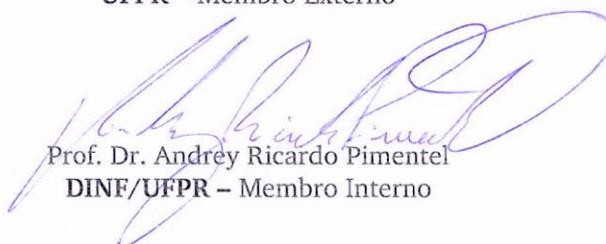
Prof. Dr. Murilo Vicente Gonçalves da Silva
UTFPR – Membro Externo



Prof. Dr. Robinson Vida Noronha
UTFPR – Membro Externo



Prof. Dr. Bruno Muller Júnior
UFPR – Membro Externo



Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel
DINE/UFPR – Membro Interno



Dedico este trabalho ao meu pai

José Eliacir Alves Feitosa

(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de nominar e agradecer algumas das pessoas que contribuíram de forma decisiva para a realização deste trabalho.

Aos professores da UTFPR, campus Cornélio Procópio, Eurico P. de Almeida Junior, Paulo C. Paulino, e Waldemar V. Striquer. Professores de Educação Física que viabilizaram a realização do estudo empírico junto aos alunos do ensino médio, e que compartilharam informações e experiências pessoais importantes sobre o ensino básico de xadrez.

Ao professor, educador, e enxadrista Wilson da Silva, que foi desde o início um parceiro e apoiador do projeto do uso de ferramentas computacionais para o ensino de xadrez. E o qual me ajudou desde a realização do meu mestrado.

Aos meus amigos e colegas de doutorado Ailton Bonifacio, Ricardo Coelho, e Eleandro Maschio, que compartilharam viagens, risadas, e histórias.

A minha unida família: Elizabeth, Tereza, Emerson, Fernanda, Alessandra, Bráulio. Miriam, Mário, e Taina. Cada dia ela fica maior e melhor.

A minha esposa, amiga, e companheira de todas as horas e sonhos, Ayla Mayumi.

E por fim, ao meu amigo e orientador professor Alexandre I. Direne. Uma pessoa compreensiva, profissional, competente, e idealista. Alguém que trabalha para e pela educação.

A Deus e a todos o meu muito obrigado! E a você uma boa leitura.

"Você pode descobrir mais a respeito de uma pessoa em
uma hora de jogo do que em um ano de conversação."
(Platão)

RESUMO

Neste trabalho de doutoramento, verifica-se a hipótese de que o estímulo à formalização de conhecimento heurístico de jogo por aprendizes contribui para que estes compreendam melhor, os conceitos trabalhados no processo de aprendizagem. Sendo esta atividade de instrução apoiada por software, e privilegiando a alternância entre a colaboração e competição entre os estudantes. O projeto PROTEX, de apoio computacional ao ensino de xadrez nas escolas brasileiras, apresentado em Direne *et al.* (2004), descreve um ambiente educacional onde o aprendiz formaliza o seu conhecimento heurístico de jogo, e esta representação criada pode ser analisada, comentada, e usada por outros estudantes. E através de jogadores automáticos, a heurística especificada por um indivíduo pode ser validada, quando esta é utilizada como lógica de escolha de jogadas em uma partida automatizada. Alguns conceitos e ferramentas para este sistema foram anteriormente desenvolvidos por Martineschen *et al.* (2006), Feitosa *et al.* (2007) e Bueno *et al.* (2008), contudo até o presente estudo a eficácia desta abordagem não podia ser atestada. Com o intuito de realizar esta aferição, os seguintes objetivos foram alcançados por esta pesquisa: (1) realizou-se uma análise crítica, e uma revisão bibliográfica completa sobre os trabalhos acadêmicos e comerciais relacionados a este tema; (2) expandiu-se o conjunto de conceitos e softwares para permitir a competição artificial entre as especificações feitas; e (3) conduziu-se um estudo empírico sobre o uso deste novo ferramental, em um ambiente real de ensino e aprendizagem de xadrez. E a partir da análise dos resultados encontrados, constatou-se que a proposição inicial demonstrou-se válida.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Formalização de Heurísticas; Jogadores automáticos; Jogo de xadrez; Apoio computacional ao ensino; Alternância entre competição e colaboração.

ABSTRACT

The main research claim hypothesizes that the formalization of heuristic knowledge by learners of game tactics contributes to a better understanding of the concepts. Computer-supported instruction is also emphasized here as the alternation between collaboration and competition learners' elicited tactic knowledge. The PROTEX project (computational support to teaching chess Brazilian schools), presented by Direne *et al.* (2004), and describes an educational environment where a learner formalizes his knowledge about game heuristics, which can be analyzed, annotated, and used by other students to. After that, the potential force of the formal tactic by an individual can be automatically validated through artificial competitions of standard minimax robots guided by each individual tactic. Some concepts and tools for this system were previously developed by Martineschen *et al.* (2006), Feitosa *et al.* (2007) and Bueno *et al.* (2008), but until this study the effectiveness of this approach could not be confirmed. In order to perform this measurement, the following objectives have been achieved by this research: (1) a critical analysis was carried out through a complete literature review on academic and commercial approaches in the subject matter; (2) the extension of the software setting allowed for artificial competitions to run over various learners' tactics that were specified with the *DHJOG* language of heuristic formalization; (3) an empirical study was conducted on the use of this new software setting in a real educational environment for chess training. From the analysis of results it was found that the initial proposition proved valid.

Key-words: Artificial Intelligence; Heuristics formalization; Automatic game players; Chess playing; Computer-based learning and teaching; Alternation between competition and collaboration.

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS, E SIGLAS

AVAX	Ambiente Virtual para Aprendizagem de Xadrez.
ACL	<i>Agent Communication Language</i> (Linguagem de Comunicação de Agentes).
BNF	<i>Backus-Naur Form</i> (Chamado de Forma de Backus-Naur, formalismo de Backus-Naur, ou forma Normal de Backus)
brKChess	br vem de Brasil, K vem da interface gráfica KDE, e <i>Chess</i> significa xadrez. (É um ambiente de autoria de Sistemas Inteligentes de ensino pericial de xadrez).
C3SL	Centro de Computação Científica e Software Livre.
CACAREJE	Colaboração Alternada com Competição na Aprendizagem Referenciada por Jogos Educativos.
CAI	<i>Computer-Assisted Instruction</i> (Instrução Assistida por Computador).
CEX	Centro de Excelência do Xadrez.
CSCL	<i>Computer-supported collaborative learning</i> (Aprendizagem colaborativa suportada por computador).
DHJOG	Linguagem de Definição de Heurísticas de Jogo.

FACT	<i>Framework for Advanced Collaborative Tutoring</i> (Arcabouço para Tutoria Colaborativa Avançada).
FEN	<i>Forsyth-Edwards Notation</i> (Notação <i>Forsyth-Edwards</i>).
FICS	<i>Free Internet Chess Server</i> (Servidor internet de xadrez gratuito).
FIDE	<i>Fédération Internationale Des Échecs</i> (Federação Internacional de xadrez).
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i> (Fundação para Agentes Físicos Inteligentes).
GMI	Grande Mestre Internacional de xadrez Título concedido pela FIDE.
GUI	<i>Graphical User Interface</i> (Interface gráfica de usuário)
HeuChess	<i>Heuristic Chess</i> (Xadrez heurístico)
IA	Inteligência Artificial
IBM	<i>International Business Machines</i> (Máquinas Empresariais Internacionais).
ICC	<i>Internet Chess Club</i> (Clube de xadrez na internet).

ICONCHESS	<i>Interactive CONsultant for CHESS Middlegames</i> (Consultor interativo de meio de jogo do xadrez).
ICS	<i>Internet Chess Server</i> (Servidor internet de xadrez).
JAS	Jogador de Abordagem Socrática
MI	Mestre Internacional de xadrez Título concedido pela FIDE.
MRE	Múltiplas Representações Externas (<i>MER - Multiple External Representations</i>).
NFL	<i>National Football League</i> (Liga Nacional de Futebol Americano).
PGN	<i>Portable Game Notation</i> (Notação Portável de Jogo).
PROTEX	Projeto de Tipificação do Ensino de Xadrez.
RBC	Raciocínio baseado em casos (<i>CBR - Case-Based Reasoning</i>).
RE	Representação Externa (<i>ER – External Representation</i>).
RUI	<i>Representations for Understanding Images</i> (Representações para Compreender Imagens).
SAEX	Sistema de Apoio ao Ensino de Xadrez.

SEED	Secretaria de Educação a Distância.
STI	Sistemas Tutoriais Inteligentes <i>(ITS - Intelligent Tutoring Systems)</i> .
UFPR	Universidade Federal do Paraná.
USCF	<i>United States Chess Federation</i> (Federação dos Estados Unidos de xadrez).
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
WWW	<i>World Wide Web</i> (Rede de alcance mundial).
XadrEx	Expertise em Xadrez
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DE DOMÍNIO DE CENTRO PELAS PRETAS NO XADREZ.....	4
FIGURA 2 – DEFINIÇÃO VISUAL NA <i>HEUCHES</i> DA REGIÃO CONSIDERADO CENTRO DE UM TABULEIRO..	8
FIGURA 3 – EXEMPLO DE UMA ÁRVORE DE POSSÍVEIS JOGADAS EM XADREZ	20
FIGURA 4 – ÁRVORE COM UMA ANÁLISE MINIMAX PARA O JOGO DA VELHA	22
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DAS FORÇAS DAS PEÇAS EM UM TABULEIRO.....	24
FIGURA 6 – PLANO DE FINAL DE JOGO MULTI-ESCALONADO: REI E TORRE CONTRA REI.....	27
FIGURA 7 – EXEMPLO DE UMA ÁRVORE DE ANÁLISE DE JOGADAS EM XADREZ	28
FIGURA 8 – TABULEIRO DE <i>SHOGI</i>	32
FIGURA 9 – TABULEIRO DE <i>XIANGQI</i>	32
FIGURA 10 – FUNCIONAMENTO DO TURCO, O AUTÔMATO DE XADREZ	38
FIGURA 11 – RELAÇÃO ENTRE TOTAL DE POSIÇÕES ANALISADAS E FORÇA.	43
FIGURA 12 – RELAÇÃO ENTRE CONHECIMENTO E PROFUNDIDADE DA BUSCA.	45
FIGURA 13 – ARQUITETURA DO <i>HITECH CHESS-PLAYER</i>	46
FIGURA 14 – KASPAROV ENFRENTA <i>DEEP BLUE</i>	48
FIGURA 15 – RELAÇÃO FORÇA (EM <i>RATING</i>) E PROFUNDIDADE DE BUSCA.	50
FIGURA 16 – ARQUITETURA BÁSICA DO <i>CHIP</i> ESPECÍFICO DE XADREZ DO <i>DEEP BLUE</i>	51
FIGURA 17 – FUNCIONAMENTO DA AVALIAÇÃO RÁPIDA DO <i>CHIP</i> DE XADREZ.....	51
FIGURA 18 – EVOLUÇÃO DA FORÇA DE JOGO DOS PRINCIPAIS JOGADORES AUTOMÁTICOS.....	52
FIGURA 19 – TELA DO JOGO <i>MICROCHES</i>	57
FIGURA 20 – TELA DE JOGO COM AS ANÁLISES DO <i>DEEP FRITZ 12</i>	60
FIGURA 21 – TELA DE TUTORIAL PARA INICIANTE DO <i>DEEP FRITZ 12</i>	61

FIGURA 22 – TELAS DE EXIBIÇÃO DE DICAS AO JOGADOR DO <i>DEEP FRITZ 12</i> .	61
FIGURA 23 – TELA DE CONFIGURAÇÃO DE FORÇA DE JOGO DO <i>DEEP FRITZ 12</i> .	62
FIGURA 24 – TELA DE JOGO DO <i>CHESSMASTER XI</i> .	64
FIGURA 25 – TELAS DE CRIAÇÃO DE CONTA DE USUÁRIO DO <i>CHESSMASTER XI</i> .	64
FIGURA 26 – TELA DE ESCOLHA DE Oponente Virtual DO <i>CHESSMASTER XI</i> .	65
FIGURA 27 – TELA DE CONFIGURAÇÃO DE Oponente Virtual DO <i>CHESSMASTER XI</i> .	66
FIGURA 28 – TELA DO JOGO DE ENSINO DE XADREZ <i>FRITZ & CHESSTER – PART I</i> .	72
FIGURA 29 – ARQUITETURA DO TUTOR UMRAO.	75
FIGURA 30 – EXEMPLO DE PLANO DO UMRAO PARA UMA POSIÇÃO.	76
FIGURA 31 – TELA DE MÓDULO TUTOR DO UMRAO.	77
FIGURA 32 – FLUXO DA INFORMAÇÃO NO TUTOR ICONCHESS.	79
FIGURA 33 – FERRAMENTA DO NÍVEL INSTRUCCIONAL DO SAEX.	83
FIGURA 34 – CONSTRUTOR DE CASOS DE ESTUDO DO SAEX.	84
FIGURA 35 – EXEMPLO DE HARMONIA DE PEÕES NO XADREZ.	86
FIGURA 36 – ARQUITETURA FUNCIONAL DO <i>BRKCHESS</i> .	88
FIGURA 37 – CRIANÇAS JOGANDO CONTRA O <i>ICAT</i> .	89
FIGURA 38 – ARQUITETURA DE AGENTE ROBÓTICO DE ENSINO <i>ICAT</i> .	90
FIGURA 39 – PÁGINA INICIAL DO ICC (<i>INTERNET CHESS CLUB</i>).	96
FIGURA 40 – PÁGINA INICIAL DO FICS (<i>FREE INTERNET CHESS SERVER</i>).	98
FIGURA 41 – ARQUITETURA DO <i>FRAMEWORK</i> UTILIZADO NO <i>CHESSÉDU</i> .	106
FIGURA 42 – CENÁRIO PARA CRIAR POSIÇÕES DO <i>CHESS TUTOR</i> .	107
FIGURA 43 – CENÁRIO DE EXPOSIÇÃO DO <i>CHESS TUTOR</i> , VISÃO DO PROFESSOR.	108
FIGURA 44 – CENÁRIO DE COMPETIÇÃO SIMULTÂNEAS DO <i>CHESS TUTOR</i> .	109
FIGURA 45 – EXEMPLO DE TREINAMENTO NO AVAX.	112

FIGURA 46 – ARQUITETURA MULTIAGENTE DO AVAX.	113
FIGURA 47 – ONTOLOGIA DE DOMÍNIO DO XADREZ USADA PELO AVAX.....	114
FIGURA 48 - DIAGRAMA GERAL DA ALTERNÂNCIA ENTRE COMPETIÇÃO E COLABORAÇÃO.	116
FIGURA 49 – TELA DE EDIÇÃO DE HEURÍSTICAS DE UMA ETAPA NO <i>HEUCHESS</i>	117
FIGURA 50 – INTERFACE E AMBIENTE DE INTERAÇÃO DO <i>XADREZLIVRE</i>	119
FIGURA 51 - ARQUITETURA FUNCIONALISTA INCREMENTAL DE STI NO <i>PROTEX</i>	120
FIGURA 52 – NOVA ESTRUTURA DE UMA <i>HEURÍSTICA DE VALOR DE PEÇA</i>	130
FIGURA 53 – NOVA ESTRUTURA DE FORMALIZAÇÃO DE SITUAÇÃO DE JOGO EM <i>DHJOG</i>	132
FIGURA 54 – TELA PRINCIPAL – ABA DE GERENCIAMENTO DE INSTITUIÇÕES E TURMAS.....	137
FIGURA 55 – TELA TURMA – PERMISSÕES DE ACESSO E USO DE MATERIAIS ENTRE APRENDIZES.	138
FIGURA 56 – TELA PRINCIPAL – VISUALIZAÇÃO DE OBJETOS PRÓPRIOS E DOS COLEGAS.	139
FIGURA 57 – TELAS REGIÃO – MODO NORMAL DE EDIÇÃO.	142
FIGURA 58 – TELA REGIÃO – MODO DE VISUALIZAÇÃO DE REGIÃO SIMÉTRICA.....	142
FIGURA 59 – TELA HEURÍSTICA – ABA PRINCIPAL DE UMA HEURÍSTICA DE VALOR DE PEÇAS.....	143
FIGURA 60 – TELA HEURÍSTICA – ABA DE VISUALIZAÇÃO DO CÓDIGO <i>DHJOG</i> GERADO.	144
FIGURA 61 – TELA AVALIA SITUAÇÃO DE JOGO – ESCOLHENDO A SITUAÇÃO DE JOGO ALVO.	146
FIGURA 62 – TELA AVALIA SITUAÇÃO DE JOGO – RESULTADO DA AVALIAÇÃO HEURÍSTICA.....	146
FIGURA 63 – TELA DE CRIAÇÃO DE CONFRONTO HEURÍSTICO – DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS.	148
FIGURA 64 – TELA DE CONFRONTO HEURÍSTICO – MODO DE EXECUÇÃO AUTOMÁTICA.	148
FIGURA 65 – TELA DE CONFRONTO HEURÍSTICO – MODO DE EXECUÇÃO PASSO A PASSO.....	149
FIGURA 66 – TELA CAMPEONATO – EXECUTANDO AS PARTIDAS ARTIFICIAIS.....	152
FIGURA 67 – TELA CAMPEONATO – EXIBINDO A CLASSIFICAÇÃO FINAL.....	153
FIGURA 68 – TELA SITUAÇÃO DE JOGO – ABA PRINCIPAL.	170
FIGURA 69 – TELA SITUAÇÃO DE JOGO – ABA ANOTAÇÕES.	171

FIGURA 70 – TELA EDIÇÃO CONJUNTO HEURÍSTICO – HEURÍSTICAS E REGIÕES DE UMA ETAPA.	173
FIGURA 71 – TELA EDIÇÃO CONJUNTO HEURÍSTICO – MUDANÇAS ENTRE ETAPAS.	174
FIGURA 72 – FORMALIZAÇÃO EM BNF ATUALIZADA DA <i>DHJOG</i> PARA XADREZ (PARTE 1).	203
FIGURA 73 – FORMALIZAÇÃO EM BNF ATUALIZADA DA <i>DHJOG</i> PARA XADREZ (PARTE 2).	204
FIGURA 74 – FORMALIZAÇÃO EM BNF ATUALIZADA DA <i>DHJOG</i> PARA XADREZ (PARTE 3).	205
FIGURA 75 – MODELO LÓGICO DE PERSISTÊNCIA ATUALIZADO DA <i>HEUCHESS</i>	206
FIGURA 76 – PLANO DE ATIVIDADES APLICADO À TURMA EF21C-P11-P12.	207
FIGURA 77 – PLANO DE ATIVIDADES APLICADO À TURMA EF22C-P13.	208
FIGURA 78 – PLANO DE ATIVIDADES APLICADO À TURMA EF22C-E13.	209
FIGURA 79 – DIAGRAMA DE TRANSIÇÃO ENTRE AS ETAPAS DO CONJUNTO HEURÍSTICO.	210
FIGURA 80 – FORMALIZAÇÃO COMPLETA EM <i>DHJOG</i> DE UM CONJUNTO HEURÍSTICO (PARTE 1).	211
FIGURA 81 – FORMALIZAÇÃO COMPLETA EM <i>DHJOG</i> DE UM CONJUNTO HEURÍSTICO (PARTE 2).	212
FIGURA 82 – FORMALIZAÇÃO COMPLETA EM <i>DHJOG</i> DE UM CONJUNTO HEURÍSTICO (PARTE 3).	213

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EXEMPLO DE FORMALIZAÇÃO DE HEURÍSTICA DE DOMÍNIO DE CENTRO NA <i>DHJOG</i>	7
TABELA 2 – FASES NA APRENDIZAGEM DO XADREZ.	15
TABELA 3 – FASES NO PLANEJAMENTO ENXADRÍSTICO.	16
TABELA 4 – FATORES DE TALENTO NO XADREZ.	17
TABELA 5 – UM DOS ESQUEMAS DE JOGO DA <i>CHES-PLAYING</i>	39
TABELA 6 – RELAÇÃO DE COMPLEXIDADE DO XADREZ, <i>SHOGI</i> , E <i>Go</i>	54
TABELA 7 – EXEMPLOS DE PROGRAMAS DE ESTUDO DE XADREZ.	71
TABELA 8 – VANTAGENS DE SE JOGAR XADREZ ATRAVÉS DA INTERNET.	99
TABELA 9 – DESVANTAGENS DO JOGO DE XADREZ ATRAVÉS DA INTERNET.	100
TABELA 10 – NÍVEIS DE EXPRESSIVIDADE DA LINGUAGEM <i>DHJOG</i>	127
TABELA 11 – CONSTANTES PARA IDENTIFICAÇÃO DE PECAS.	128
TABELA 12 – CONDIÇÃO HEURÍSTICA EM LINGUAGEM NATURAL E FORMALIZADA EM <i>DHJOG</i>	128
TABELA 13 – EXEMPLO DE USO DO NOVO CONCEITO DE <i>HEURÍSTICAS DE VALOR DE PEÇA</i>	130
TABELA 14 – VALORES HEURÍSTICOS SIMBÓLICOS DE RESULTADOS DE PARTIDAS.	131
TABELA 15 – EXEMPLO DE FORMALIZAÇÃO DE SITUAÇÃO DE JOGO EM <i>DHJOG</i>	133
TABELA 16 – NOVAS FUNÇÕES CRIADAS QUE RETORNAM CONJUNTOS DE PEÇAS.	144
TABELA 17 – IDENTIFICAÇÃO DAS TURMAS E PROFESSORES RESPONSÁVEIS.	162
TABELA 18 – CONTEÚDOS TRATADOS PELAS TURMAS NO ESTUDO EMPÍRICO.	163
TABELA 19 – PERÍODO DE REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS EMPÍRICOS EM CADA TURMA.	163
TABELA 20 – PERFIL GERAL DE IDADE E SEXO DAS TURMAS.	166
TABELA 21 – DOMÍNIO PRÉVIO SOBRE O USO DE COMPUTADORES.	166

TABELA 22 – DOMÍNIO PRÉVIO SOBRE O USO DA REDE INTERNET.	167
TABELA 23 – HISTÓRICO DA APRENDIZAGEM E PRÁTICA DO XADREZ.	167
TABELA 24 – EXPERIÊNCIA EM XADREZ DOS APRENDIZES SEGUNDO ELES MESMOS.....	168
TABELA 25 – META DE APRENDIZAGEM EM XADREZ.....	168
TABELA 26 – CONTROLE DAS PRESENCAS NOS ATENDIMENTOS.....	175
TABELA 27 – RELAÇÃO ENTRE A QUANTIDADE DE ATENDIMENTOS E AS TURMAS.	176
TABELA 28 – CONTROLE DA REALIZAÇÃO DAS TAREFAS DE FORMALIZAÇÃO.	177
TABELA 29 – CONTROLE DO CUMPRIMENTO DAS TAREFAS DE COLABORAÇÃO E COMPETIÇÃO.....	178
TABELA 30 – VISÃO DOS ALUNOS SOBRE O IMPACTO DO USO DA <i>HEUCHESS</i> NA APRENDIZAGEM.....	179
TABELA 31 – ALUNOS QUE A <i>HEUCHESS</i> NÃO AJUDOU POIS DOMINAVAM O CONTEÚDO DE XADREZ.	180
TABELA 32 – PRESENÇA NOS ATENDIMENTOS DOS QUE NÃO SABIAM E A <i>HEUCHESS</i> NÃO AJUDOU. ...	180
TABELA 33 – TOTAL DOS ATENDIMENTOS DOS QUE NÃO SABIAM E A <i>HEUCHESS</i> NÃO AJUDOU.	181
TABELA 34 – RESULTADO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-P13.....	184
TABELA 35 – RESULTADO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-E13.....	186
TABELA 36 – RESULTADO DO CAMPEONATO COM OS MELHORES DA EF22C-P13 E EF22C-E13.....	188
TABELA 37 – RELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS COMPETIDORES DA TURMA EF22C-E13.....	192
TABELA 38 – RELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS COMPETIDORES DA TURMA EF22C-P13.....	194
TABELA 39 – DETALHES DO PRIMEIRO CICLO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-P13.....	214
TABELA 40 – DETALHES DO SEGUNDO CICLO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-P13.....	214
TABELA 41 – DETALHES DO TERCEIRO CICLO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-P13.....	215
TABELA 42 – RESULTADO FINAL DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-P13.....	215
TABELA 43 – DETALHES DO PRIMEIRO CICLO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-E13.....	215
TABELA 44 – DETALHES DO SEGUNDO CICLO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-E13.....	216
TABELA 45 – DETALHES DO TERCEIRO CICLO DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-E13.	216

TABELA 46 – RESULTADO FINAL DO CAMPEONATO DA TURMA EF22C-E13.....	217
TABELA 47 – PRIMEIRO CICLO DO CAMPEONATO DOS MELHORES DA EF22C-P13 E EF22C-E13.....	217
TABELA 48 – SEGUNDO CICLO DO CAMPEONATO DOS MELHORES DA EF22C-P13 E EF22C-E13.....	218
TABELA 49 – TERCEIRO CICLO DO CAMPEONATO DOS MELHORES DA EF22C-P13 E EF22C-E13.....	218
TABELA 50 – RESULTADO DO CAMPEONATO COM OS MELHORES DA EF22C-P13 E EF22C-E13.....	218

LISTA DE SÍMBOLOS



Rei branco



Rei preto



Dama branca



Dama preta



Bispo branco



Bispo preto



Cavalo branco



Cavalo preto



Torre branca



Torre preta



Peão branco



Peão preto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 HIPÓTESE DE PESQUISA.....	9
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	9
1.3.1 <i>Geral</i>	9
1.3.2 <i>Específicos</i>	10
1.4 CONTEXTO DO PROJETO.....	11
1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	12
2 PROCESSOS COGNITIVOS DOS ENXADRISTAS.....	13
2.1 PRIMEIRAS INVESTIGAÇÕES	13
2.2 FATORES RELACIONADOS AO USO DE ESTRATÉGIAS.....	19
2.2.1 <i>Análise de hipóteses</i>	19
2.2.2 <i>Memória especializada</i>	23
2.2.3 <i>Planejamento</i>	25
2.3 CAPACIDADES INERENTES À PERÍCIA.....	30
2.4 DISCUSSÃO FINAL SOBRE O CAPÍTULO	36
3 EVOLUÇÃO DOS COMPETIDORES AUTOMÁTICOS DE XADREZ	37
3.1 PRIMEIRAS INVESTIGAÇÕES	38
3.2 TÉCNICAS FUNDAMENTAIS	40
3.3 CONHECIMENTO VERSUS PROFUNDIDADE DE BUSCA.....	42
3.4 O PRIMEIRO GRANDE JOGADOR - <i>DEEP BLUE</i>	47

3.5	DISCUSSÃO FINAL SOBRE O CAPÍTULO	54
4	APRENDIZAGEM INDIVIDUAL APOIADA POR SOFTWARE	56
4.1	USO DE JOGADORES AUTOMÁTICOS NO ENSINO	57
4.2	SISTEMAS TUTORIAIS INTELIGENTES	70
4.2.1	<i>Ensino de finalizações de xadrez</i>	74
4.2.2	<i>Ensino de táticas de meio de jogo</i>	78
4.2.3	<i>Ensino de conceitos visuais</i>	81
4.2.4	<i>Abordagens diferentes de interação</i>	89
4.3	DISCUSSÃO FINAL SOBRE O CAPÍTULO	91
5	APRENDIZAGEM COLABORATIVA APOIADA POR SOFTWARE	92
5.1	A IMPORTÂNCIA DA INTERNET NA POPULARIZAÇÃO DO XADREZ.....	93
5.2	ÊNFASE NA COMPETIÇÃO	95
5.3	ESTIMULO A COLABORAÇÃO.....	101
5.3.1	<i>Competição colaborativa</i>	102
5.3.2	<i>Inteligência colaborativa</i>	103
5.3.3	<i>Ambientes de ensino colaborativos</i>	104
5.3.4	<i>Ambientes virtuais de convivência</i>	110
5.4	ALTERNÂNCIA ENTRE COLABORAÇÃO E COMPETIÇÃO	115
5.5	DISCUSSÃO FINAL SOBRE O CAPÍTULO	121
6	EXPANSÃO DOS CONCEITOS E FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	123
6.1	LINGUAGEM <i>DHJOG</i>	124
6.1.1	<i>Identificação de peças</i>	127
6.1.2	<i>Alteração do valor heurístico de peças específicas</i>	129
6.1.3	<i>Valores heurísticos para resultados de partidas</i>	131

6.1.4	<i>Situação de partida</i>	132
6.2	A FERRAMENTA DE AUTORIA <i>HEUCHESS</i>	134
6.2.1	<i>Gerenciamento de instituições e turmas</i>	136
6.2.2	<i>Repositório de objetos e acesso a itens de colegas</i>	139
6.2.3	<i>Formalização de situação de jogo</i>	140
6.2.4	<i>Formalização de heurísticas de xadrez</i>	141
6.2.5	<i>Avaliação heurística de uma situação de jogo</i>	145
6.2.6	<i>Competição heurística</i>	147
6.2.7	<i>Campeonato heurístico</i>	151
6.3	LIMITAÇÕES EXISTENTES NO FERRAMENTAL.....	154
6.4	DISCUSSÃO FINAL SOBRE O CAPÍTULO	156
7	ESTUDO EMPÍRICO	157
7.1	OBJETIVOS	158
7.2	PLANEJAMENTO.....	159
7.3	PREPARAÇÃO	161
7.4	APLICAÇÃO	164
7.4.1	<i>Avaliação inicial</i>	165
7.4.2	<i>Acompanhamento do estudo</i>	169
7.4.3	<i>Avaliação final</i>	176
7.5	CAMPEONATOS ARTIFICIAIS.....	182
7.5.1	<i>Apenas turma EF22C-P13</i>	184
7.5.2	<i>Apenas turma EF22C-E13</i>	185
7.5.3	<i>Melhores da EF22C-P13 e EF22C-E13</i>	188
7.6	ANÁLISE SOBRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS	190

7.7 DISCUSSÃO FINAL SOBRE O CAPÍTULO	197
8 CONCLUSÃO	199
8.1 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS	200
8.2 TRABALHOS FUTUROS	201
APÊNDICE A - DEFINIÇÃO EM BNF ATUALIZADA DA <i>DHJOG</i> PARA XADREZ	203
APÊNDICE B - MODELO LÓGICO DE PERSISTÊNCIA DA <i>HEUCHESS</i>.....	206
APÊNDICE C - PLANOS DE ATIVIDADES DAS TURMAS	207
APÊNDICE D - EXEMPLO DE FORMALIZAÇÃO DE UM <i>CONJUNTO HEURÍSTICO</i>..	210
APÊNDICE E - DETALHAMENTO DOS CAMPEONATOS HEURÍSTICOS	214
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	219
GLOSSÁRIO.....	240

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada uma visão geral da tese defendida neste trabalho de doutoramento. Definimos o problema central a ser tratado pelo estudo. Identificamos em qual contexto esta pesquisa está inserida. Elencamos a nossa hipótese de solução, e os objetivos primários e secundários que pretendemos alcançar. E ao final, fazemos uma breve descrição dos tópicos abordados pelos demais capítulos deste documento.

1.1 Definição do problema

Existem jogos, comumente denominados como sendo de “azar”, onde se utiliza algum fator aleatório no seu contexto de regras (*e.g.*, sorteios, uso de dados), e esta aleatoriedade pode contribuir diretamente para uma vitória ou derrota. Nestes jogos, o indivíduo depende de certa medida de sorte para alcançar êxito.

Por outro lado, em jogos como o xadrez e damas isto não ocorre. Neles não existe nenhum componente aleatório durante a aplicação das suas regras de transformação (movimentação de peças), e no planejamento dos lances a serem executados. A vitória depende exclusivamente da habilidade estratégica do jogador. Jogos com estas características são denominados jogos heurísticos.

Nestes jogos não é suficiente escolher uma jogada de forma isolada, se faz necessário à adoção de planos que incluam mais de um lance, e que busquem conquistar pequenas vantagens.

E com o acúmulo de várias destas, o jogador pode alcançar a meta maior, que é a vitória (FAUBER, 1992).

No xadrez, como em outros jogos de tabuleiro, as vantagens que ocorrem em uma partida são classificadas em três tipos (FEITOSA *et al.*, 2007):

- a) **Material** (força): Refere-se às características de uso das peças que o jogador possui. Ou seja, as possibilidades de ataque e de defesa que elas proporcionam. No xadrez, como existem diferentes tipos de peças, cada uma delas pode ter certo peso em relação às demais em determinado momento do jogo, ou região do tabuleiro. (*e.g.*, uma Dama é capaz de atacar mais casas do que um Cavalo, devido a isto ela é normalmente considerada mais importante do que ele).
- b) **Espacial** (posicional): Está relacionada à ocupação territorial do tabuleiro. Possuir peças em determinadas posições (*i.e.*, regiões) pode ser considerado uma vantagem de acordo com a situação, e o momento da partida. Por exemplo, um Bispo posicionado em um dos cantos do tabuleiro ataca menos casas, pois atua em apenas uma diagonal. Isto pode ser considerado uma desvantagem pelo jogador, e conseqüentemente uma vantagem ao oponente.
- c) **Temporal** (de desenvolvimento): Nos jogos de turno, onde ocorre uma alternância de execução de movimentos entre os jogadores, é importante que o sujeito utilize o seu momento de ação para buscar construir vantagens, e não o desperdice. Então, uma vantagem temporal diz respeito ao tempo usado ou disponível a um jogador, em determinado instante. Este tempo pode ser mensurado em quantidade de jogadas realizadas, ou disponíveis a ele para concretizar uma meta. Alcançar um objetivo em menos lances do que o inicialmente previsto é uma vantagem, e se diz que ocorreu

um rápido desenvolvimento de sua estratégia. Quando o jogo é realizado com tempo cronometrado e limitado, realizar um bom lance rapidamente pode ser visto também como uma vantagem temporal. No xadrez a quantidade de jogadas é comumente utilizada para dividir uma partida em etapas (*i.e.*, abertura, meio de jogo, e final).

O enxadrista deve então analisar a situação atual da partida, e identificar as características que se constituem em vantagens e desvantagens para ele, e para o oponente (Ver seção 2.2.1). E a partir desta crítica, escolher qual plano é o mais viável de ser seguido para alcançar em curto prazo determinada meta. Que o ajudará a médio ou longo prazo a conquistar a vitória (Ver seção 2.2.3). Neste processo ele utiliza um conjunto de casos e planos previamente estudados, onde ele mentalmente procura as correlações entre a situação previamente vista, e a atual. E com base em sua experiência, busca antever as potenciais escolhas (e contra-ataques) do adversário, e previamente neutralizá-las (Ver seção 2.2.2).

Jogar bem xadrez é uma atividade complexa. E a perícia nesta atividade requer muito estudo, treino, dedicação, e tempo por parte do aprendiz. O ensino deste jogo normalmente é realizado através da alternância das seguintes etapas:

- i) O instrutor apresenta os elementos que compõem o jogo, as regras de movimentação e transformação das peças, explica as principais táticas e estratégias existentes, e direciona o aprendiz a um estudo contextualizado de casos reais e hipotéticos. Neste processo expositivo o aluno é levado a desenvolver a habilidade de identificar, relacionar, e valorar as possíveis vantagens que podem ocorrer durante uma partida.

- ii) Posteriormente, o estudante é estimulado a fixar os conhecimentos teóricos aprendidos, e aperfeiçoá-los através da competição contra outros jogadores. Que podem ser humanos ou artificiais.

O primeiro problema desta abordagem de ensino, é que o aluno não é estimulado a formalizar durante as competições quais conhecimentos teóricos (*i.e.*, conceitos, táticas, e estratégias), e quais tipos de vantagens ele está considerando e priorizando durante a escolha de suas jogadas.

Outro agravante, é que na maioria dos jogos heurísticos, estes domínios teóricos de jogo não são especificados detalhadamente. O que dificulta a identificação do critério que foi adotado em determinada situação por um jogador. Por exemplo, no xadrez existe uma tática onde se busca dominar o centro do tabuleiro durante um momento da partida. A Figura 1 é um instante do confronto entre os enxadristas *Unzicker* e *Panno* realizado em *Palma de Mallorca* em 1969, onde especialistas identificam que as peças pretas estão utilizando desta técnica (SILVA N., 2010).

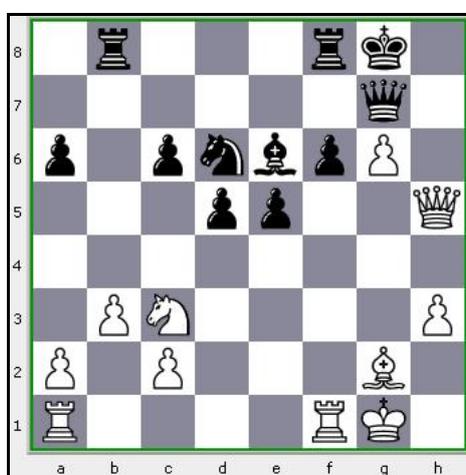


Figura 1 – Exemplo de domínio de centro pelas pretas no xadrez (SILVA N., 2010).

A Figura 1 utiliza a notação algébrica¹ para identificar as casas do tabuleiro. Adotaremos este mesmo método durante o decorrer deste documento.

O reconhecimento do uso da tática na Figura 1 é totalmente subjetivo. Visto que a definição do que é o “centro” de tabuleiro, e quando é que uma região pode ser considerada “dominada”, depende da interpretação de cada enxadrista. E os parâmetros que estabeleceram esta análise não são claramente perceptíveis, apenas observando a sequência de jogadas aplicadas.

Para alguns autores, o “centro” pode corresponder as 4 casas centrais do tabuleiro (*d4, e4, d5, e5*), para outros podem ser as 12 células centrais (*c4, d4, e4, f4, c5, d5, e5, f5, c6, d6, e6, e f6*). Dominar uma região pode significar ter mais peças que o adversário naquelas posições, ou também ter mais peças que ataquem esta área, mesmo estando fora dela.

Com o tempo, cada especialista termina por refinar os seus conceitos através da média gerada inconscientemente, a partir dos casos que ele teve acesso durante seus estudos. E cria seus próprios padrões de identificação (Ver seção 2.2.2).

Outro problema desta abordagem de ensino, e que a perícia na percepção dos conceitos de jogo utilizados, só é alcançada pelo indivíduo após uma análise exaustiva de várias situações de partida. E o uso correto destas táticas e estratégias só é fixado após a participação de um grande número de competições.

Isto devido ao fato de que, a validação do aprendizado feita através da participação do aprendiz em competições é imprecisa. Decorrente de que mesmo para um instrutor experiente, é complexo identificar precisamente quais foram os conceitos, parâmetros, e planos adotados mentalmente pelo aluno durante a realização de uma sequência de jogadas. E quais foram seus

¹ A notação algébrica divide um tabuleiro de xadrez em colunas de “a” a “h” e linhas de 1 a 8. É o método oficial recomendada pela FIDE (*Fédération Internationale des Échecs*), Federação Internacional de Xadrez, para a identificação das casas e de lances realizados.

critérios na valoração das vantagens a serem obtidas durante o percurso da partida. Desta forma, as explicações passadas ao estudante para a correção de sua postura ficam incompletas. E da mesma maneira que as escolhas do aluno, sem uma formalização explícita.

O professor acaba tendo uma “ideia” do que o aluno tentou fazer, e lhe passa um “conselho” de como ele deveria ter feito. A precisão do diagnóstico e da definição do tratamento poderá só vir através da análise exaustiva, com várias observações do mesmo erro sendo executado pelo mesmo aprendiz.

Por fim, essa abordagem didático-pedagógica não propicia ao estudante o entendimento concreto do conceito de heurística, e nem das características inerentes à estrutura do jogo estudado. E não o estimula a formalizar detalhadamente as suas decisões adotadas, passo a passo durante a realização das partidas.

Isto se deve em grande parte, pela inexistência de linguagens e ferramentas que permitam aos especialistas, instrutores, e aprendizes, descrever formalmente seus conhecimentos heurísticos de jogo, de forma fácil e sistemática. O que contribuiria ainda para que estas especificações criadas pudessem ser validadas, estudadas, e compartilhadas entre uma comunidade de indivíduos.

A escassez de estudos nesta área se deve em muito a dificuldade em conceber formas fáceis de representação, e de manipulação deste tipo de conhecimento por pessoas leigas, que não possuam domínio prévio de técnicas de Inteligência Artificial. Que é o caso dos enxadristas iniciantes. A criação de um ferramental eficiente neste quesito propiciaria que jogadores se tornassem autores de parâmetros heurísticos.

Um passo importante em direção a este objetivo foi realizado pelo projeto PROTEX (Ver seção 1.4), que propôs um ambiente de ensino onde o aprendiz formaliza o seu conhecimento heurístico de jogo, e esta representação criada pode ser estudada, comentada, e compartilhada com

outros aprendizes. E através de jogadores automáticos, a heurística definida por um indivíduo pode ser validada, quando esta é utilizada como método de escolha de jogadas em uma partida automatizada.

Na concepção deste sistema, advogasse que a alternância das atividades de competição e colaboração entre os estudantes aumentará a eficiência do ensino e aprendizagem, do que se as mesmas abordagens forem utilizadas de forma livre ou separadas (DIRENE *et al.*, 2004).

Alguns conceitos e ferramentas de software para este ambiente já foram descritos em trabalhos científicos (Ver seção 5.4). Como por exemplo, em Feitosa *et al.* (2007), onde é especificada a *Linguagem para Definição de Heurísticas de Jogo - DHJOG*, e a ferramenta de autoria de conhecimento heurístico de xadrez, chamada *HeuChess*.

A Tabela 1 traz como exemplo, uma possível formalização da tática de domínio de centro do xadrez em *DHJOG*.

Linguagem Natural	<i>Caso a quantidade de peças minhas no centro do tabuleiro seja maior que a quantidade de peças no centro do oponente, esta situação de partida vale 20% a mais do que o normal.</i>
<i>DHJOG</i>	CASA[] "CENTRO" <- {c6, d6, e6, f6, c5, d5, e5, f5, c4, d4, e4, f4, c3, d3, e3, f3}
	HEURISTICA VALOR_TABULEIRO "DOMINIO_DE_CENTRO" SE QUANTIDADE_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA,REI},CENTRO,EU) > QUANTIDADE_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA,REI},CENTRO,OPONENTE) ENTAO TABULEIRO <- TABULEIRO × 1,2 FIM HEURISTICA

Tabela 1 – Exemplo de formalização de heurística de domínio de centro na *DHJOG*.

A construção da especificação em *DHJOG* é toda realizada através da ferramenta visual *HeuChess* (Ver seção 6.2). Na Figura 2 vemos como foi definida a região “CENTRO” do tabuleiro, onde a tática de domínio é verificada.



Figura 2 – Definição visual na *HeuChess* da região considerado centro de um tabuleiro.

Estes primeiros estudos já atenderam de forma parcial algumas demandas necessárias, e que são pré-requisitos para o uso da formalização de heurísticas no ensino de xadrez. Mas até o momento, o uso deste ferramental proposto só foi validado de forma conceitual, através da análise teórica realizada por especialistas.

Estas aplicações ainda precisam ser aprimoradas, expandidas, e integradas. Para que possam ser disponibilizadas de forma funcional para aprendizes e instrutores reais. E só a partir disto, o impacto e a eficiência da adoção desta abordagem no processo de ensino e aprendizagem de jogos poderá ser aferida.

1.2 Hipótese de pesquisa

A hipótese que propomos é a de que o estímulo a formalização de conhecimento heurístico de jogo por aprendizes, e da colaboração e competição artificial entres eles, contribui para que melhor compreendam os conceitos trabalhados de jogo. Dentro de um processo de ensino e aprendizagem.

1.3 Objetivos do trabalho

Com o intuito de verificar a validade da hipótese apresentada, definimos um conjunto de objetivos neste trabalho de doutoramento. Um geral e os outros específicos. E todos estão descritos na sequência.

1.3.1 Geral

O objetivo principal deste estudo é determinar o impacto do uso da abordagem de formalização de heurísticas de jogo por aprendizes, e os efeitos associados às atividades de colaboração e competição artificial entre eles.

Sendo estas tarefas realizadas através de ferramentas computacionais. E dentro de um processo real de ensino e aprendizagem de xadrez, que privilegie a alternância entre os momentos de confrontação e colaboração entre os indivíduos.

1.3.2 Específicos

Com o intuito de atingir o objetivo maior, elencamos metas específicas que foram concretizadas durante a realização desta pesquisa, são elas:

- i) **Preparação** do ferramental de apoio ao ensino de xadrez para trabalhar de forma integrada, e permitir a formalização, o compartilhamento, e a competição entre as representações de conhecimento heurístico de jogo dos aprendizes (Ver capítulo 6).
- ii) **Avaliação** empírica sobre o uso das ferramentas computacionais de apoio ao ensino de xadrez, que suportam a formalização de conceitos heurísticos pelos alunos. Isto através de estudos práticos onde tais aplicações serão utilizadas por aprendizes reais, durante a aprendizagem do jogo (Ver capítulo 7).
- iii) **Diagnóstico** dos problemas, vantagens, e desvantagens encontradas no uso do ferramental de apoio a formalização de conhecimento heurístico de xadrez, e de competição artificial entre as representações criadas (Ver seções 6.3, 7.6, e 7.7).
- iv) **Proposição** de correções, melhorias, e expansões nos conceitos e ferramentas de software. E nas abordagens utilizadas para adoção da formalização heurística no processo de ensino e aprendizagem de xadrez. Isto de acordo com os resultados encontrados na etapa de avaliação (ii) e de diagnóstico (iii). (Ver seções 6.3, 7.7, e 8.2).

1.4 Contexto do projeto

O estudo discutido neste trabalho de doutoramento está inserido no PROTEX (Projeto de Tipificação do Ensino de Xadrez), que propõe o desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio às atividades de ensino e aprendizagem de xadrez. Nesta iniciativa são propostas soluções baseadas em *software livre*², e centradas no ensino e aperfeiçoamento de capacidades periciais necessárias aos enxadristas. Este projeto foi apresentado em Direne *et al.* (2004).

Na seção 4.2.3 analisamos as primeiras pesquisas realizadas, e detalhamos a criação deste projeto. Já na seção 5.4 discutimos os últimos trabalhos desenvolvidos, e criticamos uma das abordagens defendida por este projeto. A de criar mecanismos de estímulo à alternância de tarefas de competição e de colaboração entre os aprendizes, dentro do processo de ensino e aprendizagem de xadrez.

O PROTEX também vislumbra que o ensino do xadrez apoiado na formalização de conhecimento heurístico pelo aprendiz possa ser usado como mecanismo mais genérico, para o ensino e prática de conceitos de outras disciplinas do currículo escolar básico (*e.g.*, Matemática, Comunicação, Física, *etc.*). Isto, devido ao fato de que a criação de heurísticas, e a competição artificial entre elas, apoiam-se no uso de princípios matemáticos (*i.e.*, aritméticos, lógicos, algébricos, e geométricos). A abordagem proposta estimula competições com finalidade educacional (QIN *et al.*, 1995). E as atividades colaborativas (*e.g.*, estudo, anotação, troca de materiais, desafios em grupo, *etc.*) são facilitadores para o desenvolvimento de habilidades de comunicação, integração, cooperação, e socialização.

² *Software livre* é um programa de computador que pode ser usado, copiado, estudado, e redistribuído sem nenhuma, ou com poucas restrições.

1.5 Estrutura do documento

Apresentamos nesta seção como está estruturado o documento desta tese de doutoramento. E descreveremos de forma sucinta os assuntos tratados por cada capítulo.

No capítulo 2 são discutidos os trabalhos que buscaram identificar os processos cognitivos que os enxadristas possuem, e usam durante o jogo. E como algumas capacidades estão relacionadas à perícia neste domínio. No capítulo 3 analisamos a evolução dos programas competidores automáticos de xadrez. Constatamos como a área científica da computação avançou neste contexto. E discutimos o uso de conhecimento heurístico por este tipo de programa para a escolha de jogadas.

No capítulo 4 e 5, criticamos o ensino e aprendizagem de xadrez apoiada por software. Vemos trabalhos na área comercial e acadêmica, e diferentes abordagens. No primeiro destes, o capítulo 4, a ênfase é na aprendizagem individual. E no capítulo 5 o enfoque é na aprendizagem em grupo, de forma colaborativa, através de aplicações na rede internet.

No capítulo 6 são detalhadas as expansões feitas nos conceitos e ferramentas computacionais, que são adotados na formalização de conhecimento heurístico de jogo e nas competições artificiais. No capítulo 7 descrevemos um estudo empírico que aferiu o impacto do uso deste ferramental, e da abordagem de ensino proposta, em um caso real de aprendizagem de xadrez.

No capítulo 8 estão às conclusões finais desta pesquisa, e elencamos possíveis temas para trabalhos futuros. Na sequência está disponível um conjunto de apêndices referentes aos desenvolvimentos técnicos implantados, e ao estudo prático realizado. E ao final listamos as referências bibliográficas utilizadas na escrita deste texto, e disponibilizamos um glossário com a explicação dos principais termos enxadrísticos citados.

CAPÍTULO 2

PROCESSOS COGNITIVOS DOS ENXADRISTAS

Neste capítulo realizamos uma análise crítica de trabalhos relacionados à descoberta das características dos jogadores que contribuem para a eficácia no xadrez. Vários estudos analisaram questões de comportamento, uso do conhecimento, e até de características do processamento cerebral, e já se constata que alguns destes atributos já foram identificados.

A compreensão destes aspectos, e de que forma estes estão relacionados, permite uma visão melhor de como a formalização do conhecimento heurístico contribuirá para o desenvolvimento de algumas destas habilidades. E elencam critérios que deverão ser atendidos pelo ferramental computacional (Ver capítulo 6), e pela abordagem de ensino no estudo empírico (Ver capítulo 7).

Na seção 2.1 serão analisados os primeiros estudos realizados. Na seção 2.2 será visto de forma aprofundada os fatores encontrados que contribuem para o uso de estratégias no jogo. Na seção 2.3 apresentamos trabalhos que buscaram identificar os diversos fatores que levam um indivíduo a ser jogador especialista. E na última seção, a 2.4, realizamos uma discussão crítica sobre todo o conteúdo apresentado neste capítulo.

2.1 Primeiras investigações

Vários estudos foram realizados a fim de identificar os processos cognitivos envolvidos na atividade de jogar xadrez. A maioria na área da psicologia e datam do final do século XIX, e início

do século XX. Período em que o jogo de xadrez começou a ser analisado de forma mais científica pela academia. Veremos nesta seção os mais importantes destes, e na sequência estudos mais atuais.

O primeiro estudo que buscou compreender como se processa o pensamento de um enxadrista durante uma partida foi realizado por Binet em 1894. Neste estudo ele analisou como jogadores se comportavam durante partidas de xadrez às cegas³. Concluiu que a habilidade de se jogar xadrez nesta variante reside em três fundamentos (BINET, 1894, p. 262):

1. *l'erudition* (A erudição): Para um especialista a posição do jogo é uma unidade, uma bem estruturada cena capturada na mente do jogador, sendo que cada posição de peça tem suas características próprias. E o jogo como um todo não é visto como uma mera sequência de movimentos, e sim como o desenvolvimento de um esforço em busca da vitória, descrito em manobras e objetivos.
2. *l'imagination* (A imaginação): O jogador quando pratica esta modalidade de xadrez não possui toda a descrição do tabuleiro na mente, mas apenas uma forma inacabada, onde ele procura as jogadas passo a passo, reconstruindo constantemente a situação de jogo.
3. *la mémoire* (A memória): O registro em memória do jogo é feito de forma especializada, onde o enxadrista não armazena detalhes como forma e cor, sua memória neste caso é visual abstrata (Ver Figura 5 na seção 2.2.2).

³ No xadrez às cegas o jogador realiza a partida sem visualizar o tabuleiro e as peças. Ele comunica suas jogadas através das notações enxadrísticas. Normalmente um adepto desta prática realiza diversas partidas às cegas simultaneamente.

No ano de 1907, Cleveland realizou um novo estudo sobre xadrez, agora sobre a modalidade normal do jogo. Neste trabalho ele identificou cinco estágios no processo de aprendizagem e desenvolvimento da habilidade de jogar por aprendizes, conforme é apresentado na Tabela 2:

Fase		Descrição
1 ^a	Fase inicial	O aprendiz aprende os nomes e movimentos das peças.
2 ^a	Movimentos individuais	Apenas para atacar ou defender sem um objetivo específico, a não ser capturar as peças do adversário.
3 ^a	Relação entre as peças	O valor de peças e grupos de peças.
4 ^a	Desenvolvimento sistemático	Capacidade de planejar o desenvolvimento sistemático das peças.
5 ^a	Sentido posicional	Desenvolvimento enxadrístico homogêneo, resultado da experiência em valorar diferentes situações de jogo.

Tabela 2 – Fases na aprendizagem do xadrez (CLEVELAND, 1907).

Este estudo identificou que o aperfeiçoamento da capacidade de avaliação é fundamental para que o aprendiz chegue ao estágio de formular planos e desenvolver o seu jogo durante uma partida. Também de que neste processo a manipulação de unidades complexas é essencial para que o jogador evolua para um nível alto de habilidade no jogo. E por fim Cleveland afirma que a habilidade de jogar xadrez não pode ser considerada um índice geral de inteligência. Portanto, as formas tradicionais de se aferir a inteligência de um individual não podem ser utilizadas para identificar potencialidades do indivíduo em jogar xadrez. Outras capacidades e aptidões devem ser descobertas e fomentadas no aprendiz (CLEVELAND, 1907).

Um importante estudioso sobre o processo cognitivo de jogar xadrez foi o psicólogo Adriaan De Groot. Já no seu livro de 1946, intitulado “*Thought and Choice in Chess*”⁴ ele identifica diversas habilidades e comportamentos nos enxadristas.

No experimento realizado De Groot analisou como jogadores de xadrez de diversos níveis escolhem suas jogadas, e qual o poder de memorização de posições de tabuleiro que eles possuem. Um primeiro resultado deste trabalho foi identificar quatro fases no planejamento enxadrístico de um jogador, a Tabela 3 apresenta estas etapas:

Fase		Descrição
1 ^a	Orientação	O jogador olha para as consequências dos movimentos e para possibilidades gerais em certa direção.
2 ^a	Exploração	Investigação das possibilidades de ação. O sujeito calcula uns poucos movimentos futuros.
3 ^a	Investigação	O jogador realiza uma busca mais profunda e séria por possibilidades de jogadas, que são quantitativamente e qualitativamente melhor definidas. A investigação é mais dirigida e exaustiva, um conjunto maior de variantes é calculado, com mais profundidade (mais lances à frente).
4 ^a	Prova	O jogador confere e recapitula, e esforça-se para provar que os resultados obtidos (próximas jogadas) estão de acordo com um argumento convincente. A análise é mais completa, tanto para identificar vantagens e desvantagens.

Tabela 3 – Fases no planejamento enxadrístico. (DE GROOT, 1946, p. 267).

Outro resultado alcançado foi avaliar o poder de memória dos enxadristas. De Groot realizou o seguinte experimento: Mostrava uma situação de jogo de xadrez a um indivíduo por 2 a 5 segundos, e depois pedia para que o mesmo a recria-se. O resultado foi que especialistas acertavam

⁴ Uma tradução possível seria “Pensamento e escolha no xadrez”

até 93% das posições do tabuleiro, já um jogador iniciante raramente passou de 50% de acerto. Ou seja, está capacidade do indivíduo em recuperar informações do jogo de forma detalhada durante a partida, evolui junto com sua habilidade no xadrez (DE GROOT, 1946). Ele também especificou fatores que levariam o jogador a ter uma grande eficiência no jogo de xadrez, o que ele nominou como sendo talento. A Tabela 4 apresenta estes fatores.

Fator	Descrição
Pensamento esquemático	É fundamentado em possibilidades espaciais (bidimensionais), no que tange aos movimentos de peças. O fator espacial é preponderante neste quesito.
Pensamento não-verbal	O jogador foca nos movimentos no tabuleiro, na dinâmica de capturas, ameaças e controle. Sem qualquer dependência sobre formulações verbais.
Memória	Capacidade de memorização, compreendida como conhecimento e experiência.
Abstração e generalização	O jogador deve ser capaz de aprender progressivamente pela experiência. De refinar suas táticas ⁵ e estratégias ⁶ constantemente. Melhorando-as e as adaptando as novas situações de jogo.
As hipóteses geradas devem ser testadas	Capacidade de descartar rapidamente hipóteses infrutíferas, de trocá-las, ou de corrigi-las a fim de que atendam o objetivo planejado.
Afinidade para investigação ativa	Ter interesse em investigar, gerar, e modificar diversas possibilidades de ideias, regras, táticas, sistemas, e planos, no contexto do jogo.
Fatores motivacionais	O jogador deve ser motivado pelo pensamento, jogo e combate proporcionado pelo xadrez.
Enorme concentração sobre um objetivo a vencer, e sobre as estratégias envolvidas	Estudar as fraquezas do adversário. Nunca concordar com situações que diminuam as chances de vitória.

Tabela 4 – Fatores de talento no xadrez (DE GROOT, 1946).

⁵ Tática refere-se à manobra de peças, de forças durante o combate do jogo, ou seja, as ações concretas de uma estratégia adotada (PACHMAN, 1972, p. 13).

⁶ Estratégia diz respeito à capacidade de estabelecer objetivos e desenvolver planos para atingi-los durante a partida (PACHMAN, 1967, p.15).

Apesar do pensamento do jogador ser tipicamente não-verbal durante o jogo, os enxadristas desenvolvem o hábito e a capacidade de verbalizar os raciocínios adotados nas escolhas das jogadas, durante o processo de estudo da partida após o seu término. Esta análise é chamada de *Postmortem*⁷. E é uma etapa fundamental no processo de evolução do aprendiz (SILVA W., 2004).

Já no trabalho do pesquisador Allis (1994) foi realizada uma análise a fim de especificar qual é o número de possibilidades de jogadas legais em um determinado momento em uma partida de xadrez, e chegou-se ao número de 35. Como uma partida de xadrez tem em média 80 lances (40 para cada jogador), um enxadrista poderia avaliar aproximadamente 10^{35} jogadas durante uma partida (ALLIS, 1994, p. 171).

Dentre estas 35 jogadas possíveis em média, apenas poucas são realmente vantajosas para o jogador. De Groot afirma que dentre as jogadas legais possíveis somente duas se constituiriam em boas jogadas (DE GROOT, 1946, p. 25). E a dificuldade se encontra em como identificá-las.

Dos fatores elencados nestes trabalhos constata-se que as capacidades de geração, análise, descarte ou troca de hipóteses (táticas e estratégias) de jogo é algo que deve ser realizado com muita eficiência por um bom enxadrista, visto que o jogo em si gera uma explosão combinatória de possibilidades a cada lance. (DE GROOT, 1946, p. 358).

A fim de compreender melhor os aspectos relacionados com estes fatores, iremos analisar estudos relacionados às habilidades necessárias à questão de criação, seleção, e aplicação de estratégias de jogo no xadrez.

⁷ *Postmortem* no latim significa o tempo decorrido após a morte. Na área médica é um exame que analisa o corpo a fim de identificar as causas da morte. No xadrez, o objetivo é encontrar as razões que levaram o jogador a derrota.

2.2 Fatores relacionados ao uso de estratégias

Dos fatores identificados nos estudos sobre enxadristas fica claro que apenas conhecer as regras básicas de transformação de jogo não garante eficácia a um jogador. A aprendizagem do uso destes conhecimentos está relacionada apenas as fases iniciais de ensino de xadrez (Ver Tabela 2). É necessário que o aprendiz desenvolva habilidades que permitam a ele escolher previamente várias jogadas. E para este processo a capacidade de realizar a análise de hipóteses, de especializar sua memória, e de ser apto a fazer planejamento é fundamental.

2.2.1 Análise de hipóteses

O jogo de xadrez é classificado pela Teoria de Jogos⁸ como sendo um jogo de informação perfeita. Pois os jogadores conhecem todos os movimentos prévios feitos pelos demais. E de soma zero, visto que a vantagem que um jogador possui implica em uma desvantagem ao oponente. No xadrez não existe o fator aleatoriedade, e ambos começam com o mesmo conjunto de forças e potencialidades. Para um enxadrista vencer em uma partida, ele deve errar menos que seu adversário (DAVIS, 1973).

Então no ato de jogar xadrez, não basta escolher a jogada a ser realizada, deve-se prever as respostas do adversário, e suas implicações dentro da partida. Este processo pode ser sintetizado em declarações no formato “*se..então*”. Por exemplo, “*Se ele atacar minha Dama então sacrificarei meu Cavalos*” (KASPAROV, 2007, p. 46-47). As conexões marcadas pelas palavras “*se..então*”, que

⁸ Teoria dos Jogos é um ramo da matemática aplicada que estuda a natureza dos jogos, e das escolhas e aplicações de estratégias com o objetivo de alcançar melhores resultados (DAVIS, 1973).

é uma implicação inferencial, consistem em ligar consequências necessárias a uma afirmação simplesmente possível. E para trabalhar com situações de jogo possíveis, o jogador precisa de um instrumento para gerar estas possibilidades. Um mecanismo cognitivo que permita combinar elementos de uma situação determinada, e gerar os casos possíveis de movimentação, e posteriormente prever as possíveis respostas do adversário, e assim sucessivamente, até o seu limite mental de visão a frente do jogo. Desta forma, o pensamento formal do enxadrista é obrigado a dispor a cada possível situação de jogo, de uma grande amplitude de operações virtuais (INHELDER & PIAGET, 1955, p. 193).

Como visto na seção 2.1 existe uma média de 35 possíveis casos legais a cada movimento. E para cada um destes casos, mais 35 possíveis respostas do adversário, o que resulta num total de 1.225 (35×35) possibilidades. E para cada resposta do oponente, mais 35 possíveis contrarrespostas do jogador. Prevendo apenas duas jogadas a frente, já teríamos um total de 42.875 (1.225×35) variações de lances válidos. A Figura 3 apresenta um exemplo parcial de uma árvore de possíveis jogadas, de um determinado momento do jogo de xadrez.

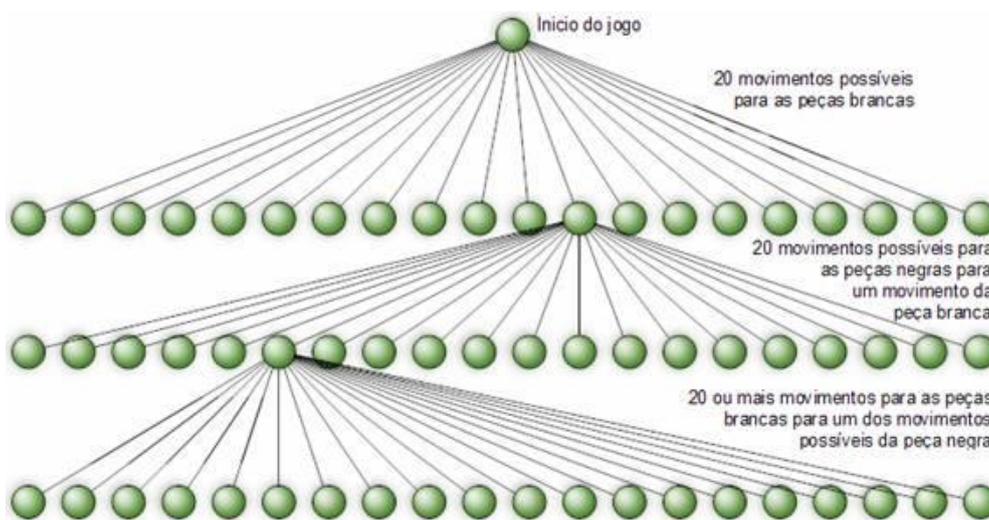


Figura 3 – Exemplo de uma árvore de possíveis jogadas em xadrez

Devido à enorme quantidade de possibilidades a cada jogada vista a frente, e da limitação da memória humana. O que um enxadrista faz é não trabalhar com todas as possibilidades existentes a cada lance, e sim com um subconjunto menor, filtrado. Ele deve utilizar critérios de análise e avaliação para trabalhar com apenas os casos mais vantajosos, ou menos desastrosos, ou que atinjam com maior eficácia um objetivo maior previamente traçado no jogo. Descartando as jogadas desinteressantes, o jogador pode trabalhar com menos casos a cada nível, e desta forma, prever mais jogadas a frente. Diminui a amplitude para aumentar a profundidade da análise (FERREIRA, 2009).

Neste processo de análise, um enxadrista não trabalha apenas com o presente (situação atual do jogo), e com o futuro (possíveis próximas jogadas). Deve também estudar o passado do jogo para melhor elencar quais possíveis jogadas do adversário se enquadram dentro de um padrão (plano) previamente estabelecido por ele, que o adversário tende a seguir, e o bom jogador deve antever. O indivíduo que não faz esta análise temporal (passado, presente, e futuro) facilmente incorrerá em erro durante a partida. (MACEDO, 1997, p. 37).

Na tarefa de prever⁹ os próximos lances do jogador e do adversário, por um número consecutivo de turnos¹⁰, o enxadrista deve escolher o caminho que lhe garanta a maior vantagem, e por consequência a maior desvantagem ao oponente. O algoritmo minimax desenvolvido pelo matemático Jhon Von Neuman em 1928, que pode ser aplicado a jogos finitos de duas pessoas, de soma zero, que é o caso do xadrez, atende plenamente esta situação. (NEUMANN & MORGENSTERN, 1944).

⁹ No meio enxadrístico a projeção dos lances candidatos durante uma partida é chamado de cálculo de variantes.

¹⁰ Turno será considerado neste trabalho a ocorrência de dois lances em uma partida de xadrez. Uma do jogador das peças Brancas, e outra do jogador das peças Pretas.

No algoritmo minimax um jogador pode esperar obter um valor V , que é a quantia média que o jogador I pode esperar ganhar de vantagem sobre o jogador II, se ambos atuarem sensatamente. Esta afirmação se apoia nos seguintes argumentos:

1. Existe uma estratégia que o jogador I pode adotar que lhe assegurará a vantagem V . E nada que o jogador II faça impedirá o jogador I de alcançar o ganho médio V . Desta forma, o jogador I não se contentará com nada menor do que V .
2. Já o jogador II pode adotar uma estratégia que lhe garantirá não perder mais do que a quantia média V . Então ele poderá impedir que o jogador I ganhe mais que V .
3. Como o jogador II quer minimizar suas perdas, podemos prever que ele estará motivado a tentar garantir que o ganho médio do jogador I não ultrapasse o valor médio V .

O teorema minimax então prevê que um jogador deve escolher uma estratégia que maximize suas chances de vitória, enquanto seu oponente provavelmente seguirá uma estratégia que minimize suas perdas. A Figura 4 apresenta um exemplo desta análise para o jogo da Velha.

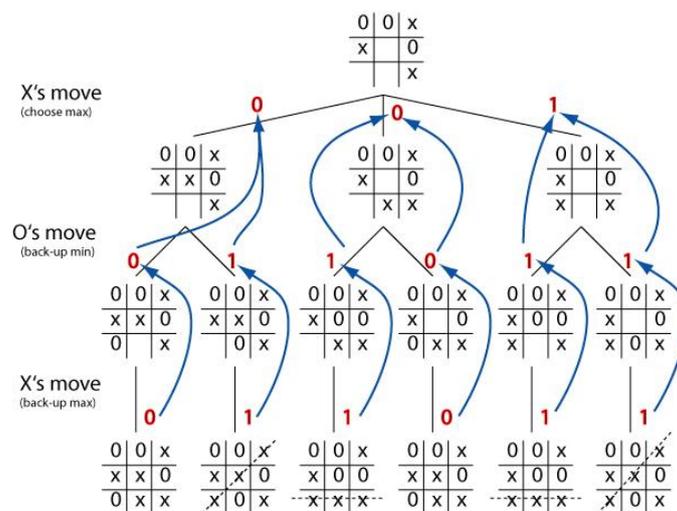


Figura 4 – Árvore com uma análise minimax para o jogo da Velha

O algoritmo minimax é amplamente usado na construção de jogadores automáticos de xadrez. E sua aplicação só é possível a partir do momento que se estabelece de que forma é calculada a vantagem de um jogador em determinado momento da partida. E o que é vantagem, no jogo de xadrez, é algo de natureza totalmente heurística. Visto que não é possível matematicamente provar os teoremas da maioria das estratégias de jogo, nem computacionalmente gerar toda árvore de possibilidades da partida.

2.2.2 Memória especializada

Como identificado em diversos estudos, e apresentado na seção 2.1, a capacidade de memória do enxadrista é um fator importantíssimo para sua eficiência no jogo. E além de ter uma boa memória, o jogador deve treiná-la para funcionar de forma especializada, a fim de armazenar de forma rápida e ordenada, as informações sobre situações de jogos passados (realizados ou estudados), e da partida em curso no momento.

Pesquisas recentes sobre a memória de jogadores de xadrez concluem que uma diferença básica entre um jogador iniciante e um especialista, é a quantidade de situações de partidas que ele conseguiu adquirir (armazenar e que podem ser reutilizadas) nos anos de experiência de jogo (BURNS, 2004; CAMPITELLIL *et al.*, 2005; HYÖTYNIEMI & SAARILUOMA, 1999).

No trabalho de Simon e Chase (1973), eles utilizaram um software para estimar qual é esta quantidade de situações que um especialista em xadrez armazena. E constataram que os Mestres¹¹ e

¹¹ Mestre Internacional de xadrez (MI) é um título vitalício concedido pela FIDE (Federação internacional de xadrez), aos enxadristas profissionais que conseguirem pontuação igual ou superior a 2.450 pontos contra oponentes com média de *rating* igual ou maior que 2.230, em partidas válidas pela federação (FIDE, 2011).

Grandes Mestres¹² Internacionais do xadrez armazenam de 10.000 a 100.000 padrões de jogo em suas memórias de longo prazo.

O processo de armazenamento destes modelos é feito de forma bem especializada. Inicialmente os enxadristas aprendem a associar características visuais com as regiões do tabuleiro, criando padrões. Posteriormente estes padrões são usados para classificar imagens de tabuleiros formando casos “exemplares” em suas memórias. Então estes casos são usados no processo de análise e escolha das jogadas durante uma partida. Conforme a experiência no jogo aumenta, o jogador desenvolve a habilidade de comparar os padrões visuais baseando-se no seu repertório de casos exemplares armazenados (LESGOLD *et al.*, 1989).

A Figura 5 apresenta uma representação visual das forças das peças em um tabuleiro de xadrez, criada a partir da descrição verbal da visão mental do tabuleiro por um jogador de xadrez às cegas.

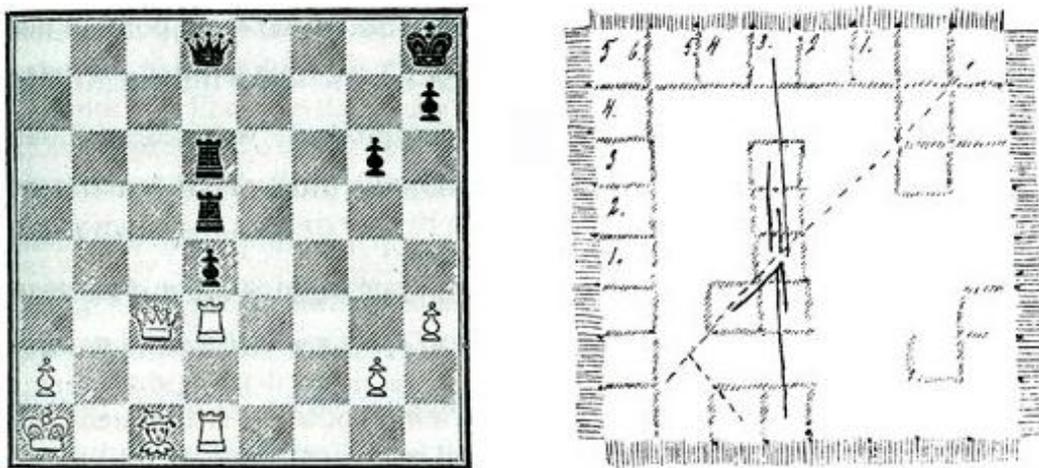


Figura 5 – Representação visual das forças das peças em um tabuleiro (BINET, 1894)

¹² Grande Mestre Internacional de xadrez (GMI) é um título vitalício concedido pela FIDE (Federação internacional de xadrez), aos enxadristas profissionais que conseguirem pontuação igual ou superior a 2.600 pontos contra oponentes com média de *rating* igual ou maior que 2.380, em partidas válidas pela federação (FIDE, 2011).

Ao enxadrista não basta ter apenas um amplo conjunto de modelos de jogo armazenados, ele deve ser capaz de escolher, adaptar, e de encadear a aplicação sequencial destes padrões, pelos diversos lances da partida. Deve ser hábil em planejar as suas ações.

2.2.3 Planejamento

Um jogador para poder encontrar as jogadas boas e ótimas dentre um conjunto enorme de possibilidades tem que utilizar de mecanismos cognitivos que o auxiliem neste processo. Já que uma jogada para ser considerada satisfatória depende em muito das possibilidades previstas, e da avaliação dos resultados previstos destas possibilidades existentes (DE GROOT, 1946, p. 336). Neste sentido, a adoção de planos¹³ durante a partida auxilia na execução desta tarefa.

Planejamento é um conjunto de complexas atividades conceituais que antecipam ou direcionam o comportamento. O ato de planejar depende da representação do ambiente, da antecipação de soluções, e do monitoramento de estratégias, para verificar se as ações vão de encontro a solucionar o problema (SCHOLNICK & FRIEDMAN, 1987).

O trabalho de Hayes (1989) destaca que o planejamento consiste de três etapas:

1. Representação da tarefa real em um ambiente de planejamento, no papel, em um software, ou na imaginação do planejador.
2. Exploração do ambiente de planejamento a fim de encontrar um caminho que chegue a uma solução para o problema. Esta ação pode ser feita de forma apenas

¹³ Plano no xadrez é um conjunto de operações estratégicas sucessivas, realizáveis segundo ideias e possibilidades que surgiram de acordo com a situação atual do tabuleiro. O plano normalmente é expresso através de formulações verbais (KOTOV, 1989, p. 73-82).

imaginativa, ou de forma esquemática, como por exemplo, com a construção de representações e simulações das possibilidades de encadeamento de ações.

3. Seleção do caminho para a solução. Ou seja, do conjunto de ações (ou transformações) que devem ser encadeadas para alcançar a meta desejada.

Os planos podem ser classificados em quatro tipos básicos (DE LISI, 1987): i) Plano em ação; ii) Plano de ação; iii) Plano com uma representação estratégica; e iv) Plano com um fim em si mesmo.

Segundo De Lisi jogar xadrez envolve criar e usar planos do tipo três. O plano deste tipo é mais estratégico e o planejador está totalmente consciente da necessidade de um plano, para poder gerar e avaliar as várias possibilidades de ações. E da importância de monitorar e corrigir a execução deste plano constantemente (DE LISI, 1987, p. 86-105).

O Grande Mestre Internacional, o russo Alexander Kotov em 1989 apresentou um estudo que abordava a questão do planejamento. No seu trabalho ele afirma que os planos de xadrez podem ser para: atacar; defender, ou para conseguir uma vantagem de jogo (seja material ou posicional).

Kotov também classificou os planos em dois grupos: Os mono-escalonados; e os multi-escalonados. Os planos mono-escalonados são compostos de apenas uma etapa de realização. Já os planos multi-escalonados para serem efetivados precisam de duas ou mais etapas.

Um exemplo de plano mono-escalonado é a estratégia de final¹⁴ de *Rei e Dama contra Rei*. Nesta estratégia deve-se levar o Rei adversário para a margem do tabuleiro sem afogá-lo¹⁵ e aplicar o xeque-mate. (KOTOV, 1989, p. 82-83).

¹⁴ No xadrez o estágio de final de jogo acontece quando existem poucas peças no tabuleiro.

¹⁵ Rei afogado ocorre quando o jogador de xadrez deve mover o Rei, não está em xeque, mas não possui nenhuma opção de movimento válida (onde o Rei não fique sobre ataque). Neste caso a partida termina em empate.

Já a estratégia de final *Rei e Torre contra Rei* seria classificada como um plano multi-escalonado. Nesta estratégia existem duas etapas distintas: i) o Rei e Torre deverão restringir a liberdade do Rei adversário até que ele se encontre na margem do tabuleiro; ii) Coloca-se um Rei defronte ao outro, e a Torre aplicará xeque-mate no Rei adversário na coluna ou fila que ele se encontra. (KOTOV, 1989, p. 83-84). A Figura 6 apresenta um exemplo de aplicação deste plano.

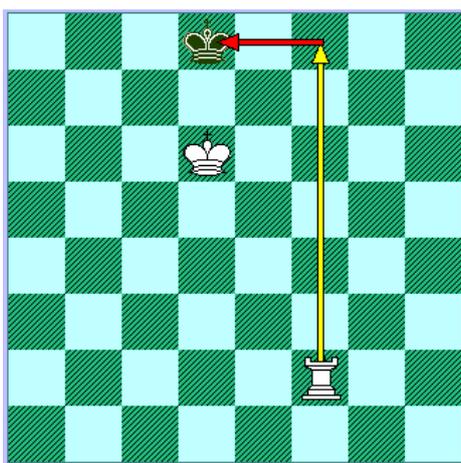


Figura 6 – Plano de final de jogo multi-escalonado: Rei e Torre contra Rei

Outro Grande Mestre Internacional, o também russo Mikhail Botvinnik, realizou diversos estudos sobre a questão do planejamento de jogadas do xadrez, principalmente para a construção de softwares jogadores automáticos.

Ele descreveu as dificuldades básicas existentes na transformação do xadrez em um modelo digital a ser utilizado pelo computador. E também especificou que qualquer sistema de tomada de decisão deve possuir três objetivos: i) coletar informações; ii) avaliar e valorar as informações; e iii) o ato de tomar uma decisão (BOTVINNIK, 1982).

A Figura 7 apresenta um exemplo de uma árvore de análise de jogadas de um determinado momento de uma partida de xadrez, criada para que se possa planejar qual jogada será escolhida. Esta projeção deve levar em consideração os possíveis lances de ataque e defesa do oponente (Seção 2.2.1).

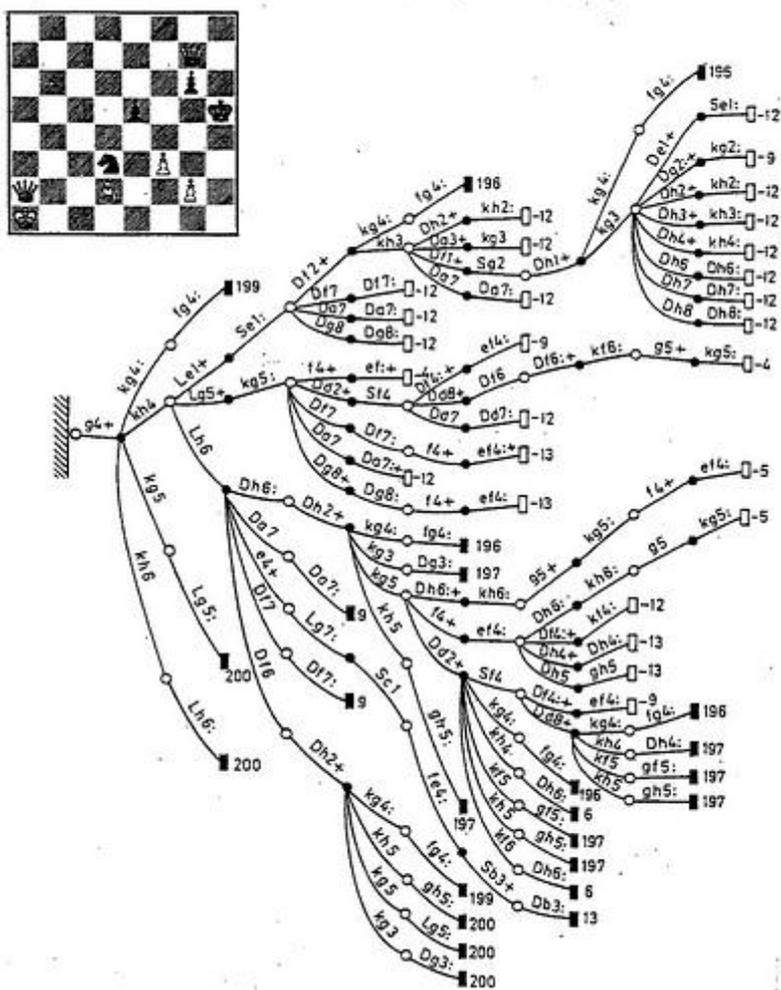


Figura 7 – Exemplo de uma árvore de análise de jogadas em xadrez (BOTVINNIK, 1982)

Na pesquisa de Wilson da Silva, o Grande Mestre Internacional do xadrez, o brasileiro Jayme Sunye¹⁶ discorre sobre sua visão sobre este tema. Para Jayme o planejamento em xadrez envolve três passos: i) Tomada de consciência da realidade; ii) Projeção do ideal buscado; iii) O caminho para alcançar o ideal buscado (SILVA W., 2010).

Sunye também classifica os planos de xadrez em quatro tipos: i) para obter vantagem material; ii) para obter vantagem posicional; iii) para atacar o Rei; e iv) para empatar a partida (SILVA W., 2010).

Nota-se, portanto que no jogo de xadrez não se escolhe apenas uma jogada de forma isolada, e sim a adoção de uma tática, estratégia, ou plano. A ser seguido em várias jogadas consecutivas, para alcançar pequenos objetivos (vantagens) que contribuirão a fim de se alcançar o objetivo maior e final, que é a vitória (FAUBER, 1992, p. 10). E a base para um ótimo plano sempre é a avaliação. Embora analisar, avaliar, e estimar algo não proporcione um conhecimento completo do que está sendo avaliado, este conhecimento baseado em estimativas, mesmo não sendo exato, é um guia eficaz para o jogador (LASKER, 1997, p. 208).

Vemos que distintos enxadristas e pesquisadores possuem diferentes visões sobre o que é e como ocorre o planejamento no xadrez, mas todas estas definições possuem estruturas muito próximas e complementares. E o consenso se faz na identificação da importância desta habilidade dentro do contexto do jogo.

Uma questão em aberto sobre este tema é como capacitar um indivíduo a realizar o planejamento de forma rápida e efetiva. E para isto, é preciso identificar primeiramente quais as componentes que habilitam um sujeito a realizar esta atividade de forma satisfatória.

¹⁶ *Jayme Sunye* nasceu em Curitiba em 2 de maio de 1957. Foi sete vezes campeão brasileiro de xadrez. Representou o Brasil em nove Olimpíadas. Tornou-se Mestre Internacional em 1980, e Grande Mestre Internacional em 1986. Foi presidente da Confederação Brasileira de xadrez de 1988 a 1992, e atuou como vice-presidente do FIDE para as Américas.

2.3 Capacidades inerentes à perícia.

Como foi visto nas seções anteriores, diversos estudos já foram realizados para tentar identificar as características de comportamento e de pensamento que fazem parte dos enxadristas, e que os tornam peritos no jogo. Mas a perícia¹⁷ para ser alcançada e praticada, requer que mais de uma capacidade¹⁸ seja desenvolvida no indivíduo.

Fica evidente que algumas destas capacidades já foram identificadas, tais como a habilidade de realizar análises sobre hipóteses (Ver seção 2.2.1), de possuir uma memória especializada (Ver seção 2.2.2), e de ter a capacidade de elaborar e executar planos de jogo (Ver seção 2.2.3). Estas habilidades estão na maioria dos estudos já realizados sobre o tema. São por tanto, consenso entre os estudiosos. O problema é identificar quais outras componentes são também utilizadas no processo do jogo, como cada uma impacta na habilidade final do jogador, e como elas são desenvolvidas.

Lesgold (1984) constatou que o xadrez é uma atividade que exige do jogador uma forte influência do processamento visual primário. E posteriormente, relacionou as semelhanças entre o desenvolvimento da perícia em reconhecer padrões visuais da área de Radiologia¹⁹ com o de xadrez, usado pelo enxadrista durante a escolha de uma jogada (LESGOLD *et al.*, 1989). Na seção 2.2.2 é exemplificado como esta habilidade de reconhecer padrões visuais do enxadrista é utilizada para aumentar o seu repertório de situações de jogo, contribuindo para que ele desenvolva uma memória especializada neste domínio.

¹⁷ Perícia refere-se à competência do indivíduo em solucionar problemas em um domínio específico. Se ele a possui, ele é um perito.

¹⁸ Capacidade neste trabalho refere-se a uma habilidade que compõe a perícia em um domínio.

¹⁹ Radiologia é a área da medicina que utiliza imagens (Raios-X, ultrassonografia, ressonância magnética, *etc.*) para a realização de diagnóstico, prevenção, ou tratamento de doenças.

Na área da Radiologia Lesgold identificou inicialmente seis capacidades necessárias a perícia neste domínio. Em trabalho posterior, Direne e Scott (2001) aumentaram este conjunto incluindo mais nove, chegando-se a um total de quinze habilidades necessárias a análise de imagens médicas.

Em continuidade ao trabalho de Lesgold, o psicólogo cognitivo Bilalic *et al.* (2011) realizou uma análise de desempenho de reconhecimento de padrões visuais por iniciantes e especialistas em xadrez. Para um grupo estudado foi apresentado figuras geométricas e posições de xadrez que deveriam ser identificadas. Foi registrado o tempo de reconhecimento e, através de ressonância magnética²⁰, quais áreas do cérebro foram utilizadas no processo.

No reconhecimento de figuras geométricas os dois grupos analisados tiveram o mesmo desempenho, demonstrando que os especialistas em xadrez não possuem habilidades especiais de visualização. Já no reconhecimento de posições de jogo os especialistas foram superiores. Na análise dos dados era esperado que os especialistas utilizassem o hemisfério cerebral esquerdo (responsável pelo reconhecimento de objetos) de forma mais dinâmica do que os iniciantes. Mas foi constatado que na verdade, os peritos usam várias partes do cérebro simultaneamente para reconhecer os padrões, inclusive do hemisfério direito. E que enquanto o iniciante ao analisar um tabuleiro procura reconhecer a situação olhando diretamente para as peças, o especialista olha primeiro para o centro do tabuleiro e captura as demais informações através da visão periférica (BILALIC *et al.*, 2011).

Segundo Bilalic o experimento comprovou que a forma que o cérebro do especialista em xadrez lida com a tarefa é mais eficiente do que a do novato. E de que a perícia é uma habilidade

²⁰ Ressonância magnética é uma técnica de exame para diagnóstico que permite a geração de imagens de alta definição para estudo do funcionamento dos órgãos.

adquirida e não natural, e de que não existem atalhos para ela (McCLAIN, 2011). Ou seja, deve ser desenvolvida através de um processo de aprendizagem.

Já no trabalho realizado por Wan *et al.* (2011), buscou-se descobrir quais regiões do cérebro eram utilizadas por jogadores especialistas em *Shogi*²¹. Um grupo formado por iniciantes, intermediários, e profissionais observou diferentes tipos de problemas e posições do jogo, além de diagramas e fotografias de xadrez e de *Xiangqi*²². Eles tiveram que responder questões sobre as imagens e os desafios, e os tempos de respostas foram cronometrados. Neste experimento as atividades cerebrais também foram monitoradas através de ressonância magnética. A Figura 8 e Figura 9 apresentam o tabuleiro de *Shogi* e de *Xiangqi* respectivamente.

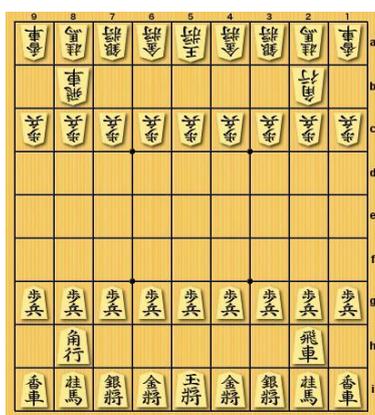


Figura 8 – Tabuleiro de *Shogi*

Fonte: (SHOGI EM PORTUGAL, 2011)

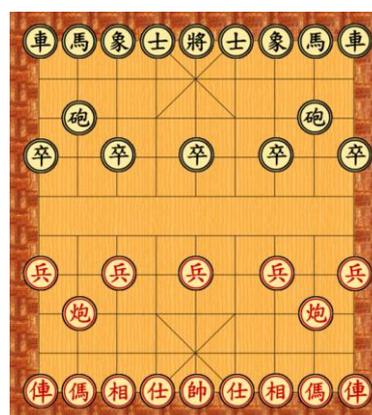


Figura 9 – Tabuleiro de *Xiangqi*

Fonte: (BATENZO, 2011)

Os peritos em *Shogi* tiveram o mesmo desempenho dos iniciantes quando avaliavam desafios sobre xadrez e *Xiangqi*. O que demonstra que sua perícia é altamente especializada a

²¹ *Shogi* é uma variante japonesa do xadrez.

²² *Xiangqi* é uma variante chinesa do xadrez, também conhecido como Jogo Elefante.

apenas um jogo. Observou-se também que quando o especialista resolvia problemas de *Shogi*, dois específicos locais do seu cérebro eram ativados constantemente, um chamado *precuneus*²³, e o outro núcleo caudado. Estas mesmas regiões só eram ativadas nos jogadores intermediários quando eles já conheciam os padrões, e tinham uma ideia razoável de como solucioná-los. Já nos iniciantes estas áreas quase nunca eram ativadas (WAN *et al.*, 2011).

Os pesquisadores ficaram surpresos com a ativação do núcleo caudado, pois a princípio este é responsável pela formação e execução de hábitos e de comportamento direcionado. A geração de ideias nesta área é rápida e implícita, em vez de consciente. Então aparenta que, tornar-se um especialista em xadrez ou *Shogi* é como formar um hábito (WAN *et al.*, 2011).

Existe uma gama de outros trabalhos que analisam a perícia em xadrez em relação ao arsenal teórico de jogo utilizado, e de como este conhecimento é manipulado. Por exemplo, no trabalho de Tirado e Silva (2003) é visto que a especialidade no uso de táticas no xadrez parece estar relacionada ao domínio de esquemas operatórios²⁴, como o uso de ataque duplo, xeque descoberto, cravada, *etc.* Já a criação deste tipo de esquemas relativos à estratégia aparenta envolver noções mais abstratas como o domínio do espaço, de tempo, cooperação de peças e peões, dentre outros aspectos do jogo de xadrez (TIRADO & SILVA, 2003, p. 59-73).

Conforme o indivíduo elabora melhores esquemas operatórios de jogo estes o ajudam a compreender melhor o xadrez, e em decorrência o levam a refinar seus esquemas a níveis mais sofisticados. As boas jogadas devem revelar um bom nível de conhecimento do objeto, quanto de estruturas lógico matemáticas que são condição para a escolha destes lances. Por outro lado, as

²³ *Precuneus* é uma área cerebral que fica no lóbulo parietal superior, e está relacionada à memória episódica, ao processamento visual-espacial, a reflexões sobre si mesmo, e a aspectos da consciência (CAVANNA & TRIMBLE, 2006).

²⁴ Um esquema operatório utiliza de meios regulados e gerais (operações) para alcançar um determinado fim, e se coordena em estruturas presentativas (ligadas às propriedades permanentes e simultâneas de objetos comparáveis, e que podem ser generalizadas e incluídas em outras estruturas) (PIAGET, 1976, p. 57-58).

péssimas jogadas devem mostrar uma precária compreensão das relações implicadas nas ações executadas (SILVA W., 2004, p. 133).

A escolha de bons lances deve envolver coordenações inferenciais, de conexões não constatadas mais deduzidas por composição das operações, ultrapassando o campo de observação corrente e introduzindo relações de necessidade (SILVA W., 2004, p. 133).

Na pesquisa realizada por Márcia Ferreira (2009) foi elencado um conjunto de prováveis capacidades necessárias à perícia em xadrez. O estudo primeiramente enumerou as habilidades já descobertas em outros trabalhos na literatura científica, e posteriormente efetivou um experimento *exploratório-descritivo combinado*²⁵ em uma comunidade de enxadristas, onde através de: Observações em treinamentos de xadrez; Análise *Postmortem* de partidas por aprendizes e peritos; E da realização de entrevistas e aplicação de questionários aos jogadores. Chegou-se a este conjunto de capacidades candidatas (FERREIRA, 2009):

1. Avaliação e seleção;
2. Classificar e reconhecer padrões de peças;
 - 2.1. Classificar e reconhecer padrões transformados (translação, rotação e espelhamento);
3. Perceber relação dinâmica entre padrões;
4. Definir metas;
5. Projeção da árvore de lances candidatos;
 - 5.1. Prever as melhores jogadas do adversário;

²⁵ No estudo exploratório-descritivo combinado os procedimentos de amostragens são flexíveis e possibilitam a descoberta de descrições qualitativas e/ou quantitativas, e de informações detalhadas obtidas através de observação (MARCONI & LAKATOS, 1999).

6. Abandonar hipóteses e definir nova meta;
7. Memorizar sub-árvore de lances;
8. Reconhecer etapas da partida (abertura, meio e final de jogo);
9. Administração do tempo;
10. Administração material;
 - 10.1. Avaliação material absoluta;
 - 10.2. Avaliação material relativa;
11. Administração posicional;
 - 11.1. Abstração dos esquemas tabuleiro-peça;
 - 11.2. Reconhecer harmonia de peças;
 - 11.3. Administrar cooperação entre as peças;
12. Abstração do tabuleiro.

Percebe-se que dentre as habilidades elencadas, algumas poderiam ser aplicados a qualquer jogo estratégico de tabuleiro. Como a questão da importância do reconhecimento de padrões, da análise de hipóteses, e do planejamento de lances.

Já outro conjunto de capacidades diz respeito a temas táticos e estratégicos atualmente em voga no xadrez, como a administração material, temporal, e posicional do jogo. O reconhecimento de etapas da partida. E os conceitos de cooperação e de harmonia entre peças.

O trabalho de Márcia também aponta a existência de outro conjunto de componentes da perícia em xadrez, mas de natureza psicológica e comportamental, tais como: concentração,

criatividade, persistência, competitividade, estilo de jogo pessoal, e capacidade de estudar de forma autônoma. E verifica-se que estes tipos de habilidades não foram devidamente tratados, e nem identificados nas pesquisas realizadas até o momento (FERREIRA, 2009).

2.4 Discussão final sobre o capítulo

Analisamos neste capítulo algumas das diversas linhas de estudos que visam compreender de que forma um enxadrista pensa e age. E que buscam identificar o que se faz necessário para que ele alcance eficácia no jogo.

Algumas destas habilidades já foram devidamente identificadas, tais como a capacidade de analisar hipóteses, de formar uma memória especializada, e de planejar as jogadas (que compreende criar, adaptar, encadear, e monitorar a aplicação de planos de jogo).

Por outro lado, várias capacidades e habilidades que se mostram importantes para um jogador de xadrez, ainda são apresentadas apenas como levantamentos iniciais, e carecem de prova científica. Sejam questões biológicas, psicológicas, ou de teoria do próprio jogo.

Outro problema percebido é que a maioria dos principais estudos e experimentos foi realizada centrada nos jogadores especialistas. E os que incluíram jogadores iniciantes, não acompanharam a evolução dos mesmos, apenas analisaram um determinado momento, e ressaltaram a diferença dos extremos. Ou seja, existe uma lacuna de estudos que ajudem a compreender como as habilidades evoluem no indivíduo, e apontem quais são mais importantes em cada fase de aprendizagem.

CAPÍTULO 3

EVOLUÇÃO DOS COMPETIDORES AUTOMÁTICOS DE XADREZ

Neste capítulo iremos analisar e criticar os estudos relacionados à criação de jogadores automáticos de xadrez. Desde o início da computação moderna, a criação de um programa capaz de jogar e vencer um grande enxadrista humano foi uma meta a ser alcançada. Fato que ocorreu somente em 1997 (Ver seção 3.4). Neste longo período de pesquisa, diversas importantes questões do xadrez vieram à tona, tais como: i) qual conhecimento do jogo é importante na escolha de uma jogada; ii) como escolher e adotar planos estratégicos durante uma partida; e iii) e como superar as limitações tecnológicas de processamento frente ao volume de dados a ser pesquisado. Muitas técnicas de Inteligência Artificial importantes surgiram nesta época para atender estas demandas.

E atualmente, os programas jogadores automáticos se tornaram fundamentais no processo de ensino de xadrez apoiado por software (Ver seção 4.1). Devido a isto, se torna fundamental compreender como ocorreu a evolução tecnológica na construção destes programas. Como o conhecimento heurístico e teórico do jogo é usado por eles. E quais aspectos de suas arquiteturas contribuem, ou prejudicam a adoção destas ferramentas no processo de aprendizagem.

Com este intuito, veremos na seção 3.1 os primeiros trabalhos propostos. Na seção 3.2 as técnicas fundamentais de desenvolvimento. Na seção 3.3 a relação entre o conhecimento embarcado nestes programas, e a profundidade de busca adotada. Na seção 3.4 como ocorreu a construção do primeiro grande programa jogador de xadrez. E na última seção, a 3.5, a discussão final sobre os temas apresentados neste capítulo.

3.1 Primeiras investigações

A primeira proposta de se criar uma máquina capaz de jogar xadrez data do século XVIII. No ano de 1.769 o Barão Wolfgang Von Kempelen apresentou seu autômato mecânico de madeira, que teria esta capacidade. O equipamento tinha um busto fantasiado de turbante, que movia as peças do jogo sobre uma mesa. Jogava relativamente bem e vencia a maioria das partidas. Ficou conhecido como “O Turco” (WORLD CHESS LINKS, 2011).

Durante vários anos o equipamento foi exibido em diversas feiras na Europa e nos Estados Unidos, tendo impressionado figuras históricas como Napoleão Bonaparte, Benjamin Franklin, e o escritor americano Edgar Allan Poe. Inspirou diversos artigos, novelas, e suspenses que procuraram revelar o segredo do seu funcionamento. Ao final descobriu-se que não passava de uma fraude, um truque de mágica. Onde um enxadrista ficava escondido dentro do equipamento, em um compartimento secreto. A Figura 10 apresenta como ele funcionava. Ainda hoje, ele é considerado o ancestral dos jogadores automáticos de xadrez. (WORLD CHESS LINKS, 2011).

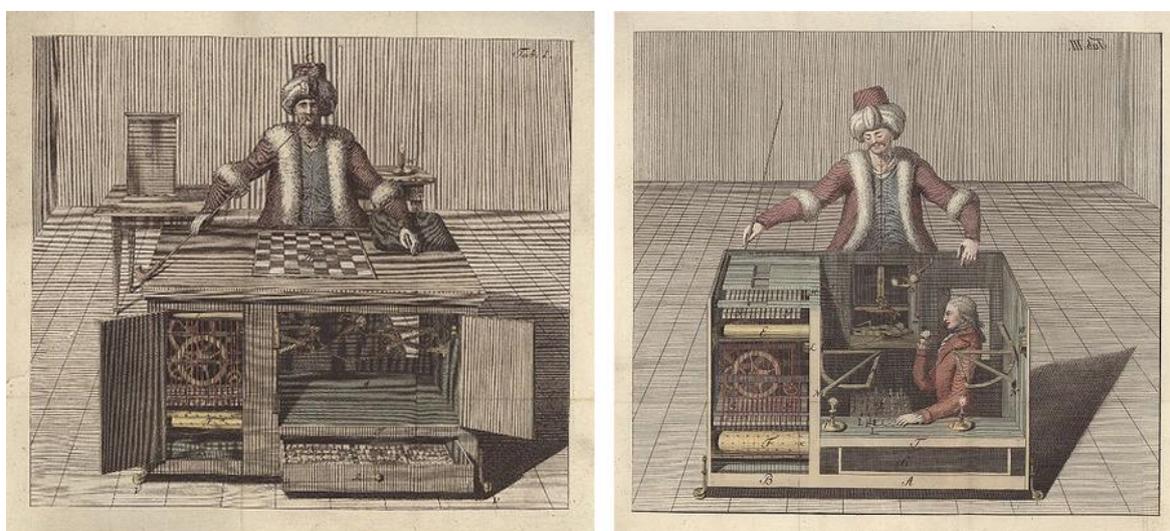


Figura 10 – Funcionamento do Turco, o autômato de xadrez (CARROLL, 2010).

No ano de 1890, o engenheiro espanhol Leonardo Torres Quevedo construiu um equipamento eletromecânico que realmente conseguia jogar parcialmente xadrez. Chamado de “*Chess-playing machine*”, ele era capaz apenas de resolver o final de jogo Rei contra Rei e Torre, e jogava do lado do Rei e da Torre. Acreditava-se naquele momento ser impossível criar um mecanismo capaz de lidar com uma partida completa. A Tabela 5 apresenta um dos esquemas de funcionamento deste equipamento (HISTORY OF COMPUTER, 2011).

A defesa do Rei negro					
Esta na mesma zona que a Torre (Branca)	Não está na mesma zona da Torre, e a distância vertical entre o Rei e a Torre Negra é de:				
	Mais de uma casa	Uma casa, com a distância vertical entre os dois Reis sendo de:			
		Mais de duas casas	Duas casas, com o número de casas representando a distância horizontal deles sendo:		
			Ímpar	Par	Zero
A Torre se afasta horizontalmente	A Torre se move para baixo uma casa	O Rei se move para baixo uma casa	A Torre move uma casa na horizontal	O Rei branco move uma casa para o Rei negro	A Torre se move para baixo uma casa
1	2	3	4	5	6

Tabela 5 – Um dos esquemas de jogo da *chess-playing* (HISTORY OF COMPUTER, 2011).

Somente em 1950, é que ocorreu a primeira proposta de criação de um programa de computador que jogasse automaticamente xadrez. Feita por Claude Shannon, criador da teoria da informação (SHANNON, 1950). Já no ano de 1953, Alan Turing²⁶ inclui um exemplo prático de um programa destes no livro “*Faster than Thought*”²⁷, onde ele discutia em um dos capítulos o uso de computadores digitais aplicados a jogos (TURING, 1953).

²⁶ Alan Turing, matemático britânico, é considerado o pai da computação moderna. Em 1937 ele apresentou um modelo abstrato de uma máquina universal responsável por realizar cálculos, chamada de Máquina de Turing.

²⁷ Uma tradução possível seria “Mais rápido do que o pensamento”.

Estes primeiros trabalhos já propunham a geração da árvore de jogo com as possíveis próximas jogadas do jogador e do oponente, e posteriormente a escolha da sequência de lances que leve a maior vantagem. Comportamento este descrito pelo algoritmo minimax (Ver seção 2.2.1).

No ano de 1957, os pesquisadores Allen Newell e Herbert Simon²⁸, pioneiros da Inteligência Artificial, previram que dentro de dez anos os computadores seriam capazes de vencer o melhor jogador humano de xadrez. Esta previsão mostrou-se errada, este fato só ocorreu 40 anos depois (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2011). Isto só vem a demonstrar a complexidade exigida para a construção deste tipo de aplicação (Ver seção 3.4).

3.2 Técnicas fundamentais

Durante a evolução na construção de jogadores automáticos (equipamentos e programas), várias técnicas foram criadas, validadas, e incorporadas. E as básicas estão centradas na melhoria do algoritmo de busca (*i.e.*, minimax).

Devido à enorme quantidade de possibilidades existentes no xadrez (Ver seção 2.1), não se torna viável criar uma árvore de jogo, que inclua todas as possibilidades de lances em vários níveis, e analisá-la. A fim de amenizar esta limitação atual da computação²⁹ diversas técnicas têm sido utilizadas. A seguir elencamos as que são consideradas fundamentais:

²⁸ *Herbert Simon* foi um pesquisador na área da Psicologia Cognitiva, Informática, Administração Pública, Sociologia Econômica, e Filosofia. Em 1978, recebeu o Prêmio Nobel de Economia, pela sua pesquisa precursora no processo de tomada de decisões dentro de organizações econômicas.

²⁹ Criar uma árvore de lances completa para toda uma partida de xadrez é impossível para a computação atual. Quando isto é alcançado para um jogo se diz que o mesmo foi solucionado. O Jogo de Damas possui cerca de 500 bilhões de bilhões de possíveis jogadas ($5 \cdot 10^{20}$), e foi completamente solucionado só em 2007 (SCHAEFFER *et al.*, 2007).

1. **Poda Alfa-Beta (α - β):** permite melhorar drasticamente o algoritmo minimax. Ao utilizá-la durante a construção da árvore, caso se identifique que uma sequência de jogadas já é pior do que as geradas até o momento, a análise desta é descartada e seu encadeamento abandonado. O uso deste método possibilita a geração e pesquisa de menos casos, e conseqüentemente economia de memória (ABRAMSON, 1989).
2. **Tabelas de Transposição:** O software jogador automático mantém um registro de todas as posições já analisadas por ele. Caso uma mesma posição se repita durante o jogo o programa recupera o valor desta avaliação prévia de uma tabela (normalmente uma *Hash Table*³⁰). Desta maneira, evita-se refazer cálculos e buscas já realizadas (HYATT *et al.*, 2005).
3. **Aprofundamento Iterativo:** Com esta abordagem, o jogador automático realiza um aprofundamento da sua análise das próximas jogadas de acordo com o tempo restante que possui para a tarefa. Por exemplo, ele começa inicialmente analisando apenas um lance a frente, caso ainda tenha tempo, inicia uma nova análise com dois movimentos à frente, e assim por diante. No xadrez costuma-se jogar com limite de tempo para cada jogador, então se deve escolher a melhor jogada dentro do tempo disponível (KORF, 1985).
4. **Uso de Movimentos de Livros:** Uma partida de xadrez é informalmente dividida em três etapas: abertura, meio de jogo, e final. Normalmente as sequências de lances utilizadas na abertura e na finalização são bem estilizadas (e estudadas). E os enxadristas costumam escolher tais planos dentro do seu arcabouço de conhecimento teórico do jogo. Um programa age da mesma forma, através do uso de bases de

³⁰ *Hash Table* (ou tabela de dispersão) é uma estrutura de dados especial que permite associar chaves de pesquisa a valores, o que possibilita buscas mais rápidas das informações armazenadas.

dados com encadeamentos de jogadas a serem seguidas nestes dois momentos. Ao combinar esta técnica com a análise da árvore de lances na etapa de meio de jogo, um jogador automático se torna mais eficiente (DONNINGER & LORENZ, 2006).

3.3 Conhecimento versus profundidade de busca

Os avanços nas técnicas de criação de jogadores automáticos de xadrez caminharam no início, em sua maioria, apenas para capacitar cada vez mais a máquina a avaliar a maior quantidade de possíveis lances disponíveis. Calculando o máximo de jogadas a frente. Esta técnica de busca exaustiva é também denominada de *Força bruta*³¹. E conseguiria vencer qualquer adversário humano desde que conseguisse calcular toda a árvore de jogo.

Conforme descrito na seção 3.1 tal abordagem é impraticável, e os primeiros jogadores automáticos não ameaçaram a superioridade humana no xadrez. Pois eles escolhiam as jogadas sem compreender quase nada sobre o conhecimento especializado do jogo (ROBINSON, 1979).

Os pesquisadores sabiam da importância de inserir conhecimento do jogo no processo de análise para a escolha das jogadas. Mas não o faziam (e ainda hoje, pouco é feito) devido à dificuldade de lidar com o conhecimento na construção das aplicações, e mesmo em como adquirir este conhecimento junto aos especialistas enxadristas. Partiram então para a saída mais fácil, que é aumentar a capacidade de processamento (SIMON & SCHAEFFER, 1992).

Num primeiro momento esta abordagem se mostrou muito satisfatória. Nos estudos iniciais que analisarem o desempenho dos jogadores automáticos em competições entre eles, esta

³¹ Força bruta faz referência à busca pela solução de um problema maximizando a capacidade de processamento de alternativas.

característica foi identificada. O trabalho de Newborn (1989) relacionou que quanto maior a quantidade de posições de jogo analisadas pelo programa, maior é sua força no xadrez. A Figura 11 apresenta um gráfico com esta análise. Onde a força do programa é mensurada usando o *rating*³² da USCF³³.

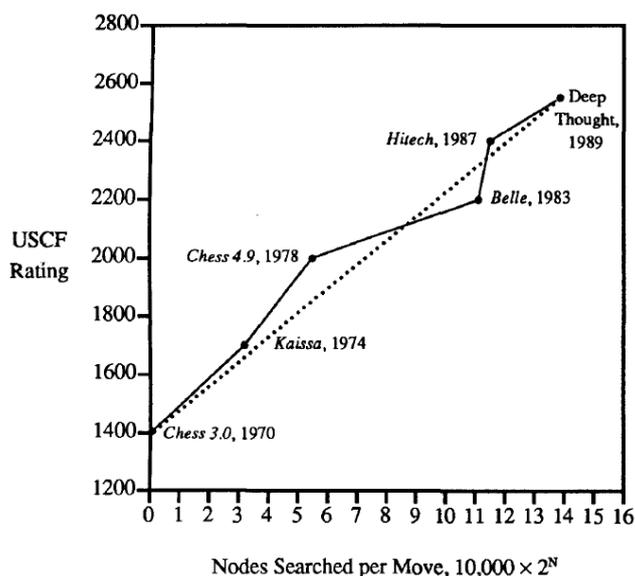


Figura 11 – Relação entre total de posições analisadas e força (NEWBORN, 1989).

Newborn chegou a propor a hipótese de que seria possível prever a força do programa de acordo com a profundidade da busca que o mesmo trabalhe. A Equação 1 apresenta a fórmula proposta por ele, onde *BC* é a quantidade de boas jogadas analisadas, e *RI* o aumento de *rating* em relação ao funcionamento com uma profundidade de busca anterior (NEWBORN, 1985).

$$RI(d + 1) = \frac{BC(d + 1)}{BC(d)} \cdot RI(d)$$

Equação 1 – Previsão do *rating* de acordo com a profundidade de busca (NEWBORN, 1985).

³² *Rating* no xadrez é um número calculado que identifica a força do jogador. Existem diversas metodologias para se chegar a este valor.

³³ USCF é a sigla da *United States Chess Federation*. Federação americana de xadrez.

Esta análise se mostrou errônea. Foi identificada uma tendência chamada de *Diminishing returns*³⁴, onde conforme cresce a profundidade da busca pela solução, diminui o crescimento da melhora do desempenho do programa em achar uma solução boa de jogada. Este efeito não foi identificado anteriormente no xadrez, pois ele era mascarado devido à imensa quantidade de erros que os programas jogadores automáticos já geravam, ao trabalharem com profundidades maiores que 9 *ply*³⁵ (JUNGHANNS *et al.*, 1997).

Sobre este problema, a pesquisa de Steenhuisen identificou que a chance de se encontrar boas jogadas diminui exponencialmente conforme se aumenta a profundidade de busca, e diminui rápido em posições perto do final da partida (STEENHUISEN, 2005). Já a pesquisa complementar de Guid e Bratko associou a ocorrência de *Diminishing returns* com os seguintes fatores: (a) valores das posições; (b) da **qualidade da função de avaliação heurística** utilizada; (c) e do estágio do jogo, e da quantidade de peças no tabuleiro (GUID & BRATKO, 2007).

Ou seja, apenas o uso da análise da árvore de jogo para uma grande quantidade de jogadas a frente (vários níveis de profundidade), não se demonstrou viável.

Os pesquisadores então compreenderam que se fazia necessário integrar muito mais conhecimento de xadrez no processo de escolha de jogadas, e tentar entender como a qualidade deste conhecimento interfere na busca por ótimas jogadas.

Os trabalhos de Michie (1977) e de Berliner *et al.* (1990) fizeram esta análise, e propuseram a relação de que quanto melhor for a qualidade do conhecimento, menor a necessidade de se aprofundar a busca, e quanto mais fraco for o conhecimento, maior deverá ser a profundidade de

³⁴ *Diminishing Returns* pode ser traduzido como retornos decrescentes.

³⁵ *Ply* refere-se a um único movimento feito por um jogador, e é utilizado para evitar dúvidas em relação a quantas peças foram movimentadas. No xadrez, um lance ou turno pode significar para alguns autores o movimento de mais de uma peça (uma para cada jogador).

pesquisa utilizada pelo programa para alcançar o mesmo desempenho. A Figura 12 apresenta esta relação, e nela as curvas representam várias combinações hipotéticas entre busca e conhecimento com desempenho equivalente.

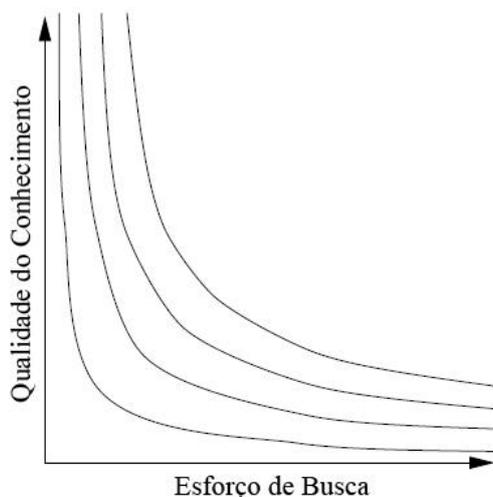


Figura 12 – Relação entre Conhecimento e profundidade da busca (BERLINER *et al.*, 1990).

No trabalho de Junghanns e Schaeffer “*Search Versus Knowledge in Game-Playing Programs Revisited*” eles denotam que esta relação entre conhecimento e busca não é tão linear, conforme os trabalhos anteriores atestaram. E isto devido à ocorrência de *Diminishing returns* (que era ignorada até então), e devido à qualidade do conhecimento empregado nos testes. Eles ainda concluíram que investir no uso de melhor conhecimento trás um ganho muito maior do que investir na mesma razão, no aprofundamento da busca (JUNGHANNS & SCHAEFFER, 1997).

A busca em profundidade acaba fazendo com que os jogadores automáticos de xadrez aparentem ter mais inteligência do que realmente possuem sobre a teoria do jogo. E atualmente a maioria destes programas tem proporcionalmente menos conhecimento heurístico inserido do que os programas passados (SIMON & SCHAEFFER, 1992).

Obviamente, existiram outros estudos passados onde se priorizou a inserção de conhecimento no jogador automático em vez de apenas aprofundar a busca pela solução. Mas, estes primeiros programas não conseguiram resultados importantes. Uma exceção interessante de citar é a do programa *Hitech*³⁶, desenvolvido por Carl Ebeling e Hans Berliner pela universidade de Carnegie-Mellon University. Este computador além de um *hardware* de processamento avançado, ele possuía um conhecimento sofisticado de xadrez, que nenhum outro programa utilizava até aquele momento (SIMON, 1992).

O *Hitech* foi o primeiro jogador automático de xadrez a vencer um Grande Mestre humano, Arnold Denker (SCHONBERG, 1988), e o primeiro a alcançar um *rating* de 2.400. Durante três anos ele evoluiu de um enxadrista simples para um grande mestre no jogo sem nenhuma mudança de equipamento, apenas com a inserção de novos conhecimentos do xadrez (BERLINER, 1989). A Figura 13 apresenta a arquitetura geral do programa.

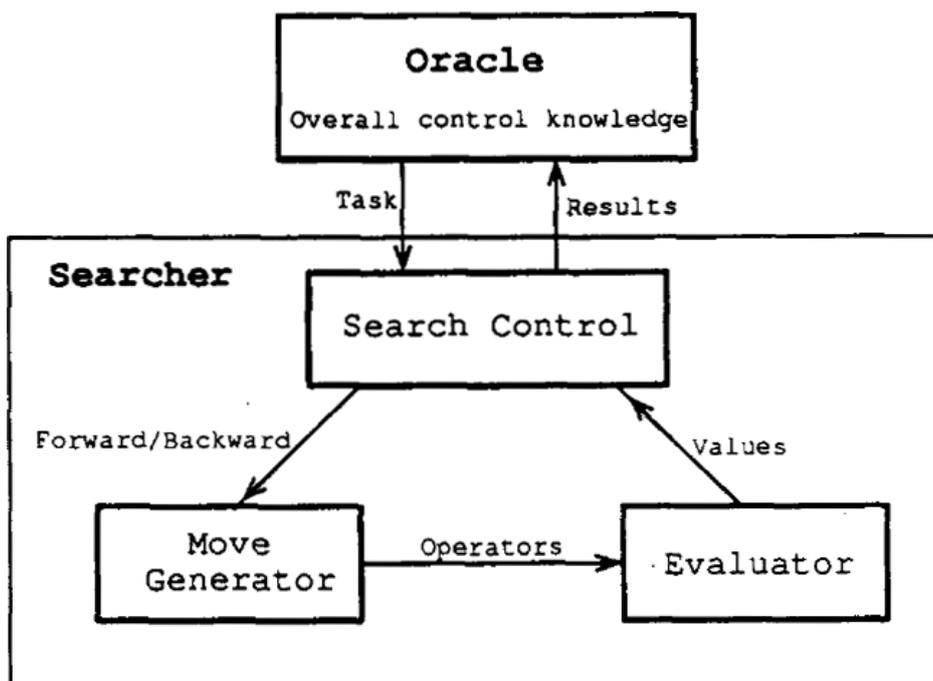


Figura 13 – Arquitetura do *Hitech Chess-player* (BERLINER, 1989).

³⁶ O *Hitech* era capaz de analisar 200.000 possíveis jogadas por segundo.

3.4 O primeiro grande jogador - *Deep Blue*

A partir das primeiras vitórias contra Grandes Mestres de xadrez, como no caso do *Hitech* (Seção 3.3), e também do *Deep Thought*³⁷, se vislumbrou a real probabilidade de se construir um programa capaz de vencer o melhor jogador de xadrez humano, o atual campeão internacional do jogo (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2011).

No ano de 1989, o campeão mundial de xadrez Garry Kasparov³⁸ provou de forma convincente que os computadores ainda não eram uma ameaça aos grandes jogadores. Ele estudou todos os jogos realizados pelo *Deep Thought*, que era o programa mais forte na época, e o venceu em duas partidas de exibição. Mesmo o programa já sendo capaz de analisar 700.000 posições de jogo por segundo, e de analisar até 10 movimentos a frente (WALDROP, 1989).

O coração do *Deep Thought* era a integração de soluções de *hardware* e *software*. Ele possuía um processador responsável pela geração dos movimentos do jogo. Mesmo com sua derrota, a IBM³⁹ interessou-se pela proposta, e contratou a equipe criadora deste computador para trabalhar para ela, com o objetivo de alcançar a vitória num próximo desafio. Neste momento, Feng-Hsiung Hsu afirmou que seria possível em cinco anos criar um processador 1.000 vezes mais rápido, o que permitiria a análise de 1 bilhão de posições, a até 25 movimentos a frente, e neste ponto ele afirmava, "*strategy becomes tactics for the machine*" (Estratégia torna-se tática para a máquina) (WALDROP, 1989).

³⁷ *Deep Thought* foi construído por Feng-Hsiung Hsu, Thomas Anantharaman, Murray Campbell e Andreas Nowatzyk enquanto eles terminavam os doutorados em várias áreas da computação na Universidade de Carnegie-Mellon.

³⁸ *Garry Kasparov* nasceu em 1963 no Azerbaijão, na União Soviética. Tornou-se o campeão mundial de xadrez mais novo, com apenas 22 anos, em 1985. E manteve o título até o ano de 2000. É considerado por muitos enxadristas como o maior jogador de todos os tempos.

³⁹ IBM - *International Business Machines*, uma das maiores empresas de informática, apelidada de "*Big Blue*", pela cor usada em seu logo.

O projeto do computador evoluiu, o nome mudou para *Deep Blue*, e em fevereiro de 1996 o supercomputador enfrentou novamente Garry Kasparov na Filadélfia, numa série de 6 partidas. Kasparov ganhou 3, empatou 2, e perdeu 1 (a primeira da série), terminando com a pontuação de 4 a 2 (CAMPBELL *et al.*, 2002).

Nesta versão, o supercomputador era formado por 36 nós IBM RS/6000 SPTM, possuía 216 processadores específicos para xadrez, onde cada um podia analisar até 2 milhões de posições por segundo. Sua função de avaliação heurística possuía 6.400 características. No total o sistema trabalhava com até 100 milhões de posições por segundo (CAMPBELL *et al.*, 2002).

Apesar da derrota do *Deep Blue*, o fato de ter conseguido empatar duas partidas, e até ter ganhado uma, contra o maior jogador de xadrez da atualidade, só motivou a equipe da IBM e evoluir o projeto, e marcar um novo confronto.

Em maio de 1997, na cidade de *New York*, após uma ampla atualização, *Deep Blue II* conseguiu vencer Kasparov em uma nova série de 6 partidas. Desta vez o computador conseguiu 2 vitórias, empatou 3, e perdeu apenas 1 (CAMPBELL *et al.*, 2002). A Figura 14 apresenta uma foto destes confrontos, e reflete o interesse da humanidade naquele momento.



Figura 14 – Kasparov enfrenta *Deep Blue* (DAYTON, 2010).

Na versão vencedora, *Deep Blue* sofreu as seguintes alterações (CAMPBELL *et al.*, 2002):

- Nova versão da função de avaliação heurística, agora com 8.000 características analisadas;
- Adicionado em hardware a detecção de lances repetidos, e a geração de movimentos especializados;
- Aumento da velocidade de funcionamento do processador especializado em xadrez, para até 2.5 milhões de posições por segundo;
- Aumento da quantidade de chips de xadrez no sistema;
- Uso da nova geração de computadores SP da IBM.
- E a criação e uso de diversas ferramentas de software para teste, correção, e preparação do computador para as partidas.

Ao final, o supercomputador era formado por 30 nós de computadores IBM, RS/6000 SP2, com 480 processadores especializados em xadrez, analisava até 330 milhões de posições por segundo, onde para a escolha de cada jogada pesquisava cerca de 30 bilhões de posições de jogo. Trabalhava em média com uma profundidade de pesquisa de 14 *ply* (CAMPBELL *et al.*, 2002).

Seu software possuía uma busca em profundidade com Podas Alfa-beta, de aprofundamento Iterativo, com uso de tabelas de transposição (Ver seção 3.2). Outro diferencial era sua capacidade de gerar extensões além do limite de profundidade para casos interessantes de movimentos forçados, que e em algumas situações chegou até a 40 movimentos à frente. Na função de avaliação heurística, havia muitas características descrevendo padrões de peças altamente específicos (CAMPBELL *et al.*, 2002).

O supercomputador utilizava uma base de dados de aberturas com aproximadamente 4.000 posições, e uma base com 700.000 jogos de Grandes Mestres do xadrez. A partir do qual ele podia extrair recomendações de jogo. Havia também uma base de finais de jogos com posições resolvidas, com todas as jogadas possíveis com cinco peças, e muitas com até seis peças. Isto permitia estender a profundidade da busca, e habilitava-o a jogar com perfeição em alguns casos, mesmo a muitos movimentos de distância de um xeque-mate (CAMPBELL, 1999).

No início do duelo, a equipe do *Deep Blue* imaginava que apenas a velocidade e profundidade de busca garantiriam a vitória. O que se mostrou inválido no primeiro confronto. A Figura 15 apresenta esta meta.

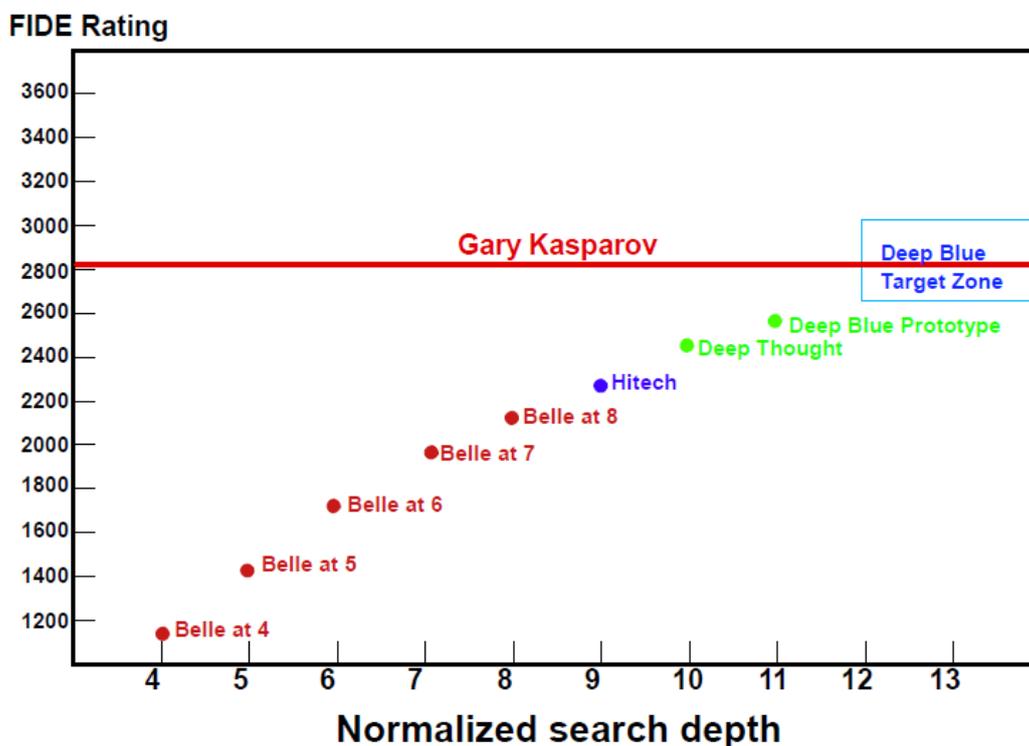


Figura 15 – Relação força (em *rating*) e profundidade de busca (HSU, 1998).

A Figura 16 apresenta a arquitetura básica de processador específico de xadrez do *Deep Blue*. Um dos diferenciais em relação a sua primeira versão, e que na segunda existia dois procedimentos de avaliação heurística, uma rápida, e uma lenta. Dependendo do estágio do jogo, uma delas era ativada. A avaliação rápida era usada para os estágios onde havia bancos de dados com jogadas específicas (Figura 17), quando não existia, usava-se a avaliação lenta onde se computava todas as colunas do tabuleiro (HSU, 1999).

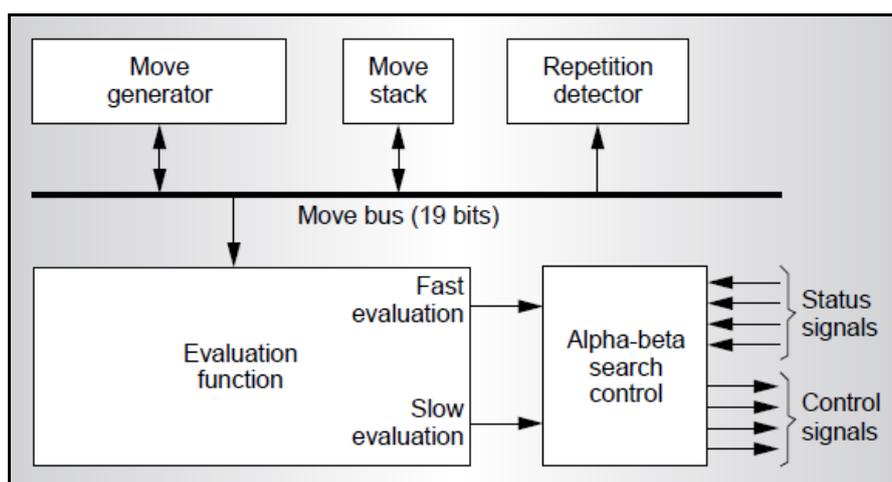


Figura 16 – Arquitetura básica do *chip* específico de xadrez do *Deep Blue* (HSU, 1999).

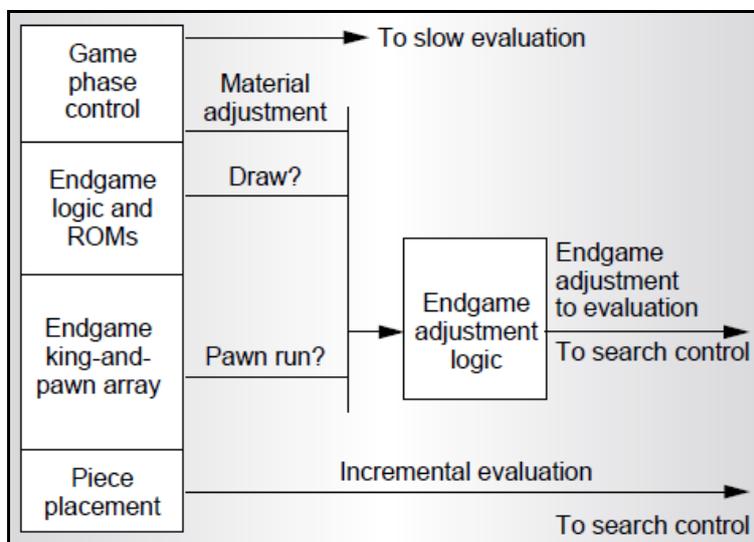


Figura 17 – Funcionamento da avaliação rápida do *chip* de xadrez (HSU, 1999).

Um dos objetivos mais visados por diversas pesquisas da computação moderna foi alcançado através da vitória de *Deep Blue*. Não em 1967, como Allen Newell e Herbert Simon acreditavam, mas sim em 1997, exatos 40 anos depois. A Figura 18 apresenta a evolução da força destes programas (em *ratings*) durante este período (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2011).

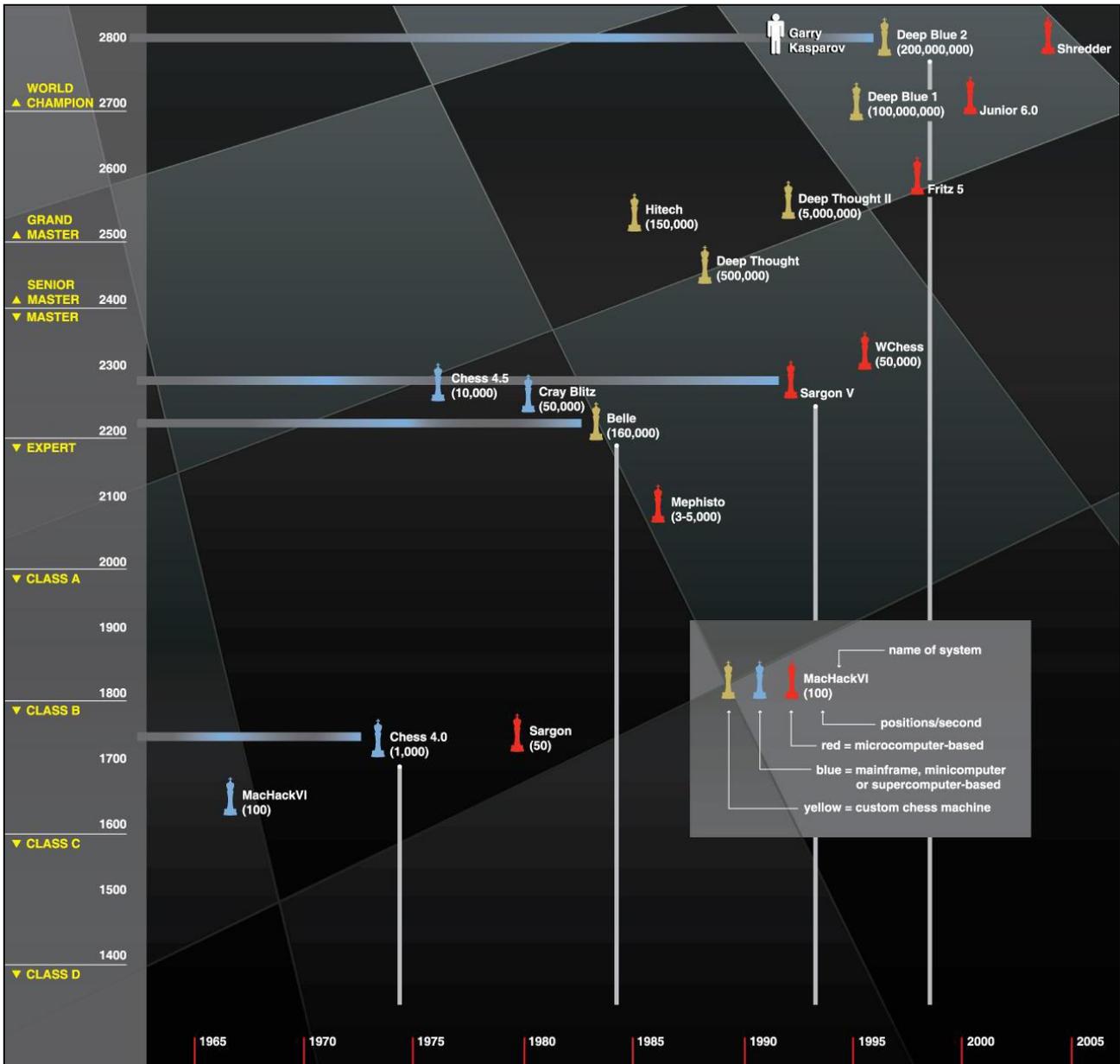


Figura 18 – Evolução da força de jogo dos principais jogadores automáticos

Fonte: COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2011.

Mas mesmo com a vitória, o membro da equipe de criação do *Deep Blue* Murray Campbell disse: "*I never considered Deep Blue intelligent in any way. It's just an excellent problem solver in this very specific domain.*" (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2011).

Ou seja, ele não considerava o supercomputador inteligente, apenas um excelente solucionador de problemas em um específico domínio. Ao final, Campbell identificou os seguintes fatores para o sucesso do supercomputador (CAMPBELL, 2002):

- Sistema de busca e avaliação de xadrez realizado em hardware;
- O uso maciço de paralelismo em diversos níveis;
- Um amplo enfoque em estender a profundidade de busca em alguns casos;
- Uma **complexa função de avaliação heurística**;
- Uso efetivo de um **enorme banco de dados de jogos** de Grandes Mestres do xadrez.

Após esta vitória, a maioria das pesquisas se direcionaram para jogos de natureza mais complexa que o xadrez, como o *Shogi* (IIDA *et al.*, 2002), e o *Go*⁴⁰ (BURMEISTER, 2000; MÜLLER, 2002). Ou para novas abordagens de uso de conhecimento ao invés da força bruta na escolha das jogadas, como o caso da computação evolutiva⁴¹ (FOGEL *et al.*, 2005; GLEICH, 2003).

A Tabela 6 apresenta a relação de complexidade que existe no jogo de xadrez, *Shogi*, e *Go* em relação a quantidade de posições válidas de tabuleiro, e do tamanho da árvore de jogo a ser pesquisada.

⁴⁰ *Go*, *Weiqi*, ou *Baduk* é um jogo estratégico de tabuleiro, onde dois jogadores posicionam pedras de cores opostas. Sua origem é Chinesa, e data de cerca de 5 mil anos atrás. Este jogo é muito popular no leste da Ásia.

⁴¹ A computação Evolucionária é um ramo da Ciência da Computação que se baseia no uso de mecanismos evolutivos, como os encontrados na natureza relacionados à teoria da evolução de Darwin, para a geração, combinação, e seleção de soluções para determinado problema.

	Xadrez	Shogi	Go
Complexidade de estados possíveis	10^{43}	10^{71}	10^{172}
Complexidade da árvore de jogo	10^{123}	10^{226}	10^{360}

Tabela 6 – Relação de complexidade do xadrez, *Shogi*, e *Go* (IDA et al., 2002).

No xadrez, também se intensificaram pesquisas relacionadas à detecção de temas e de estética⁴² (*Aesthetics*), na escolha de jogadas em uma partida (IQBAL & YAACOB, 2008).

Já alguns pesquisadores estão trabalhando na construção de jogadores automáticos genéricos (*General Game Playing*), onde os programas não são projetados para jogar um jogo específico, e sim, para receber as regras de qualquer jogo, aprende-las e jogá-las. Até o momento, as soluções encontradas não são capazes de criar ótimos jogadores, mas neste caso, o foco é a questão da formalização, manipulação, e aprendizagem de conhecimento. E os programas só competem entre si, sem a interferência de seres humanos (GENESERETH & LOVE, 2005).

3.5 Discussão final sobre o capítulo

A história da evolução dos programas jogadores automáticos de xadrez nos indica que a maioria dos trabalhos se preocupou unicamente em vencer um oponente humano. Não importando se a técnica a ser utilizada reflete a forma como um enxadrista resolve o mesmo problema.

⁴² Estética neste caso está relacionada a beleza subjetiva identificada por humanos na criação, escolha, e combinação de jogadas.

O homem foi derrotado pela capacidade de processamento do computador, aliada a mineração de padrões de jogo dentro de gigantescas bases de partidas de Grandes Mestres. Um enxadrista também evolui seu nível de jogo estudando e armazenando em memória padrões. Mas é nítido que um programa precisa de uma base muito maior para chegar ao mesmo resultado que um humano. Enquanto estima-se que um Grande Mestre tenha 100.000 padrões de jogos armazenados em memória (Ver seção 2.2.2), ou um milhão, no caso da nova geração de enxadristas formada intensivamente através da aprendizagem apoiada por software (Ver seção 4.1). Um bom jogador automático precisa trabalhar com milhares de partidas, e pesquisar muito mais jogadas a frente.

Podemos compreender então que um humano lida muito melhor com o conhecimento enxadrístico do que um software. Na sua evolução como enxadrista, o humano não apenas memoriza padrões de partida, ele as analisa, compreende-as, e generaliza-as quando possível. Neste processo ele cria suas próprias regras de valores e de uso. E contribui de forma efetiva para a evolução da teoria de táticas e estratégias de jogo.

Atualmente, os jogadores automáticos tornaram-se exímios adversários que podem ser utilizados para a prática, e o treino de indivíduos no xadrez. Mas estão longe de serem treinadores, visto que para receberem esta denominação, além de jogar bem, eles precisariam ser capazes de compreender a teoria do jogo, ao ponto de identificar pontos falhos em táticas adotadas pelo aprendiz, e orientá-lo claramente em qual ponto deve melhorar.

Devido a isto existe uma enorme separação entre as técnicas utilizadas para construir jogadores automáticos, e as utilizadas para construir softwares inteligentes de apoio ao ensino e aprendizagem (Ver seção 4.2). E nesta segunda área de estudo, é onde ocorrem os principais questionamentos em como formalizar o conhecimento enxadrístico, que em sua maioria é puramente heurístico.

CAPÍTULO 4

APRENDIZAGEM INDIVIDUAL APOIADA POR SOFTWARE

Neste capítulo iremos analisar e criticar estudos relacionados ao ensino de xadrez apoiado por software, e que estão centrados na aprendizagem individual. Vários avanços recentemente têm ocorrido em questões pedagógicas, onde novas abordagens e instrumentos são introduzidos no processo de aprendizagem. E muitos destes novos instrumentos estão relacionados (e condicionados) ao uso de programas de computador.

Quantitativamente, a maioria dos trabalhos científicos é centrada na criação de jogadores automáticos. E estes, decorrentes de suas evoluções, estão agora sendo cada vez mais utilizados no processo de ensino do xadrez. Visto que, ainda hoje, com ou sem o auxílio do computador, a competição exaustiva contra jogadores mais fortes tem sido utilizada como técnica de ensino, e de aperfeiçoamento dos enxadristas.

A compreensão de como ocorre o processo de aprendizagem do jogo por diferentes perfis de aprendizes, e de que forma alguns aspectos e tarefas podem ser tratados junto aos indivíduos, é de suma importância para a definição da proposta apresentada neste trabalho (Ver seção 1.3). Também é imprescindível analisar como a área de informática tem evoluído recentemente neste tema, elencar que benefícios o seu uso propicia, e quais problemas ainda não foram tratadas por ela.

Com este intuito, analisaremos na seção 4.1 o uso de jogadores automáticos no processo de aprendizagem do xadrez. Na seção 4.2 criticaremos os programas especializados no ensino do jogo. E na seção 4.3 fechamos o capítulo discutindo os temas apresentados.

4.1 Uso de jogadores automáticos no ensino

Com os avanços e diminuição de custos da computação, foi possível a partir do final dos anos 1970 e início dos anos 1980, sua popularização junto à sociedade. Neste período foi criado o computador pessoal (TERRA, 2011), e a partir deles, os programas jogadores automáticos de xadrez começaram a ser difundidos.

O primeiro programa de xadrez a ser comercializado foi o *Microchess* em 18 de dezembro de 1976, para o microcomputador Kim-1. Este software foi desenvolvido pelo recém-graduado Peter R. Jennings durante seis meses, e vendido a \$10 US dólares. Foi o primeiro pacote de software a vender 50.000 cópias (JENNINGS, 2011).

No início ele era distribuído apenas em cópias impressas (o fonte), e o comprador tinha que reescrever o código da aplicação. Depois ele foi vendido através de fitas magnéticas (*i.e.*, cassette). Teve seu gráfico melhorado, e foi portado para outros microcomputadores, como o TRS-80, Apple II, Commodore PET, e Atari 400/800 (JENNINGS, 2011). A Figura 3 apresenta a primeira versão de interface.

```
+----- MICROCHESS -----+
| WR WN WB WK WQ WB WN WR |
| WP WP WP WP WP WP WP WP |
|      ::      ::      ::      |
|  ::      ::      ::      ::  |
|      ::      ::      ::      |
|  ::      ::      ::      ::  |
| BP BP BP BP BP BP BP BP |
| BR BN BB BK BQ BB BN BR |
+----- CHALLENGER -----+
```

Figura 19 – Tela do jogo *Microchess* (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2011).

Deste então, diversas versões de programas jogadores automáticos de xadrez foram criadas e distribuídas para diferentes plataformas populares. Além dos computadores, atualmente estes programas são criados para telefones celulares, *tablets*⁴³, e *videogames*. (CHESSBASE, 2011a; UBISOFT, 2007).

No ensino de xadrez um ponto importantíssimo para o aprendizado e aperfeiçoamento e a competição contra jogadores do mesmo nível e superiores. Somente a partir dos anos 1990, os programas jogadores de xadrez se tornam grandes enxadristas (Seção 3.4), e puderam ser realmente adotados no processo de ensino.

Atualmente é possível ter em um computador pessoal um software jogador de xadrez equivalente ou superior ao *Deep Blue* (PEREIRA K. *et al.*, 2008). Isto faz com que o aprendiz, seja ele iniciante ou especialista, seja realmente desafiado, e possa colocar seu conhecimento a prova.

Podemos categorizar os jogadores automáticos existentes atualmente em comerciais e gratuitos. Os gratuitos são normalmente experimentais, criados para testar uma técnica de construção de jogadores automáticos, onde o objetivo é em criar um programa enxadrístico forte. Estes são normalmente destinados a jogadores especialistas.

Já os jogadores automáticos comerciais, além de também serem destinados para enxadristas especialistas, muitos têm características e funções destinadas para iniciantes e intermediários. O que possibilita um uso educacional muito mais amplo. Neste segmento iremos analisar dois de seus expoentes, o programa *Fritz* e o *Chessmaster* (LOPEZ, 2005).

O *Fritz* é o programa comercial mais utilizado por enxadristas especialistas no mundo, é um dos jogadores automáticos mais fortes. Foi criado pelos alemães Frans Morsch e Mathias Feist, e é

⁴³ *Tablet* é um dispositivo computacional móvel e pessoal em formato de prancheta, com uma tela sensível ao toque, por onde o usuário interage com o sistema.

distribuído pela *ChessBase*⁴⁴ (CHESSCENTRAL, 2010). O *Fritz* possui duas versões do programa, a para computadores com um processador, chamado apenas de *Fritz*, e a versão com suporte a processamento paralelo, chamada de *Deep Fritz*.

Este programa (independente da versão) possui as seguintes características: Ajuste automático da força de jogo; Funções de ajuda e instrução; Explicação sobre as posições; Avisos coloridos de perigo; Estatísticas de jogadas de abertura; Análise automática de partidas; Módulos de treinamento de aberturas, táticas, e finais; 12 horas de vídeos explicativos de Grandes Mestres; Uma base com 1.5 milhões de jogos; E ainda permite jogar via rede com outros enxadristas, através do site www.playchess.com (CHESSCENTRAL, 2010).

No ano de 2002 o *Deep Fritz 7* enfrentou o campeão mundial de xadrez, o russo Vladimir Kramnik, o desafio terminou em empate. O programa foi atualizado, e em dezembro de 2006, num novo confronto, o software, na versão 10, venceu o campeão humano por 4 a 2 (TERRA, 2006).

Devido ao seu amplo ferramental de análise de partidas, este programa é usado pelos grandes enxadristas para treinos específicos. Garry Kasparov afirmou que regularmente analisava jogos através do *Fritz* (CHESSCENTRAL, 2010). Ele também publicou uma série de livros intitulada “*Gary Kasparov's on My Great Predecessors*”, onde analisava os grandes campeões anteriores a ele, e nesta tarefa novamente usou destas ferramentas computacionais.

A Figura 20 apresenta a tela de jogo durante uma partida, com todas as análises realizadas pelo jogador automático.

⁴⁴ *ChessBase* é uma das empresas líderes no comércio de *softwares* de xadrez, seu site é www.chessbase.com.

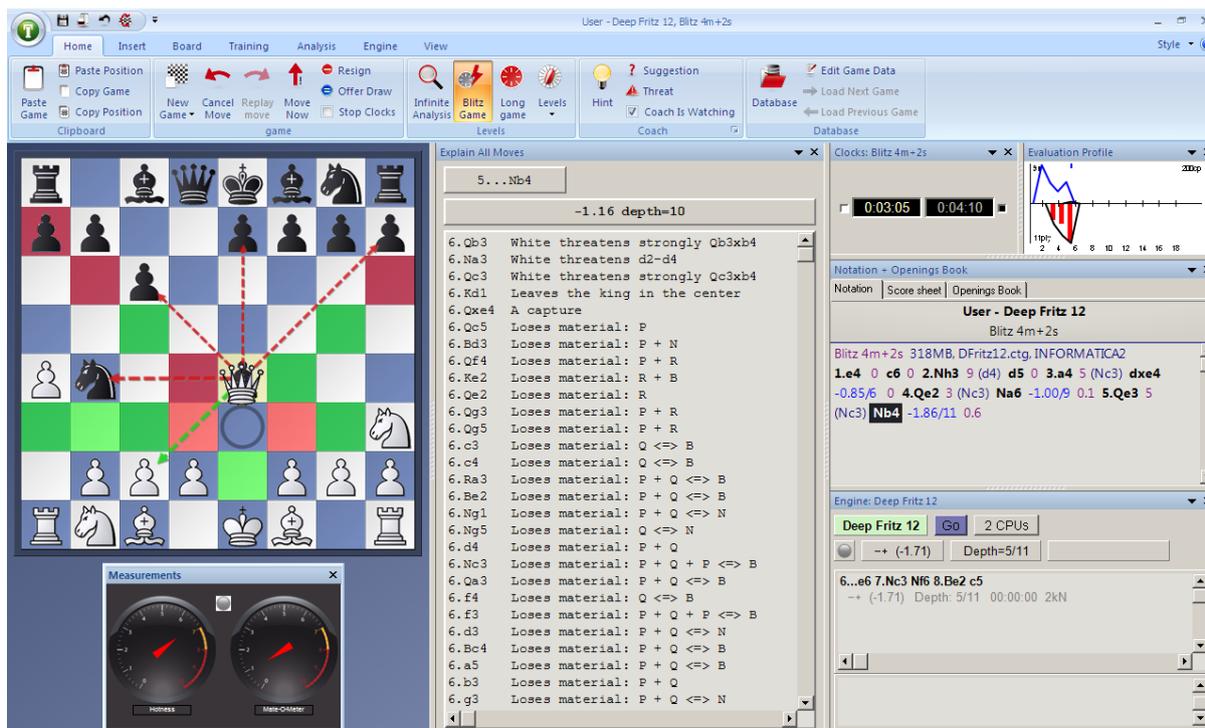


Figura 20 – Tela de Jogo com as análises do *Deep Fritz 12*.

Podemos observar na Figura 20 que o programa permite verificar como o jogador automático está escolhendo suas jogadas, quais os planos adotados, as táticas em uso, e qual a profundidade da árvore de jogo pesquisada.

Estas informações são muito complexas para um iniciante no jogo, somente um jogador experiente, e que entenda como um programa jogador automático realiza seus cálculos, consegue realmente tirar proveito destas funcionalidades.

Os tutoriais que acompanham este programa são basicamente vídeos explicativos, onde um tabuleiro é usado para anotar visualmente as explicações das peças e do tabuleiro que estão sendo comentadas. A Figura 21 apresenta a tela de exibição de um tutorial para iniciantes.

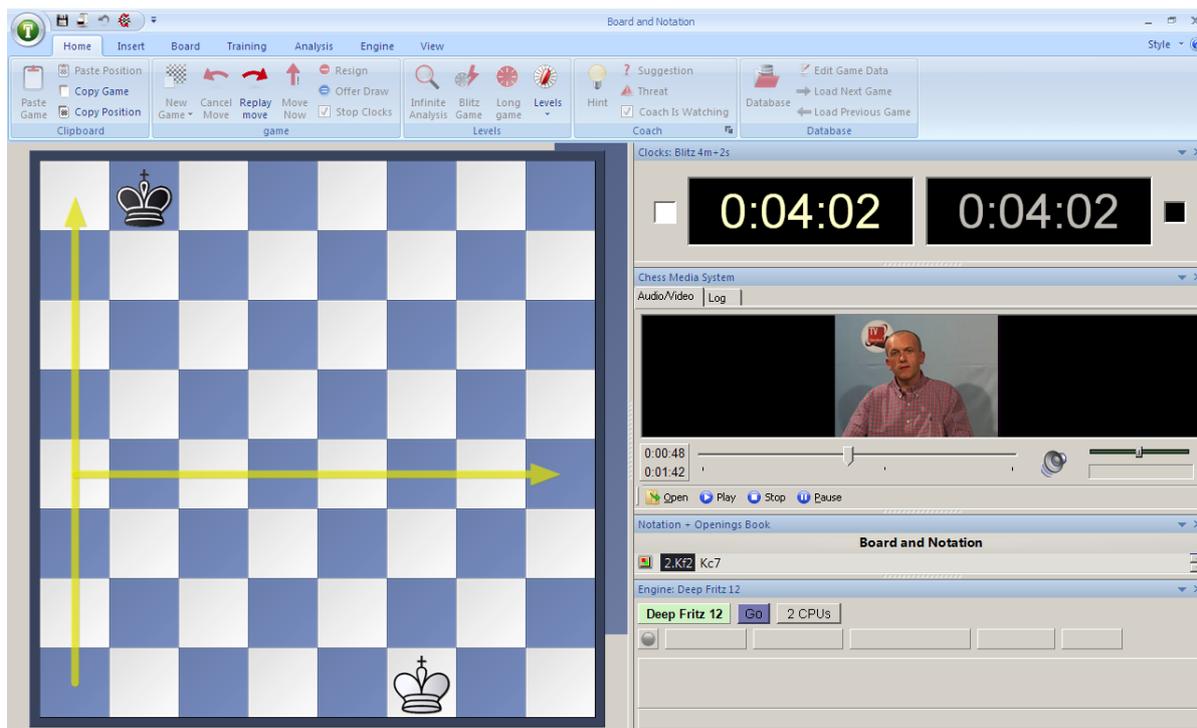


Figura 21 – Tela de Tutorial para iniciantes do *Deep Fritz 12*.

Outro exemplo de funções para iniciantes é a opção em que o programa monitora a partida, para oferecer dicas e alertas ao jogador. A Figura 22 apresenta exemplos de dicas oferecidas pelo *Deep Fritz*. Os comentários dados pelo programa em várias ocasiões possuem certa dose de humor.

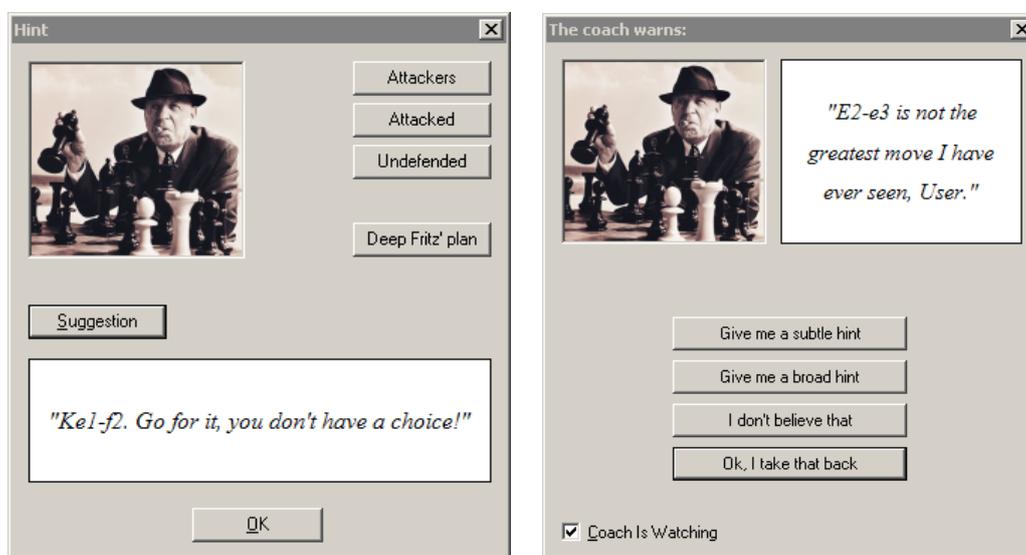


Figura 22 – Telas de exibição de dicas ao jogador do *Deep Fritz 12*.

O enxadrista iniciante pode especificar a força do jogador automático. Isto permite que ele opte em enfrentar um oponente do mesmo nível de conhecimento. É possível escolher um perfil de adversário, ou configurar aspectos gerais dele, tais como: estrutura de peões, defesa do Rei, domínio do centro, *rating*, *etc.* A maioria destes conceitos é totalmente desconhecida para um aprendiz de xadrez, e de que forma e com qual precisão a *engine*⁴⁵ do programa os interpreta também é desconhecida para os usuários. A Figura 23 apresenta a tela que permite esta configuração.

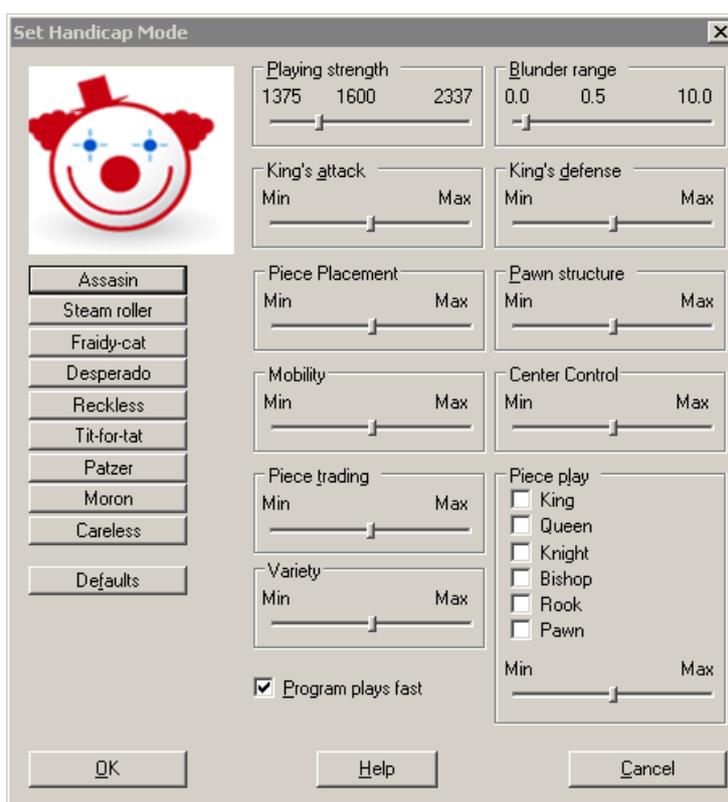


Figura 23 – Tela de configuração de força de jogo do *Deep Fritz 12*.

⁴⁵ *Engine* em inglês significa máquina ou motor. E no contexto de softwares de xadrez, se refere ao núcleo de um programa jogador automático. Vários programas de xadrez permitem configurar parâmetros da *engine* que esta sendo usada, ou até mesmo trocá-la por outra.

Podemos constatar que por mais que o *Fritz* tenha diversos recursos para auxiliar os jogadores iniciantes, ele fracassa neste objetivo. Sua interface já se inicia com recursos avançados, e cabe ao usuário configurá-la para o seu nível de domínio do jogo. Devido a isto é que este programa é indicado pelos jogadores para enxadristas de nível médio ou avançado. Para os iniciantes o mais recomendado é o *Chessmaster* (LOPEZ, 2005).

O *Chessmaster* é uma série de jogadores automáticos de xadrez, atualmente desenvolvida e publicada pela *Ubisoft*⁴⁶, para diversas plataformas (computador pessoal, *Nintendo DS*, *Playstation Portable*, e *XBOX Live Arcade*).

O principal atrativo deste programa é a facilidade de uso e as ferramentas de aprendizagem. O objetivo do jogo é atender a diferentes níveis de jogadores, e não apenas os especializados. A sua primeira versão é de 1986, no ano de 2002 vendeu cerca de 5 milhões de unidades pelo mundo, e é considerada a maior série de programas de xadrez já vendidas da história (WALKER, 2002).

A sua última versão para computador, chamada *Chessmaster XI Grandmaster Edition* possui as seguintes características: Funções de ajuda e instrução; Explicação sobre as posições; Avisos coloridos de perigo; Análise automática de partidas; Extensivo módulo de treinamento básico criado pelo Grande Mestre Internacional Josh Waitzkin⁴⁷; Módulo de treino de ataque criado pelo Grande Mestre Larry Christiansen; Uma base de dados com 600.000 partidas; E a possibilidade de jogar via rede contra outros enxadristas (UBISOFT, 2007). A Figura 3 apresenta a sua tela de jogo.

⁴⁶ *Ubisoft* é uma das maiores empresas desenvolvedoras e distribuidoras de jogos eletrônicos para videogames e computadores, seu site é www.ubi.com.

⁴⁷ *Josh Waitzkin* foi um brilhante jogador de xadrez americano quando criança, considerado um prodígio a época. O filme de 1993 “*Searching for Bobby Fischer*” se baseia no livro de mesmo nome, escrito pelo seu pai, e aborda a sua infância.

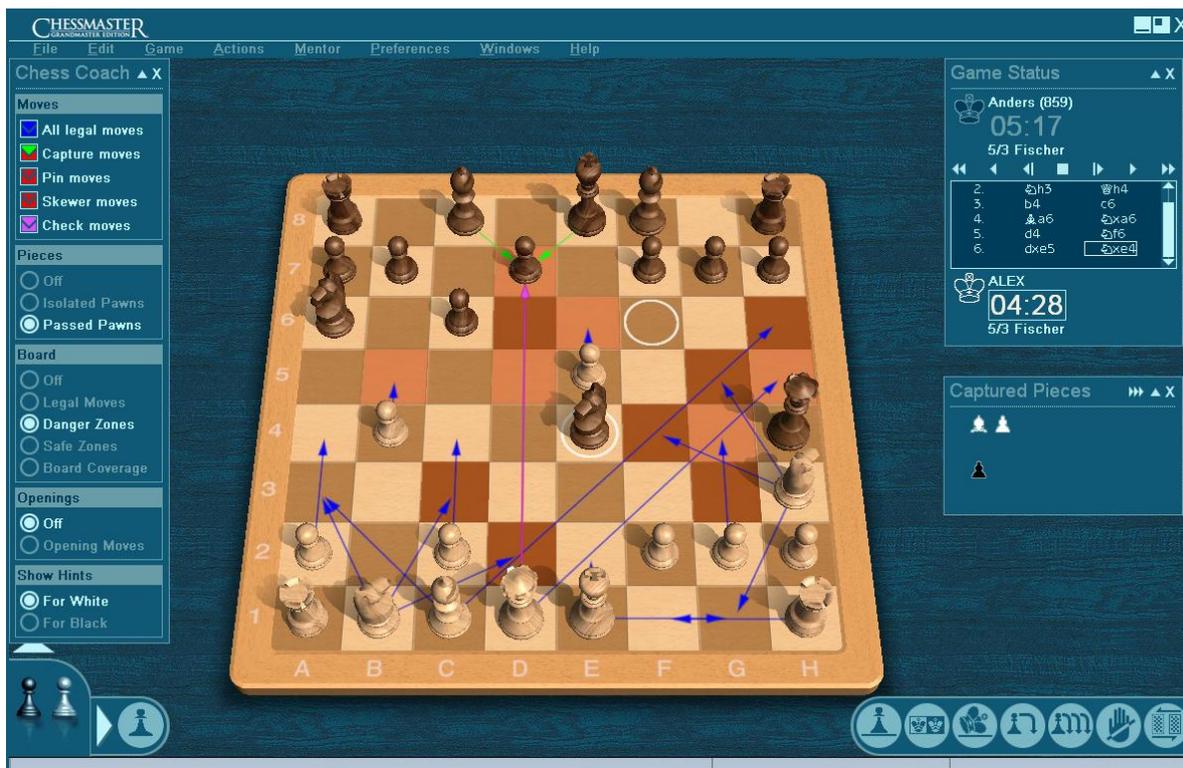


Figura 24 – Tela de Jogo do *Chessmaster XI*.

Podemos facilmente perceber que o *Chessmaster* possui muitas características idênticas a outros programas de xadrez, inclusive com o *Fritz*. O seu diferencial consiste na simplicidade inicial da *interface*, e em alguns mecanismos de tutoramento do aprendiz. Já no início da aplicação, quando se cria uma nova conta de usuário, são levantadas as características iniciais que definem o perfil do enxadrista. A Figura 25 apresenta as telas iniciais de criação de um novo jogador.

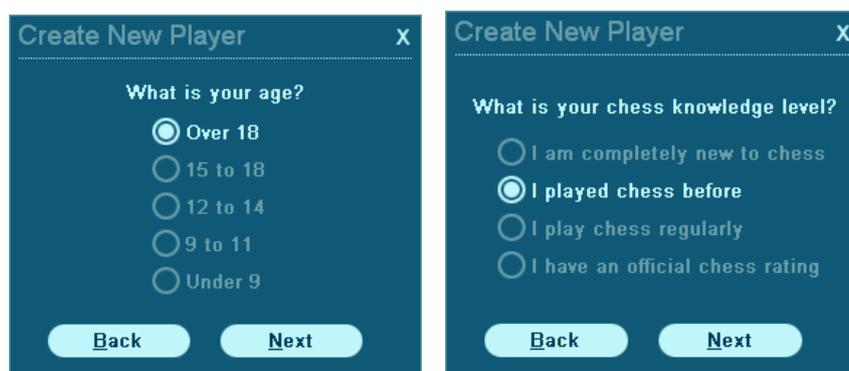


Figura 25 – Telas de criação de conta de usuário do *Chessmaster XI*.

Outra funcionalidade interessante deste programa é a quantidade de perfis de oponentes virtuais diferentes que podem ser confrontados. Indo desde um muito fraco, até um com nível de jogo equivalente a um Grande Mestre do xadrez. Os adversários virtuais são identificados por nome, foto, bibliografia. E classificados através de força (em *rating*) e estilo de jogo. A Figura 26 apresenta a tela de escolha de perfil de oponente (ADAMS, 2007).

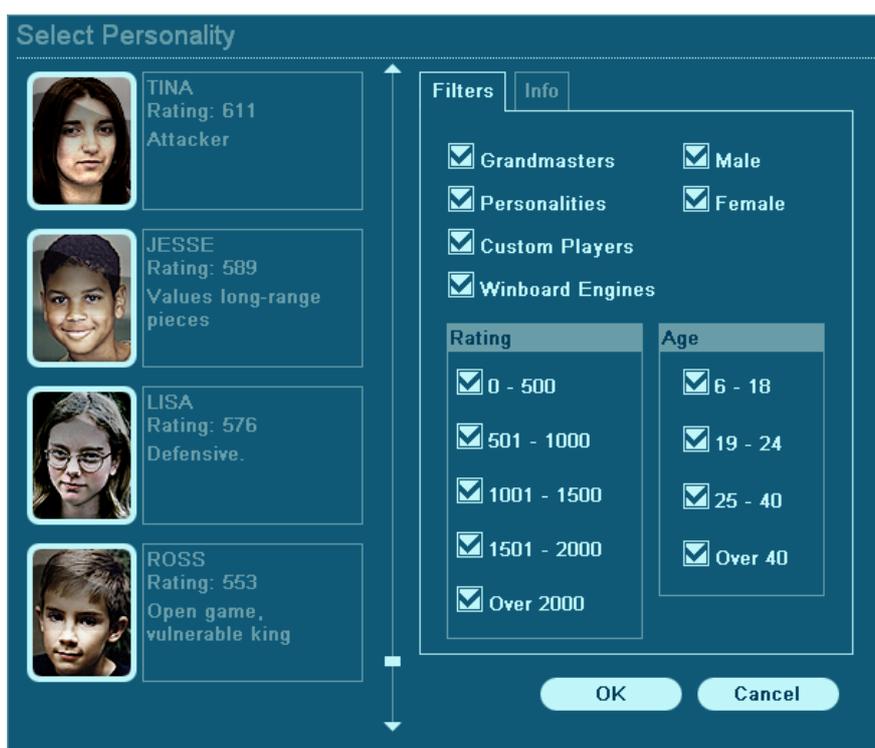


Figura 26 – Tela de escolha de oponente virtual do *Chessmaster XI*.

Existe ainda a possibilidade de personalizar as configurações básicas de cada jogador virtual. Opção semelhante a do *Fritz* (Figura 23), mas neste caso com uma gama maior de opções, e dispostas em uma tela melhor organizada. A Figura 27 apresenta esta tela de personalização.



Figura 27 – Tela de configuração de oponente virtual do *Chessmaster XI*.

Em relação aos tutoriais para iniciantes que acompanham o *Chessmaster XI*, verificamos que comparado ao *Fritz*, o mesmo tem uma gama muito maior de temas, melhor estruturados, com exercícios de fixação ao final de cada tópico. Mas ainda oferece muito pouco de tecnologia inteligente para acompanhar o aprendiz durante o processo de descoberta. Cabe ao indivíduo definir qual tema quer aprender, ou não, e durante as partidas, não é feita uma confrontação entre as técnicas que ele teoricamente estudou, e quais ele está efetivamente usando.

Como jogador automático, o *Fritz* é bem superior ao *Chessmaster*. E em quantidade de recursos para análise e estudo aprofundado de partidas também. Deve-se principalmente a isto a sua preferência de uso por enxadristas especialistas (LOPEZ, 2005).

Estas carências e diferenças de foco dos programas de xadrez fazem com que um professor acabe tendo que optar em usar diferentes softwares no processo de ensino. Vejamos um exemplo observado.

Durante o primeiro semestre de 2011, acompanhamos as atividades de ensino básico e de aperfeiçoamento de xadrez realizadas pelo Prof. Waldemar Striquer na UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Cornélio Procópio. Ele atende quatro diferentes grupos:

1. Um grupo formado por alunos do primeiro ano do ensino médio, que aprendem xadrez dentro da disciplina obrigatória de Educação Física, durante um bimestre. Normalmente são 44 alunos, de ambos os sexos, com faixa etária média de 15 anos. Eles têm de 6 a 8 horas de aula de xadrez por semana;
2. Um grupo formado por crianças, de ambos os sexos, com idade entre 7 e 14 anos. Composto por filhos de funcionários da universidade, ou por crianças carentes ligadas a um programa assistencial da cidade. Tem apenas 2 horas de aulas de xadrez por semana;
3. Um grupo formado por deficientes visuais, de 1 a 4 adultos, normalmente homens. Apenas 2 horas de aulas de xadrez por semana;
4. Um grupo formado por cerca 20 jovens de diversas idades, a maioria homens, com idade entre 14 e 20 anos. De 6 a 8 aulas de xadrez por semana. Fazem parte de um clube de xadrez, e buscam aperfeiçoamento no jogo.

Os grupos 1 e 3 aprendem apenas os conceitos básicos do jogo, o grupo 2 conceitos elementares de movimentação de peças. E ambos possuem atividades realizadas sem suporte do computador. O grupo 3 utiliza um tabuleiro adaptado para cegos.

Apenas o grupo 4 possui atividades relacionadas ao uso de computador. Para esta turma o Professor Striquer utiliza os seguintes softwares nos seguintes momentos:

- *Chessmaster*: Para descobrir a força de jogo do aluno. Colocando-o para enfrentar adversários virtuais. E para verificar os pontos fracos do aprendiz, através da ferramenta de análise de partidas realizadas.
- *Fritz*: Usado apenas pelo professor, para consulta de táticas, análise, e preparação de conteúdo para os alunos.
- *SwissPerfect*⁴⁸: Programa utilizado para a organização de campeonatos internos do clube de xadrez.

Toda a parte instrucional realizada pelo professor é feita através de aulas explicativas, e indicação de material de leitura e estudo. Aqui observamos um contraponto. Este grupo de aprendizes participou de uma pesquisa e 100% relatou que não possui nenhuma dificuldade em usar computadores, e 68% afirmaram que costumam jogar xadrez através dele (DA SILVA, 2011).

Ou seja, para este grupo, a informática faz parte da atividade de prática do jogo, mas não da etapa de aprendizagem. Mesmo com todos os recursos de instrução, os jogadores automáticos de xadrez são raramente usados para isto.

A evolução dos jogadores automáticos no final do século XX causou um enorme impacto na forma de praticar o xadrez. Primeiramente entre os enxadristas especialistas. Por exemplo, antes de 1996, caso uma partida válida pelo campeonato mundial de xadrez pela FIDE ultrapasse cinco horas de duração, ela podia ser interrompida, e concluída no dia seguinte. Com os novos jogadores automáticos esta prática foi abandonada. Na partida pelo título mundial de xadrez de 2006, entre Vladimir Kramnik e Veselin Topalov, ocorreu uma troca de acusações de que se estava utilizando informações providas de programas analisadores de partidas. E que estes eram consultados nos

⁴⁸ *SwissPerfect* é um programa para gerenciamento de torneios de xadrez entre jogadores humanos. Ele gerencia os *ratings* e gera as tabelas de confronto. Seu site é www.swissperfect.com.

momentos em que se usavam os banheiros (CHESSBASE, 2006). Desde então a FIDE definiu diversas restrições ao uso de equipamentos de comunicação nas salas de competição, e punição aos fraudadores.

Durante o segundo campeonato mundial entre programas jogadores automáticos de xadrez, que ocorreu em Toronto, no ano de 1977, Monty Newborn afirmou *"In the past Grandmasters came to our computer tournaments to laugh. Today they come to watch. Soon they will come to learn."*⁴⁹ (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2011). Podemos afirmar que os jogadores automáticos ainda não ensinam, mas são essenciais na prática e elevação da perícia dos enxadristas. O seu poder está na análise estatística e geração de possibilidades, e na mineração de dados numa base gigantesca de partidas realizadas por humanos.

Hoje acompanhamos o surgimento da primeira geração de grandes enxadristas criada sob forte influência do uso de computadores e softwares de xadrez. O norueguês Magnus Carlsen⁵⁰, um jovem que já é um dos maiores enxadristas da atualidade, se tornou Grande Mestre com apenas 13 anos de idade. Disse não se recordar se tinha um tabuleiro convencional de xadrez em sua casa, e que o seu treino, que lhe toma de seis a oito horas diárias, é todo realizado no computador. Estima-se que ele tenha em sua memória cerca de meio milhão de jogadas possíveis, e que em alguns caso consiga analisar até 20 lances a frente em uma partida (SALVADOR, 2010).

Quase nada foi estudado sobre o impacto do uso de programas de computador no treino e aprendizagem de xadrez. Mas tomando Carlsen como referencial, aparentemente o uso intensivo deles consegue formar jogadores muito melhores em bem menos tempo.

⁴⁹ Uma tradução possível seria "No passado os Grandes Mestres vinham até os nossos torneios de computadores para rir. Hoje eles vêm para assistir. Em breve eles virão para apreender".

⁵⁰ Magnus Carlsen em setembro de 2011 era o enxadrista com o maior *rating* pela FIDE, com 2.823 pontos.

A área de Inteligência Artificial, na construção de programas de xadrez, atuou de forma intensiva na construção de jogadores automáticos, mas pouco na construção e melhoria das ferramentas de ensino do jogo. Isto faz com que dificilmente um aprendiz consiga se instruir apenas utilizando um programa, sem a tutoria de um humano. Na próxima seção iremos analisar alguns dos poucos trabalhos que procuram contribuir para reverter esta situação.

4.2 Sistemas Tutoriais Inteligentes

Os primeiros programas de computador criados para o ensino, chamados de CAI (*Computer-Assisted Instruction*), tinham apenas a preocupação de apresentar o conteúdo ao aluno, eram desenvolvidos somente com as informações referentes ao domínio do instrutor, e apresentavam o conhecimento de forma linear, influenciados pela Teoria Psicológica *Behaviorista*⁵¹ (SKINNER, 1958). Ao longo do tempo verificou-se que este método era ineficiente, e que os aprendizes poderiam responder de formas diferentes ao mesmo estímulo.

No ensino do xadrez, os programas educacionais, em sua maioria, são apenas apresentadores de conteúdos específicos, onde é feita uma prévia explanação, e depois se verifica a eficácia da aprendizagem através da resolução de um exercício, ou na competição contra jogadores artificiais. Da mesma forma que os primeiros softwares CAI, a maioria não faz nenhuma detecção do perfil do aluno, e quando a faz, esta é feita de forma incompleta. E nem acontece um acompanhamento inteligente da evolução do aprendiz no domínio ensinado. A Tabela 7 exhibe um conjunto de exemplos de programas, categorizados pela indicação de estudo.

⁵¹ *Behaviorista* é o conjunto de teorias psicológicas que definem o comportamento como o mais adequado objeto de estudo da Psicologia. O comportamento é definido por meio das unidades analíticas de respostas e estímulos.

Categoria	Exemplos de Programas
Jogadores automáticos	<i>Junior, Rybka, Hiarcs, Shredder, Chess Assistant, Chessmaster e Fritz.</i>
Estudo de Táticas	<i>Intensive Course Tactics, ABC's of Chess Middlegames, Killer Moves, Deadly Threats, School of Elementary Tactics, TacBase Chess Tactics Trainer, e CT-ART 4.0.</i>
Estudo Posicional	<i>Basic Positional Ideas, Strategy and Tactics, Right Decisions, Squares Strategy, Isolated Queen Pawn, e Check and Mate.</i>
Estudo de Aberturas	<i>ABC of Chess Openings, Winning in 20 Moves, ABC of the Ruy Lopez, ABC of the King's Indian, Giuoco Piano, e ChessBase Opening Encyclopedia.</i>
Estudo de Finais	<i>The ABC of Chess Endgames, Fritz Endgame Trainer: Pawn Endings, Fritz Technique Trainer, e Dvoretsky's Endgame Manual.</i>
Ensino básico geral	<i>Shredder Chess Tutor (1,2,3), Fritz & Chesster (1,2,3)</i>

Tabela 7 – Exemplos de programas de estudo de xadrez (LOPEZ, 2005).

Muitos destes programas se concentram em exibir tutoriais interativos, em um formato similar ao apresentado do *Fritz* (Ver Figura 21). E conforme visto anteriormente, alguns jogadores automáticos acabam incluindo também o ensino básico de alguns conceitos, o que normalmente é pouco usado, e um conjunto de ferramentas de análise e estudo de partidas (Ver seção 4.1).

Da lista de programas da Tabela 7, a proposta mais original de ensino é feita pela série *Fritz & Chesster*. Esta série de sistemas para computador é focada no público infantil, e pretende cativar a criança a aprender xadrez através do ensino de conceitos relacionados ao jogo, mas que são apresentados e verificados dentro de uma história de aventura, como em um desenho animado (CHESSBASE, 2011b). O software objetiva garantir o entretenimento aliado ao ensino, mas também peca como os demais citados, por não ter nenhum acompanhamento inteligente do aprendizado. E pela sua forma de abordagem, o seu uso é restrito a uma limitada faixa etária.

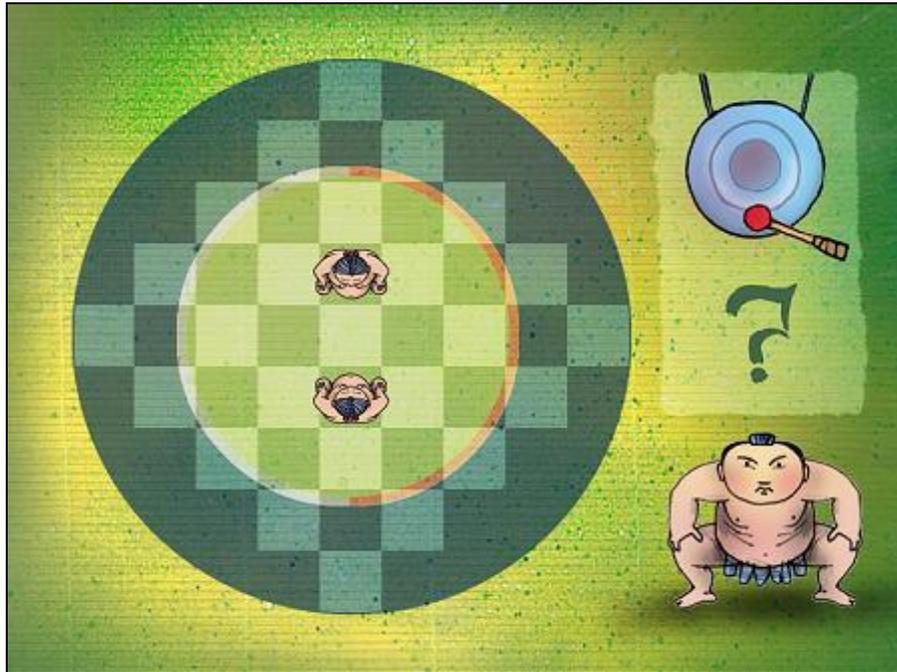


Figura 28 – Tela do jogo de ensino de xadrez *Fritz & Chesster – Part I* (CHESSBASE, 2011b).

Além da questão de falta de acompanhamento do aluno, estas ferramentas também falham por normalmente adotarem uma estratégia pedagógica única, e por não deixarem claro ao usuário de que forma o conhecimento está formalizado. O que faz com que muito do que é instruído seja feito de forma subjetiva.

Os estudantes possuem particularidades (*e.g.*, de conhecimento, comportamentais, cognitivas, *etc.*) que devem ser levadas em consideração durante a definição da estratégia a ser adotada no processo de ensino e aprendizagem. Devido a isto, foram criados os Sistemas Tutoriais Inteligentes (STI). Que buscam agregar técnicas de Inteligência Artificial para que o processo de ensino se adapte às características específicas de cada aprendiz, a cada momento durante a aprendizagem (NWANA, 1990).

Normalmente os STIs são projetados para articular os seguintes modelos (WENGER, 1987):

1. **Modelo de domínio:** Represente o conhecimento que será ensinado. Dentro de um STI típico, este conteúdo deve sofrer variação de acordo com as características, comportamento, e evolução do aprendiz.
2. **Modelo do Estudante:** Registra os aspectos que interferem no desempenho e aprendizado do aluno. Estas informações são obtidas através de diagnósticos e monitoramento do estudante.
3. **Modelo Pedagógico:** Representa as formas de comunicação e ensino do conhecimento tratado. Em um nível global essas decisões podem definir a sequência dos assuntos apresentados. Já em um nível local, pode determinar intervenções do sistema, tais como: i) guiar o aprendiz na atividade; ii) explicar o assunto relacionado a atividade; e iii) remediar um erro do aluno.
4. **Interface:** Determina de que forma a comunicação se processa no sistema. Trata aspectos como: i) qual a linguagem do estudante na interação com o sistema; ii) qual a linguagem adotada pelo especialista para registrar o conhecimento; iii) de que forma o sistema deve comunicar suas intervenções; e iv) qual a flexibilidade de interação suportada pela aplicação.

Os elementos mais importantes de um STI são o seu módulo do estudante e o pedagógico. Principalmente no que tange a ação de diagnóstico do estudante, e adaptação da estratégia de ensino. E para alcançar o seu objetivo de transmitir conhecimento, o desenvolvimento destes sistemas se torna uma tarefa multidisciplinar, envolvendo várias áreas do conhecimento humano,

tais como: Epistemologia⁵², Psicologia, Inteligência Artificial, Linguística, Antropologia, e Interação Homen-Máquina. E faz com que o projeto destas aplicações seja difícil, demorado, e custoso (WENGER, 1987).

Analisaremos a seguir os principais casos de pesquisas no desenvolvimento de Tutores Inteligentes para o ensino de xadrez. Nesta próxima seção apenas as ferramentas para uso individual pelo aprendiz, e na seção 5.1 as voltadas para comunidades virtuais, onde a colaboração entre aprendizes se torna fator fundamental para a aprendizagem.

4.2.1 Ensino de finalizações de xadrez

No trabalho de Gadwal *et al.* (1991) é apresentado o programa de ensino de finalizações de xadrez do tipo Bispo-peão chamado UMRAO. Este sistema tutorial inteligente auxilia um indivíduo a aprender esta tática específica de jogo. A solução foi restrita a determinação da vitória das peças brancas, quando a configuração das mesmas inclui dois peões contra um Bispo do adversário. E devido ao custo computacional de tempo de processamento, o tutor foi limitado a contextos de partida onde a quantidade de peças é bem pequena, e o fim do jogo está próximo (GADWAL *et al.*, 1993).

Nesta solução existem dois módulos específicos, o módulo Tutor, que é utilizado pelo aprendiz, e o módulo Especialista, que é utilizado pelo criador do conteúdo educacional (neste caso, um bom enxadrista).

⁵² Epistemologia é o ramo da Filosofia que estuda a origem, a estrutura, os métodos, e a validade do conhecimento.

O módulo Tutor utiliza planos estratégicos (estaticamente codificados pelo especialista), e planos táticos (dinamicamente gerados), para auxiliar o estudante. A Figura 29 apresenta a arquitetura geral desta solução (GADWAL *et al.*, 1993).

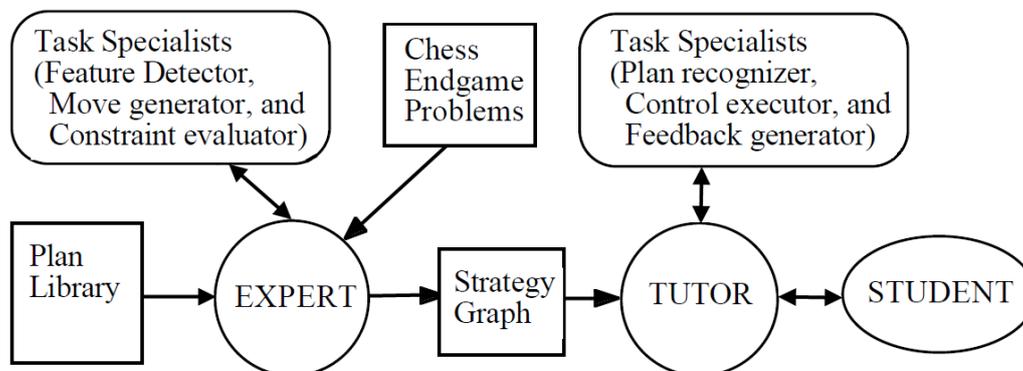


Figura 29 – Arquitetura do tutor UMRAO (GADWAL *et al.*, 1993).

Os planos estratégicos são compostos de objetos de planejamento (planos) de jogadas plausíveis. Cada objeto possui propriedades tais como: qual lado se vai jogar; tipo do plano (se é para um especialista ou iniciante); aplicabilidade; factibilidade; melhores metas; metas alternativas; restrições; dentre outras. E cada propriedade é definida como um conjunto de características presentes numa dada situação de tabuleiro, e pode incluir referências a outros planos previamente definidos.

A Figura 30 apresenta como exemplo dois planos criados no UMRAO, um para um aprendiz iniciante, e outro para um aprendiz experiente, para uma determinada situação de jogo.

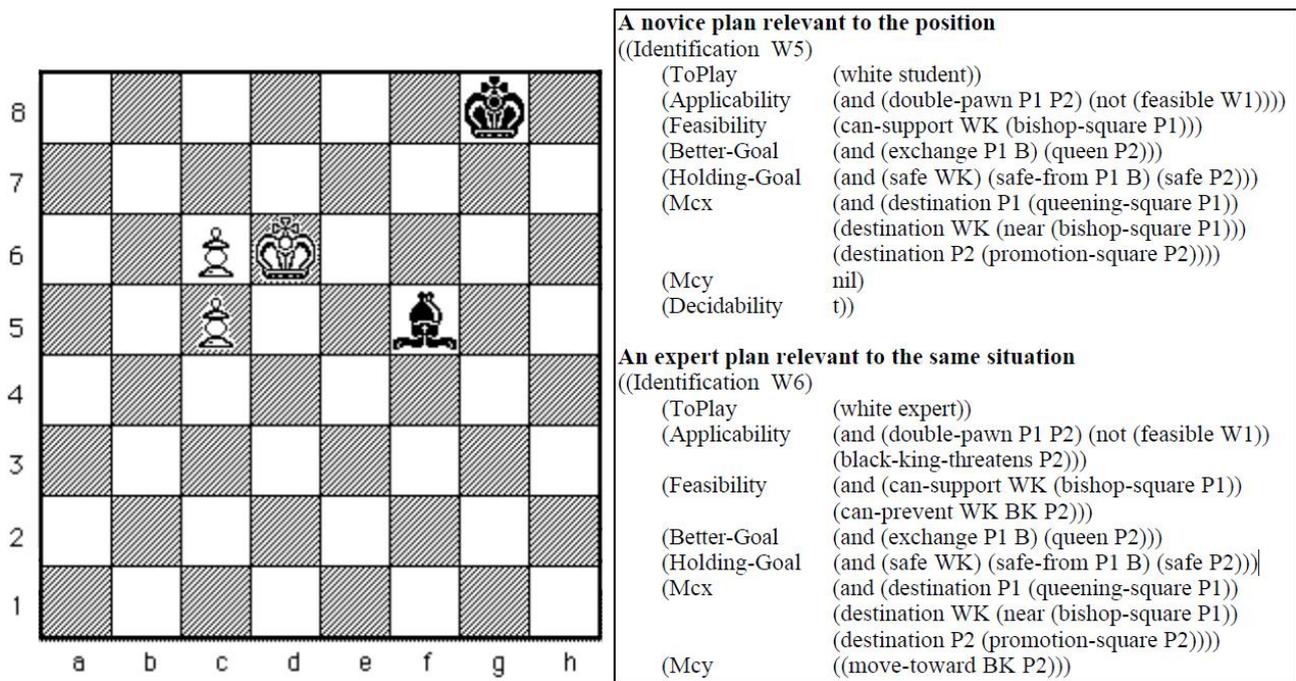


Figura 30 – Exemplo de plano do UMRAO para uma posição (GADWAL *et al.*, 1993).

O módulo especialista é usado pelo criador do conteúdo de ensino e produz um grafo de estratégias com todos os possíveis movimentos, justificados pelos planos armazenados, e que combinam com a configuração do tabuleiro em cada movimento. Este grafo é criado recursivamente a partir do tabuleiro inicial, e das informações registradas nas bibliotecas de planos do perito e do aprendiz, em uma linguagem especial (GADWAL *et al.*, 1993).

O aprendiz através da ferramenta Tutor é incitado a demonstrar que as peças brancas jogam e ganham a partida. Neste caso com a promoção⁵³ de um dos peões. As ações do aluno são acompanhadas e avisos automáticos são gerados quando ele comete desvios em relação aos objetivos propostos, ou comete erros. E o sistema também fornece dicas de jogadas ao aluno,

⁵³ Promoção de um Peão é quando ele chega à última casa do tabuleiro, e torna-se uma Torre, Cavalo, Bispo, ou Dama.

adequadas a cada situação. Esta abordagem é chamada de *model-tracing*⁵⁴ (ANDERSON *et al.*, 1995). A Figura 31 apresenta a tela do tutor apresentando uma dica para o usuário.

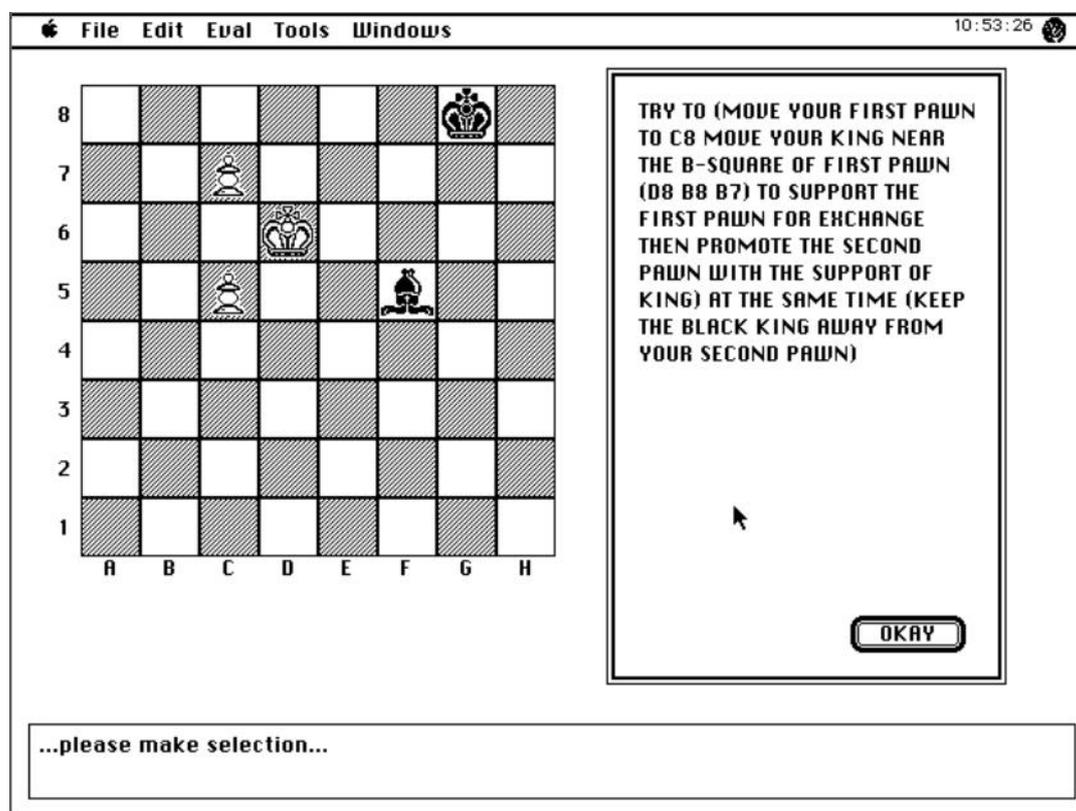


Figura 31 – Tela de módulo Tutor do UMRAO (GADWAL *et al.*, 1993).

O aluno pode definir o nível de retorno que o tutor oferecerá a ele dentre estas opções: i) ele pode jogar sem nenhuma ajuda; ii) ele pode solicitar uma dica; iii) ele pode pedir uma detalhada descrição do problema; iv) ele pode requisitar que o tutor apresente uma estratégia vencedora, ou v) que ele retorna ao último ponto, onde ainda é possível adotar um plano que leve a vitória.

Vale ressaltar que os planos e estratégias definidos pelo especialista não estão disponíveis ao aprendiz, nem para consulta, muito menos para serem modificados. E que a constatação do

⁵⁴ *Model-tracing* é uma categoria de tutores inteligentes onde o sistema acompanha o progresso do aprendiz, e os mantém (conduz) dentro de uma tolerância especificada de uma solução aceitável.

conhecimento aprendido é feita apenas pela análise das escolhas de jogadas realizadas, em nenhum momento o aluno é convidado a ele mesmo formalizar os seus planos de solução para o problema.

Atualmente, muito das capacidades de fornecimento de dicas e de explicação de planos de jogo que o UMRAO tem, também existem nos melhores jogadores automáticos de xadrez comerciais (Ver seção 4.1). Só que estes programas pouco se preocupam em mudar de forma efetiva a estratégia de ensino de tais táticas, de acordo com as características e o nível de conhecimento do usuário.

4.2.2 Ensino de táticas de meio de jogo

O trabalho de Lazzeri e Heller (1996) propõe o tutor inteligente ICONCHESS (*Interactive CONsultant for CHESS Middlegames*) para ensino de táticas de meio de jogo do xadrez. Em contraponto as soluções anteriores, esta se apoiou em adotar fatores levantados pelos estudos da psicologia cognitiva neste domínio, como a importância do reconhecimento de padrões inexatos (DE GROOT, 1946), e do uso de conhecimento de alto nível (COOKE *et al.*, 1993). E para lidar com estas questões ele utilizou as técnicas de Raciocínio Baseado em Casos⁵⁵, e o uso de Lógica *Fuzzy*⁵⁶. Técnicas estas já utilizadas com sucesso na área de Inteligência Artificial para a construção de ambientes de ensino.

O ICONCHESS realiza as seguintes tarefas: i) Analisa uma posição de partida e extrai as características relevantes. Esta verificação é centrada nas particularidades do meio de jogo, e

⁵⁵ Raciocínio Baseado em Casos (*CBR - Case-Based Reasoning*) é uma abordagem que busca solucionar novos problemas através da adaptação de soluções de problemas similares (SCHANK, 1989).

⁵⁶ Lógica *Fuzzy* (difusa) é uma extensão da lógica booleana que trabalha com valores intermediários entre 0 (Falso) e 1 (Verdadeiro). O que permite trabalhar com incertezas e fazer inferências (SCHANK *et al.*, 1994).

objetiva gerar análises que beneficiem enxadristas de nível intermediário; ii) Avalia uma posição do xadrez e sugere possíveis estratégias para cada lado de acordo com as características desta situação; iii) Recupera posições similares da base de conhecimento para obter conselhos adicionais; iv) Apresenta a análise feita ao jogador utilizando uma abordagem gráfica, destacando relevantes casas do tabuleiro em um diagrama, ou através de uma breve explicação textual sobre as mais relevantes particularidades encontradas (LAZZERI & HELLER, 1996).

O sistema possui dois módulos, um Especialista, usado para compilar todo o conhecimento relevante de determinada situação de jogo, e o módulo de Consulta (Tutor), usado para apresentar estas informações ao aprendiz da forma mais apropriada. Diversas bases de conhecimento são utilizadas para gerar as análises, e estas bases são de diferentes formatos, tais como: base de casos, base de regras, e tabelas *Fuzzy*. A Figura 32 representa este fluxo da informação.

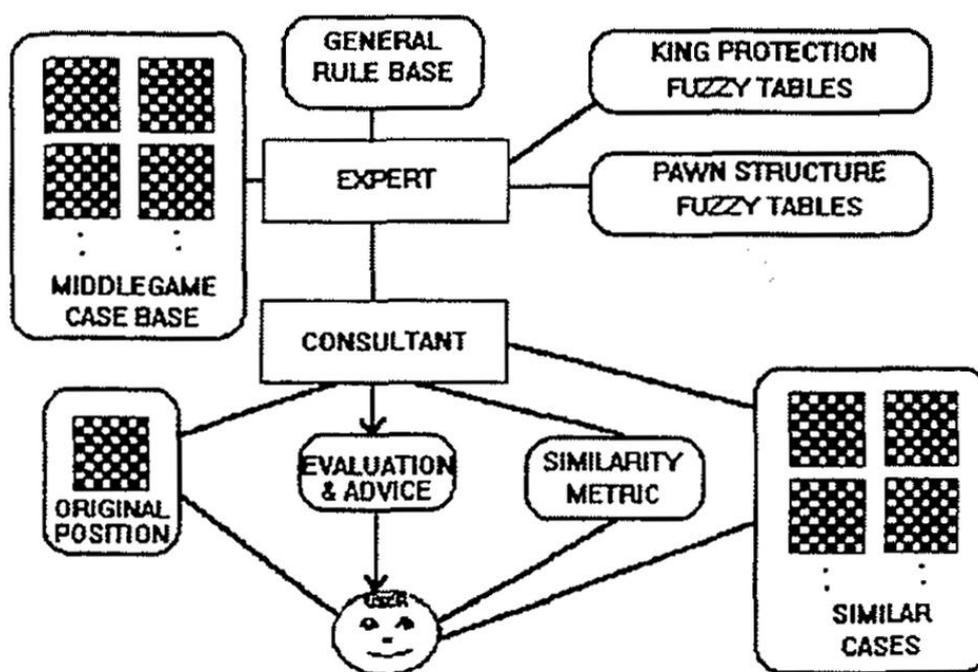


Figura 32 – Fluxo da informação no tutor ICONCHESS (LAZZERI & HELLER, 1996).

Nas tabelas *Fuzzy* estão armazenados padrões definidos das mais comuns estruturas de peões encontradas no meio do jogo. O uso da técnica *Fuzzy* permite verificar o quanto uma posição está próxima de uma estrutura pré-definida, e assim encontra-se o caso com maior similaridade na base.

No início da utilização do programa o usuário entra com a situação de partida a ser estudada. Requisita a análise do módulo especialista, e então é feita a avaliação da posição e o cálculo de similaridade, e estes são retornados ao aprendiz. Após isto, o estudante pode requisitar explicações mais detalhadas para auxiliá-lo na compreensão da informação apresentada. Além de manter ou modificar as características sugeridas de similaridade, e a partir delas obter uma lista de situações de partida com os mesmos fatores, e que estão na base de casos (LAZZERI & HELLER, 1996).

Uma vez recuperado um conjunto de situações de partidas semelhantes, o aprendiz pode estudá-las, e aplicar a cada uma delas as mesmas ações que foram aplicadas a posição inicial apresentada por ele. Pode consultar as explicações geradas para cada caso, e as sugestões de jogadas recomendadas pela ferramenta (LAZZERI & HELLER, 1996).

Como o foco da aplicação são as posições de meio de jogo, quatro fatores diferentes são usados na avaliação do tabuleiro: i) material; ii) estrutura de peões; iii) proteção do Rei; e iv) influência. Estes elementos são usados para encontrar as situações similares na base. O fator material indica a força de cada jogador, e permite verificar o quanto a partida está perto do fim ou da abertura. A estrutura de peões é utilizada para determinar o tipo de abertura usado, e consiste no primeiro passo na tentativa de encontrar os objetivos estratégicos de cada jogador. E três diferentes informações compõem a avaliação da proteção do Rei: a) se o Roque⁵⁷ já foi feito ou não; b) a proteção por peões; e c) a força defensiva e de ataque das peças diretamente relacionadas à posição do Rei (LAZZERI & HELLER, 1996).

⁵⁷ Roque é uma jogada especial do xadrez que envolve o Rei e uma Torre. Sua função é proteger o Rei.

Estas características são usadas para indexar a tabela com as informações de fraquezas de cada situação de tabuleiro. E por fim, a Influência é usada para determinar o impacto das peças rápidas (Rainha, Torres, Bispos e Cavalos) em diferentes partes do tabuleiro, o que fornece a relação de forças existentes. Influência faz referência ao conceito de mobilidade do xadrez (LAZZERI & HELLER, 1996).

Nos testes realizados com esta ferramenta, o pesquisador identificou que os aprendizes de xadrez de nível iniciante e intermediário foram capazes de compreender através do uso do ICONCHESS vários conceitos do jogo, como a importância da mobilidade das peças, e a similaridade entre arranjos no tabuleiro. Por outro lado, jogadores mais experientes não perceberam nenhum importante ganho em usar o sistema. Com a falta de módulo do estudante bem definido, a aplicação não se adaptava ao conhecimento prévio do usuário (LAZZERI & HELLER, 1996).

4.2.3 Ensino de conceitos visuais

Conforme visto na seção 2.3, o trabalho de Lesgold (1984) identificou que um enxadrista especialista possui uma perícia no reconhecimento de padrões visuais do xadrez. Que o habilitam a identificar, associar, e classificar, situações de tabuleiro de forma rápida e eficiente. E através desta capacidade, o jogador consegue aumentar o seu repertório de situações de jogo (Ver seção 2.2.2).

Posteriormente, Lesgold relacionou as semelhanças entre o desenvolvimento da perícia de um radiologista em analisar uma imagem clínica, com a de um enxadrista se aperfeiçoando em interpretar uma posição de partida (LESGOLD *et al.*, 1989). E nestas duas áreas não existiam até então ferramentas inteligentes de ensino e capacitação em perícias visuais.

A primeira pesquisa a surgir com esta ênfase foi na área de radiologia, no trabalho de Direne (1993), onde é apresentado o sistema de ensino RUI (*Representations for Understanding Images*). E em decorrência deste estudo, foi proposto no trabalho de Schäfer (2000) um conjunto de conceitos e ferramentas, para a construção de sistemas tutoriais inteligentes para o ensino de conceitos visuais do xadrez.

Schäfer apresentou o SAEX (Sistema de Apoio ao Ensino de Xadrez), que consiste de um conjunto de ferramentas criadas para apoiar o desenvolvimento da capacidade do aprendiz em classificar imagens, identificando características e anomalias de jogo.

O ambiente é composto de uma ferramenta genérica (*shell*⁵⁸) de ensino, e de duas ferramentas genéricas de autoria. Estes módulos permitem o treinamento de estudantes para avaliar, e descrever situações de partida de forma sistemática. E também a autoria de estratégias pedagógicas apropriadas. Especialmente quando as posições de jogo a serem identificadas podem ser facilmente confundidas com outras, que requerem abordagens diferentes. E as ferramentas disponibilizam ao aprendiz um vasto conjunto de exemplos de posições, categorizadas em grupos de características visuais semelhantes (SCHÄFER, 2000).

O sistema é dividido em três níveis, sendo que os dois primeiros são destinados à autoria, e são chamados de Nível Conceitual e Nível de Produção. E o terceiro, chamado de Nível Instrucional, é dedicado ao ensino dos conceitos. A etapa de autoria foi dividida em dois níveis para permitir que o ambiente seja manipulado por dois tipos de autores: i) um especialista no domínio do jogo (*i.e.*, um bom enxadrista); e ii) um especialista pedagógico (*e.g.*, um professor apto a ensinar xadrez).

⁵⁸ *Shell* é um programa independente que intermédia a comunicação entre o usuário e o sistema principal.

Já o Nível Instrucional permite que o aprendiz assimile os conceitos criados pelo especialista através de uma ferramenta composta de duas interfaces: i) uma interface passiva, na qual o sistema oferece uma instrução formal sobre o tema; e ii) uma interface ativa, onde a ferramenta mediante o método pedagógico da descoberta-guiada (*guided-discovery learning*⁵⁹), permite ao aprendiz uma livre exploração da base de arranjos e casos do SAEX, e depois de um caso selecionado, o aprendiz deverá escolher o lance a ser realizado, de acordo com a teoria cobrada sobre o problema (SCHÄFER, 2000). A Figura 33 apresenta a ferramenta do Nível Instrucional do SAEX, com suas duas interfaces.

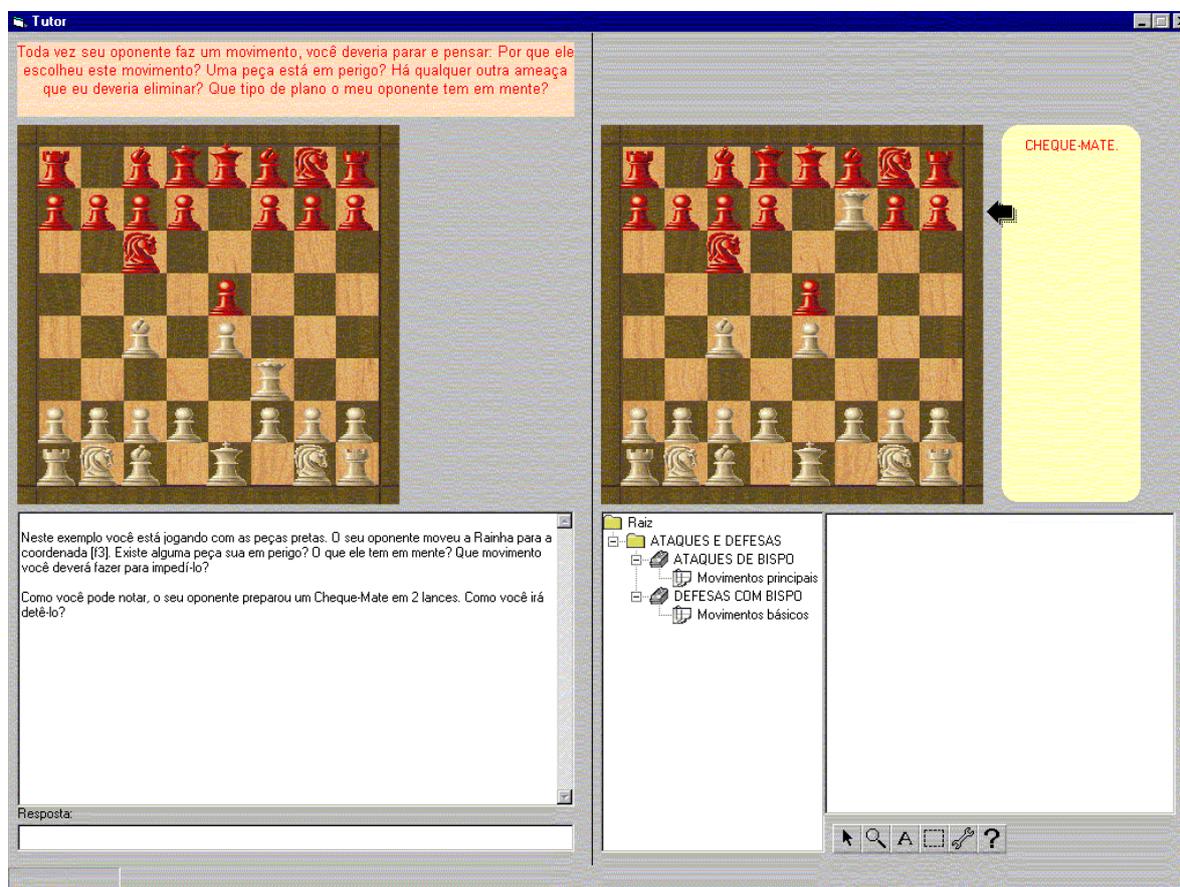


Figura 33 – Ferramenta do Nível Instrucional do SAEX (SCHÄFER, 2000).

⁵⁹ “*Guided-discovery learning*” é uma estratégia de ensino onde os objetivos de cada passo da aprendizagem são fixados. O aprendiz é livre para explorar métodos, mas com guia e ajuda em cada estágio (GAGNÉ, 1985).

Este sistema não possui um modelo de aprendiz, e o seu modelo tutorial não é bem evoluído, por isto ele não é considerado um sistema tutorial inteligente forte. A condução do ensino de conceitos visuais nele não é realizada de forma aprofundada. Falta a este sistema mecanismos de representação e tratamento visual de situações de tabuleiro, que permitissem indicar quais tabuleiros são semelhantes para o desenvolvimento de certas habilidades de jogo. Sua linguagem, e principalmente sua ferramenta de autoria não foram suficientemente desenvolvidas, como a do sistema RUI (HARTMANN, 2005). A Figura 34 apresenta uma das telas de autoria do ambiente SAEX.

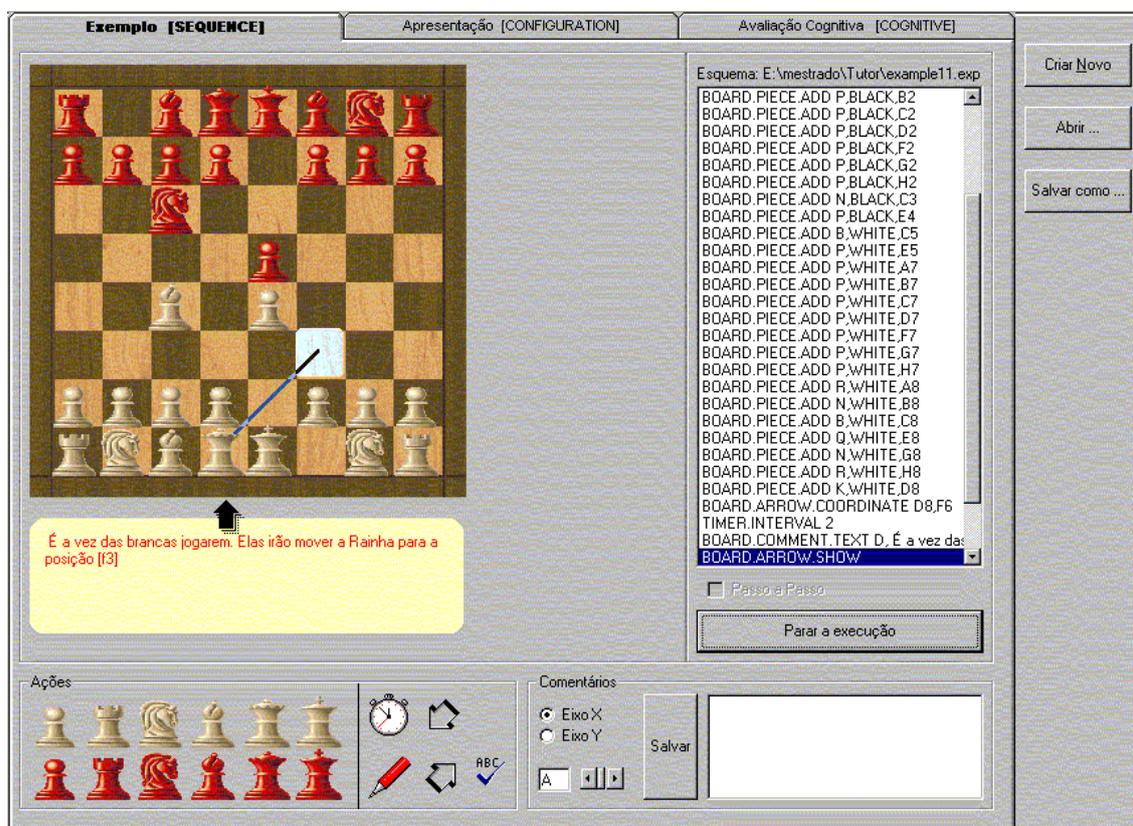


Figura 34 – Construtor de casos de estudo do SAEX (SCHÄFER, 2000).

A partir deste primeiro trabalho no ensino de perícia em xadrez, foi proposto por Direne *et al.* (2004) o PROTEX (Projeto de Tipificação do Ensino de Xadrez). Esta iniciativa de pesquisa visa utilizar o estado da arte de tecnologia educacional baseada em *software livre*, e suas áreas associadas (principalmente Psicologia Cognitiva e a Inteligência Artificial), para elevar a qualidade do ensino de xadrez nas escolas públicas brasileiras. Este projeto foi criado em parceria com o CEX⁶⁰ (Centro de Excelência de Xadrez).

O PROTEX fomenta a concepção e o desenvolvimento de ferramentas que permitam: i) a autoria de material de ensino; ii) a aquisição de diferentes capacidades de jogo por meio da tipificação⁶¹ do ensino de xadrez; e iii) a aprendizagem por experimentação, colaboração, e competição de parâmetros heurísticos do jogo (DIRENE *et al.*, 2004). O trabalho deste doutorado também está inserido neste projeto (Ver seção 1.4).

Continuando o trabalho iniciado por Schäfer, Celso Hartmann em 2005 evolui a proposta de ferramentas de autoria para sistemas tutoriais inteligentes de ensino pericial de xadrez, e apresentou o *brkChess*⁶² (HARTMANN *et al.*, 2005).

Esta ferramenta permite que um professor de xadrez realize a criação do seu material de ensino com o auxílio de um motor (*engine*) inteligente. Como caso de teste, foi feita uma aplicação para apoiar o ensino e a aprendizagem do reconhecimento de harmonia de peças no tabuleiro.

Segundo grandes enxadristas entrevistados, o conceito pericial de detecção da “harmonia de peões” está intimamente ligado ao ensino posicional do xadrez, que ocorre logo após o aprendiz ter adquirido os conceitos básicos do jogo (*i.e.*, movimentação de peças no tabuleiro, abertura, e finalização) (HARTMANN *et al.*, 2005).

⁶⁰ CEX – Centro de Excelência de xadrez, seu site é www.cex.org.br.

⁶¹ Tipificação neste contexto se refere a especificar claramente os aspectos que serão ensinados, e tratá-los de forma específica.

⁶² *brkChess*, br vem de Brasil, K vem da interface gráfica KDE, e *Chess* significa xadrez.

Primeiramente foi formalizado o que caracterizaria o conceito de harmonia de peões. Que no caso, é uma típica estrutura de peças posicionadas em determinado arranjo, e que garantem certa relação entre as mesmas. E que esta harmonia, pode ser estática ou dinâmica. A estática é quando se analisa apenas um momento de uma partida, e a dinâmica é quando se acompanha a movimentação das peças por um período de tempo do jogo (HARTMANN *et al.*, 2005). A Figura 35 apresenta um exemplo de harmonia de peões estática.

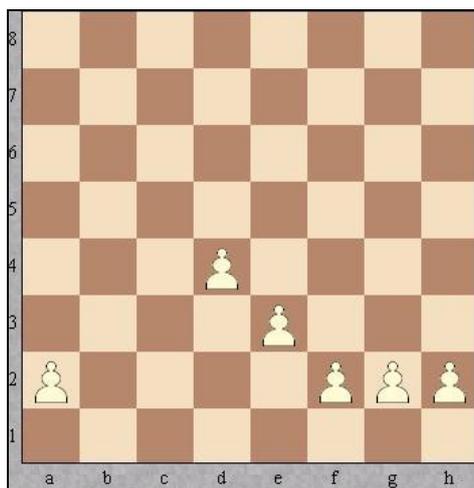


Figura 35 – Exemplo de harmonia de peões no xadrez (HARTMANN, 2005).

Os programas educativos quase sempre não possuem uma linguagem de autoria a eles associado, no projeto desta ferramenta optou-se por estender a linguagem PGN⁶³ (*Portable Game Notation*) permitindo o seu uso em ambiente gráfico. O que atende a usuários iniciantes, e mantendo ainda a possibilidade de edição textual do conteúdo, o que atende os experientes.

⁶³ PGN (*Portable Game Notation*) é um formato de arquivo criado para o registro de partidas de xadrez. Ele foi estruturado para fácil leitura e escrita por humanos, e fácil geração e processamento digital (EDWARDS, 1994).

No primeiro nível de autoria, a **Ferramenta de Configuração de Perícias** permite ao autor:

i) determinar quais bases em PGN serão usadas; ii) configurar os parâmetros de ajuste do processamento do conjunto de partidas, tais como a velocidade de convergência, e a acuracidade dos resultados; e iii) definir o gabarito típico que será usado como exemplo de harmonia a ser procurado na base.

De posse desta entrada inicial, o sistema utiliza uma rede neural pesquisando os jogos com harmonia semelhante na base de dados PGN. Isto evita todo o trabalho manual de busca e seleção de casos similares pelo especialista do domínio. Esta tarefa é realizada por um motor inteligente que utiliza o algoritmo de aprendizagem de Kohonen⁶⁴ (HARTMANN *et al.*, 2005).

No segundo nível de autoria, na **Ferramenta de Anotação Complementar**, o autor pode escolher dentre os tabuleiros classificados E estabelecer parâmetros de ensino, escrever questionamentos, e fazer explanações.

No nível instrucional, o aprendiz pode abrir os exemplos de harmonias previamente editados pelo instrutor. E ao abrir um exemplo, ele acessa o conteúdo criado e as tarefas de aprendizagem definidas.

A Ferramenta de Configuração de Perícias e a Ferramenta de Anotação Complementar formam a camada de autoria do *brkChess*, e estão inter-relacionadas. A primeira que está no nível conceitual é usada pelo professor para criar um gabarito harmônico típico. A segunda, que está no nível de produção, é usada para criar o material de estudo e aprendizagem. E a terceira, é usada apenas pelo aluno. A Figura 36 apresenta a relação funcional existente entre estes três níveis.

⁶⁴ Algoritmo de Kohonen é recomendado para problemas onde os padrões são desconhecidos ou imprecisos. Ele é capaz de diminuir a dimensão de um grupo de dados, mantendo a representação real em relação às principais características dos parâmetros de seleção (KOHONEN, 2001).

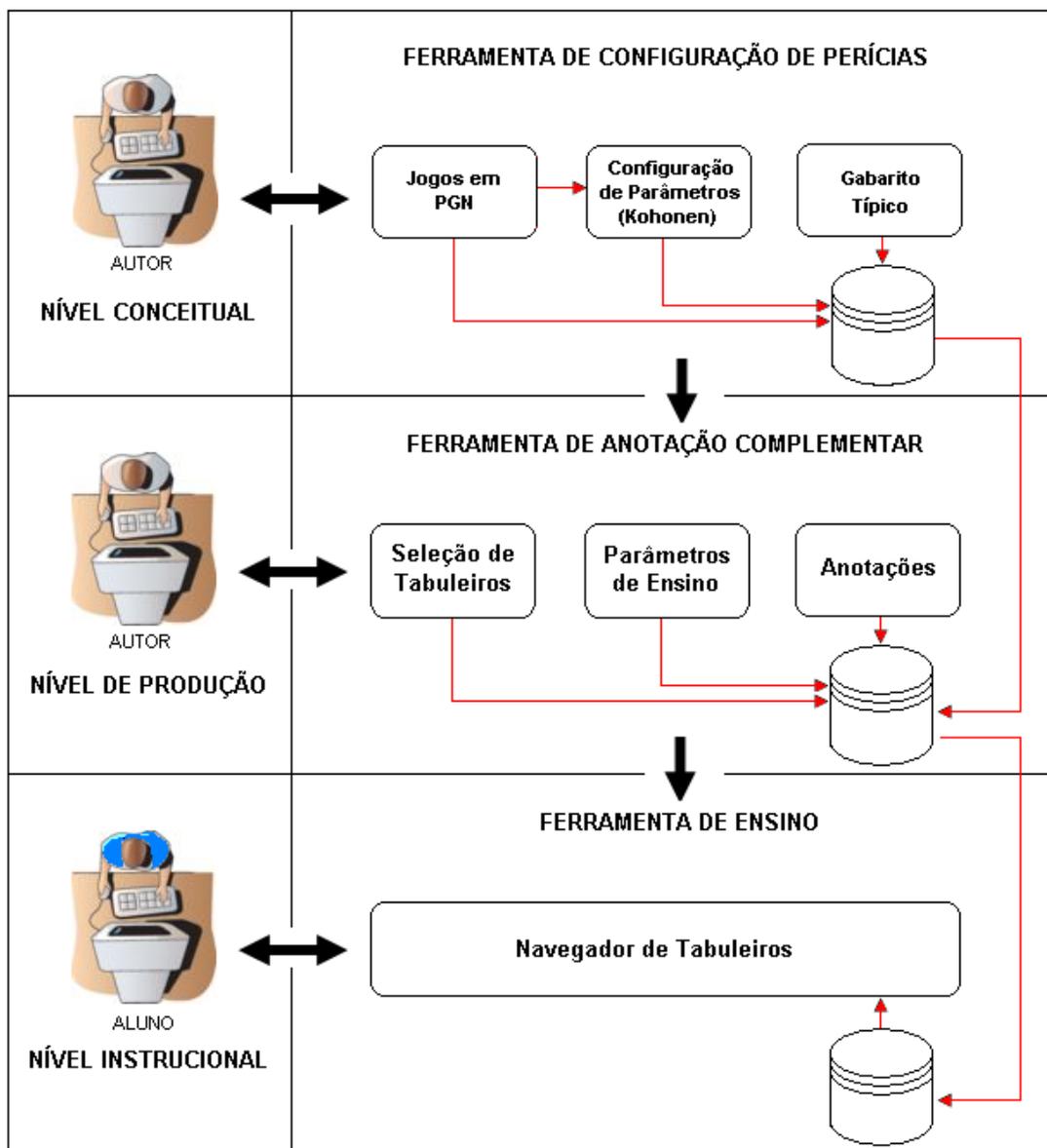


Figura 36 – Arquitetura funcional do *brkChess* .

O SAEX, e principalmente o *brkChess* permitem trabalhar conceitos periciais visuais de xadrez com os aprendizes. Constituindo-se neste quesito como trabalhos inovadores no ensino de jogos. Mas ambos carecem de mecanismos que permitam averiguar se estes conceitos estão sendo realmente utilizados pelo aluno no momento das partidas. E a adaptação do conteúdo ao nível do aprendiz não é feita de forma automatizada, cabendo ao instrutor realizar esta tarefa.

4.2.4 Abordagens diferentes de interação

Alguns trabalhos procuram conjugar novas maneiras de interação entre o aprendiz e o sistema tutorial inteligente. Dentre estes, o desenvolvimento de agentes pedagógicos animados (robóticos) para ambientes de aprendizagem possibilita uma maior adaptação do processo de ensino, as características e estados emocionais do aluno (LESTER *et al.*, 1997).

Entre os humanos a capacidade de compreender e responder de forma apropriada ao estado afetivo do outro é comumente chamado de empatia (HOFFMAN, 2001). E muitos teóricos afirmam que a empatia facilita a criação e o desenvolvimento de relações sociais (ANDERSON & KELTNER, 2002). Uma positiva relação entre o instrutor e o aprendiz aumenta a confiança do aluno, a cooperação, e a motivação durante o processo de aprendizagem. Por estas razões, a empatia é frequentemente associada a um ensino efetivo (LEITE *et al.*, 2011).

Um exemplo destes agentes é o *iCat* (van BREEMEN, 2005), que consiste em um robô com aparência de gato que joga xadrez com crianças. A cada lance do aprendiz o robô retorna expressões faciais indicando o seu estado emocional em relação à partida. A Figura 37 o apresenta.



Figura 37 – Crianças jogando contra o *iCat*.

Foto 1: (CASTELLANO *et al.*, 2009) e Foto 2: (LEITE *et al.*, 2011).

Num primeiro estudo constatou-se que esta abordagem aumentava a percepção da criança em relação à situação atual da partida (LEITE *et al.*, 2008). Contudo, em estudos posteriores, percebeu-se que após várias interações com a criança, elas começavam a perceber que o robô não levava em consideração o estado afetivo da própria criança, e isto prejudica a interação entre ambos (LEITE *et al.*, 2009).

Devido a isto, o *iCat* foi adaptado para identificar o estado emocional da criança, e além da situação de partida, levar isto em consideração na hora de expressar o seu estado emotivo. Com esta abordagem a relação entre instrutor e aprendiz se mostrou mais satisfatória (LEITE *et al.*, 2011). A Figura 38 apresenta a arquitetura do agente robótico.

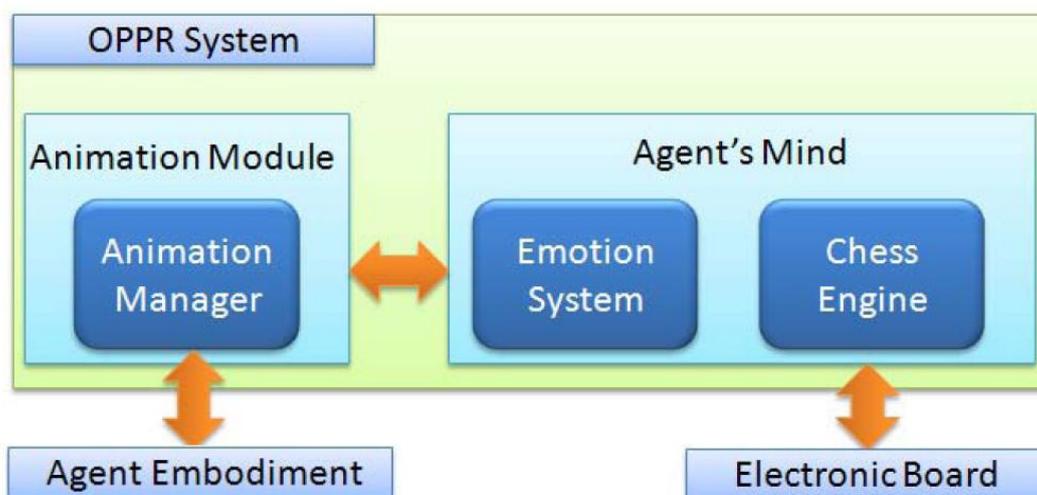


Figura 38 – Arquitetura de agente robótico de ensino *iCAT* (PEREIRA A. *et al.*, 2008).

No trabalho de (DA SILVA, 2011) foi realizada uma pesquisa com um grupo de jogadores de xadrez, e perguntados sobre a preferência em jogar no computador, ou em um tabuleiro real, 96% afirmaram escolher a segunda opção. Mesmo com toda a tecnologia embarcada nos sistemas computacionais atuais, ainda existe um longo caminho a se percorrer até chegar minimamente próximo da interação proporcionada por uma experiência presencial.

4.3 Discussão final sobre o capítulo

Constatamos que o tipo de programa mais utilizado para o ensino e aprendizagem do xadrez são os jogadores automáticos. Mas que estes são majoritariamente utilizados apenas para a prática através da competição. A exceção é o seu uso para a análise de jogadas e partidas, feita somente pelos enxadristas experientes. Por mais que atualmente incluam ferramentas básicas de estudo, elas não fornecem o acompanhamento e adaptação necessária ao aprendiz. Devido a isto, não são eficazes para um primeiro contato do aluno com o jogo.

Na área comercial existem diversas aplicações direcionadas à aprendizagem de xadrez, mas estas são voltadas em sua maioria ao aperfeiçoamento de jogadores de nível médio ou superior. As poucas centradas nos iniciantes, também se mostram ineficazes, pelas mesmas razões dos jogadores automáticos.

Já a criação de Sistemas Inteligentes de Ensino de xadrez foi pouco explorada pela academia. Os primeiros trabalhos propostos optaram pelo aprendizado individual, e trataram somente de domínios específicos. Estes avançaram na formalização do conhecimento do jogo, e nas abordagens de ensino de algumas perícias. Mas incorporaram pouco ou nenhuma inteligência no acompanhamento do processo de aprendizagem. O que limita suas aplicações.

No ensino tradicional do xadrez a análise de partidas (*Postmortem*) é fundamental (Ver seção 2.1). Pelo fato de que nesta tarefa o aprendiz é incitado pelo instrutor a explicar a sua compreensão do conhecimento enxadrístico que foi utilizado em determinado momento. Desta forma, a instrução pode ser orientada as deficiências do aluno. Nenhuma das soluções aqui citadas convida o estudante a fazer esta formalização. Quando ela existe, quem a faz é o especialista.

CAPÍTULO 5

APRENDIZAGEM COLABORATIVA APOIADA POR SOFTWARE

As primeiras pesquisas na construção de programas de apoio ao ensino de xadrez basicamente se apoiavam na atividade individual do aprendiz (Ver capítulo 4). Mas, com a criação e popularização das comunidades virtuais de usuários, o desenvolvimento destas ferramentas também se concentrou no uso da rede internet⁶⁵.

Atualmente os ambientes virtuais de ensino priorizam atividades de convivência e colaboração entre os usuários. E esta abordagem tem se mostrado bastante satisfatória.

Estas ferramentas educacionais são uma evolução das apresentadas no capítulo anterior, e podem integrar técnicas inteligentes de gerenciamento, adaptação, e condução do processo de ensino. Neste caso, estes sistemas também são considerados Tutores Inteligentes (Ver seção 4.2).

Para concluirmos a crítica já iniciada aos programas de apoio ao ensino de xadrez, neste capítulo analisaremos na seção 5.1 o impacto do uso da rede internet na popularização e ensino do jogo. Na seção 5.2 veremos as comunidades virtuais com ênfase à competição. Na seção 5.3, os casos e ambientes virtuais que propiciam a colaboração entre os usuários. Na seção 5.4, a proposta de alternância entre colaboração e competição durante o processo de ensino. E finalmente na seção 5.5, concluimos com a discussão final sobre os temas aqui apresentados.

⁶⁵ Internet (rede mundial de computadores) foi criada a partir de um projeto militar americano, e se tornou de acesso público naquele país em 1989, e no Brasil em 1995.

5.1 A importância da internet na popularização do xadrez

Robert James Fischer, quando criança no início da década de 1950, não conseguia encontrar adversários para praticar seu jogo predileto, o xadrez. Sua mãe, vendo a aflição do filho colocou um anúncio em um jornal local de Nova York, em busca de possíveis parceiros. Atualmente conhecido como Bobby Fischer⁶⁶, se tornou um dos mais famosos enxadristas da atualidade, e o único norte-americano campeão mundial de xadrez pela FIDE até o momento (MORAN, 1972).

Naquela época, morar em um grande centro, e próximo a clubes de xadrez tradicionais eram fundamentais para o desenvolvimento dos melhores jogadores. Fischer pode treinar com vários mestres em clubes como o *Brooklyn Chess Club*, *Manhattan Chess Club*, e *Marshall Chess Club*.

Após meio século, milhões de amadores em todo mundo se desafiam através da rede internet. Não existem mais problemas em se encontrar parceiros dos mais diversos níveis, e pode-se jogar a qualquer hora, e de diversas maneiras. E além do confronto contra humanos, existe ainda a possibilidade de se enfrentar programas jogadores automáticos, que simulam diversas intensidades de força, e estilos de jogo (Ver seção 4.1). Tudo isto contribui para a aprendizagem, treino, e aperfeiçoamento dos enxadristas. E para a popularização do xadrez (PEREIRA K. *et al.*, 2008).

O uso da internet permite além de jogar remotamente, que se acompanhem importantes partidas de xadrez ao vivo (*online*), dos mais variados torneios realizados pelo mundo. O primeiro momento relevante do xadrez na rede foi o segundo confronto entre *Deep Blue* e Gary Kasparov, que a IBM transmitiu pela internet. Na ocasião, o site da empresa (www.chess.ibm.com) atraiu mais de 4 milhões de usuários de 106 países, durante os nove dias do desafio. No dia da sexta partida o

⁶⁶ *Bobby Fischer* nasceu em 1943 em Chicago, naturalizou-se islandês, e foi campeão mundial de xadrez em 1972. Em um torneio de 1956, aos treze anos, jogou a que ficou conhecida como a "Partida do Século". Onde venceu o Grande Mestre Donald Byrne com 100% de aproveitamento, e desempenho de *rating* acima de 3.000 (BRADY, 2011).

site registrou 8,9 milhões de acessos, num total de 420.000 usuários. Á época estes números eram comparáveis aos grandes eventos acompanhados pela Web⁶⁷, como o *Super Bowl*⁶⁸, o Oscar, e as olimpíadas de Atlanta. Estes outros eventos também eram transmitidos pela televisão, o que fez deste confronto de xadrez o primeiro evento importante em que a internet foi à principal mídia de cobertura. A própria natureza do jogo: lento, pensativo, e cauteloso, pode ser sentida através da rede (McGREW, 1997).

Para o enxadrista búlgaro Ivan Cheparinov, a internet é a mídia que tem feito o xadrez popular. E para ele, o xadrez deve ser para todos, e esta rede é a única opção para globalizá-lo (MTELMASTERS, 2007). Já para o atual campeão mundial de xadrez, o indiano Viswanathan Anand⁶⁹, o xadrez pode se beneficiar imensamente do desenvolvimento tecnológico, pois já ocorre um crescimento vertiginoso de atividades na internet. E para ele, o potencial de uso da rede ainda não foi totalmente aproveitado, e se está apenas no início deste processo (SPORTSTARS, 2007).

A informática também contribui neste processo de expansão do xadrez fornecendo diversas ferramentas computacionais que auxiliam na gestão de informações e conhecimentos técnicos, e no treinamento e aprendizagem. E uma das características que possibilita o desenvolvimento e disseminação do jogo, superando fronteiras culturais e linguísticas, é a possibilidade do registro detalhado das partidas (PEREIRA K. *et al.*, 2008).

A criação destes registros se intensificou nos últimos 200 anos. E durante este período, a forma de gerir tais informações evoluiu desde os mais simples cadernos de notas, passando por

⁶⁷ Web vem de *www* que significa *World Wide Web* (Rede de alcance mundial). É o sistema de documentos hipermídia interligados e executados na rede internet.

⁶⁸ *Super Bowl* é um jogo de futebol americano que decide o campeão da liga americana NFL (*National Football League*). É um dos eventos esportivos de maior audiência do mundo, e que apresenta a publicidade mais cara da televisão.

⁶⁹ *Viswanathan Anand*, também conhecido como *Vishy Anand*, nasceu na Índia em 1969, e é o atual campeão mundial de xadrez. No seu país ele é considerado uma celebridade do esporte.

livros e sistemas de fichas, até chegar aos sistemas avançados de análise e geração de estatísticas, que acompanham os melhores programas jogadores automáticos (PEREIRA K. *et al.*, 2008). E estes programas atualmente são capazes de acessar através da internet, repositórios com milhares de partidas de xadrez, de grandes jogadores, para estudo.

Iremos analisar nas próximas subseções os diferentes tipos de aplicações Web de xadrez que existem, de acordo com a ênfase de aplicação de cada solução, e de acordo com a tecnologia que empregam no processo de ensino e aprendizagem do jogo.

5.2 Ênfase na competição

A maioria das comunidades virtuais de xadrez que existem estão centradas na competição. Isto ocorre desde as primeiras aplicações criadas, e atende a maior demanda de um enxadrista, que é poder jogar (*i.e.* praticar, desafiar, e vencer). Um dos maiores casos de sucesso deste segmento é o ICC⁷⁰ (*Internet Chess Club*) (GINSBURG & WEISBAND, 2003).

O ICC é um servidor comercial da internet dedicado à competição e discussão do xadrez, e das variantes do jogo. Atualmente possui cerca de 200.000 associados, onde se pode encontrar até 3.000 jogadores conectados, e uma média de 100.000 partidas diárias. É considerado o maior servidor pago deste jogo no mundo (ICC, 2011).

Sua primeira versão foi criada em 1992 por Michael Moore e Richard Nasch, e chamava-se ICS (*Internet Chess Server*). Funcionava através de conexão *telnet*⁷¹, e o tabuleiro era mostrado em

⁷⁰ ICC (*Internet Chess Club*), seu site é www.chessclub.com.

⁷¹ *Telnet* é um protocolo cliente-servidor usado para a comunicação entre computadores ligados na mesma rede. Ele permite apenas a troca de mensagens em formato texto. O que torna o seu uso gráfico limitado, e a transmissão de dados insegura.

modo texto. Ocorreram algumas melhorias no programa e, logo em seguida, Daniel Sleator juntou-se ao projeto como voluntário. Tornou-se programador líder, e iniciou uma ampla melhoria na aplicação. No ano de 1994, Daniel registrou o código fonte do servidor, e no ano seguinte transformou-o no ICC, e começou a cobrar anuidades dos usuários. A partir daquele momento, somente os jogadores registradores poderiam enfrentar Grandes Mestres e Mestres Internacionais de xadrez (STONE, 2011). A Figura 39 apresenta a página inicial deste site.

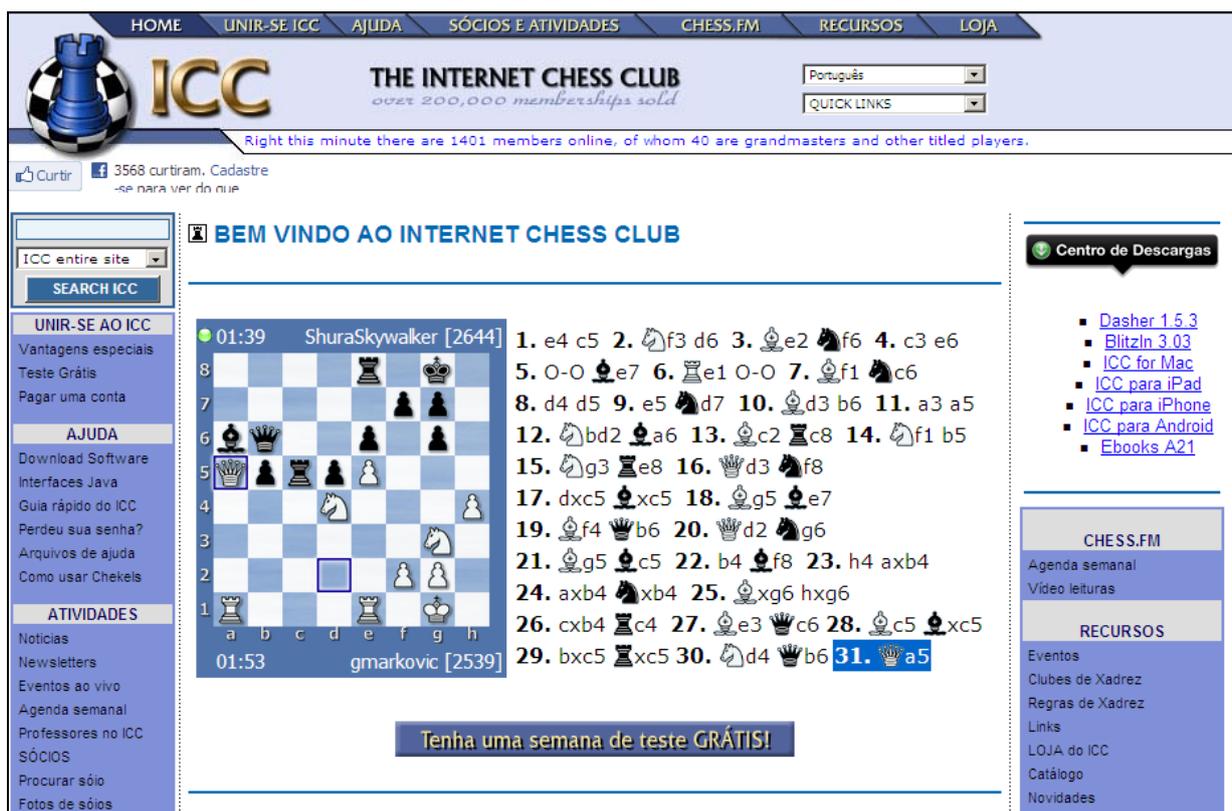


Figura 39 – Página inicial do ICC (*Internet Chess Club*) (ICC, 2011).

Alguns dos serviços pagos oferecidos pelo ICC são:

- Poder desafiar outros usuários e programas jogadores automáticos;
- Ser ranqueado através de diversos sistemas de *rating*;

- Acesso a transmissões ao vivo e comentadas de importantes torneios de xadrez;
- Assistir partidas entre mais de 1.200 Grandes Mestres usuários do ICC;
- Participar de desafios simultâneos de exibição contra Grandes Mestres;
- Acesso a bibliotecas de partidas e material de estudo;
- Aulas particulares com tutores humanos (requer pagamento adicional);

Em 1995 alguns programadores que trabalharam no desenvolvimento inicial do ICS, e que estavam insatisfeitos com os rumos tomados pelo projeto, liderados por Chris Petroff criaram o FICS⁷² (*Free Internet Chess Server*). Um servidor para jogo de xadrez pela internet totalmente gratuito (STONE, 2011).

O FICS atualmente conta com cerca de 300.000 usuários registrados, e tem muitas funcionalidades semelhantes ao ICC. Uma opção interessante de estudo desta ferramenta é que um usuário pode solicitar que suas partidas realizadas sejam analisadas e comentadas por usuários mais experientes (FICS, 2011). A Figura 40 apresenta a página inicial deste site.

Ambas as ferramentas, ICC e FICS utilizam de trabalho voluntário para diversas atividades realizadas dentro de suas comunidades de usuários. E o que atrai estes voluntários em certo grau são questões altruístas, de querer fazer o bem. Mas também existem casos em que o usuário se torna voluntário por questões egoístas (*e.g.*, para alcançar reconhecimento perante a comunidade, enriquecer o currículo pessoal, assumir função com determinado poder, como etapa em busca de uma promoção no trabalho) (GINSBURG & WEISBAND, 2003).

⁷² FICS (*Free Internet Chess Server*), seu site é www.freechess.org.

FICS Free Internet Chess Server
We do it for the game, not the money.

Latest news: Topalov wins _

Play chess on the web for free.
The Free Internet Chess Server, with over 300000 registered users, is one of the oldest and one of the largest internet chess servers. Whether serious with your chess or just looking for the occasional game, whether looking for another player or eager to challenge a strong computer, whether you like a blitz chess or you are fond of one of the many variants, here you can play chess over the internet for free.
[Forgot your password?](#)

Register now.
Register now for free and reserve your handle forever. You will receive a rating. Moreover you will be able to play our online tournaments, save games for later analysis or have your games annotated by the Teaching Ladder reviewers.

Download a graphical interface.
Don't want to run your browser everytime you want to connect to FICS? Is the graphics of the web interface not of your liking? Download one of the interfaces developed by our users and decide for yourself which one you prefer.

ChessCentral - Chess Sets - Chess Software - Chess Clocks

FICS
8708 31ST Ave N
New Hope
Mn 55427

Figura 40 – Página inicial do FICS (*Free Internet Chess Server*) (FICS, 2011).

Existem diversos outros sites voltados à prática do xadrez e que tem um formato similar ao apresentado. Podemos citar: www.chess.com, www.timeforchess.com, www.chessworld.net, www.worldchesslive.com, www.ixc.com.br, dentre outros. Além do acesso via internet, estes sites normalmente permitem que o usuário jogue através de programas *desktop*⁷³, gratuitos ou pagos.

O projeto *XadrezLivre* (<http://xadrezlivre.c3sl.ufpr.br>) também é um site gratuito de competição de xadrez, mas este diferentemente dos apresentados até o momento, se propõe a integrar ferramentas inteligentes no processo de ensino e aprendizagem do jogo (Ver seção 5.4).

⁷³ *Desktop* refere-se à área de trabalho virtual do usuário. Um programa *desktop* executa diretamente sobre o sistema operacional, de forma local. Ao contrário de uma aplicação Web que é interpretada pelo programa navegador, e o seu código e dados veem através de uma rede de comunicação.

No trabalho de Susan Polgar (2005), foram identificadas algumas das vantagens e desvantagens existentes na prática do xadrez através da internet. A Tabela 8 apresenta os principais benefícios.

Vantagem	Descrição
Flexibilidade	O usuário pode jogar a hora que quiser no lugar que estiver, e fazendo outras coisas ao mesmo tempo.
Conveniência	O jogador não precisa se deslocar a um lugar físico, como a sede de um clube de xadrez, para enfrentar bons enxadristas.
Custo	Na prática presencial existiram os custos de anuidade de um clube de xadrez, de transporte, inscrição para cada torneio, <i>etc.</i> Na internet pode-se participar de diversos serviços e competições gratuitas.
Tempo	O indivíduo pode jogar a qualquer horário, e interromper a atividade quando quiser, sem maiores consequências. Em um clube real, deve-se respeitar seu horário de funcionamento, e em torneios, os compromissos assumidos.
Quantidade de partidas	Competindo via computador é possível realizar muito mais partidas diárias. Visto que se tem um número maior de potenciais adversários. E uma maior facilidade em encontrá-los, e convidá-los para uma partida.
Qualidade das partidas	No ambiente virtual o enxadrista tem uma gama maior de possibilidades de oponentes, de diversos níveis de experiência. O que permite enfrentar adversários que estejam mais próximos do seu conhecimento enxadrístico.
Sociabilidade	No jogo através da internet é possível se socializar com uma diversidade muito maior de pessoas, de diferentes idades, localidades, e culturas.

Tabela 8 – Vantagens de se jogar xadrez através da internet (POLGAR, 2005).

Já na Tabela 9 são apresentadas algumas das desvantagens de se praticar xadrez pela internet.

Desvantagem	Descrição
Trapaça	No jogo através da internet é muito fácil trapacear. Pode-se utilizar de programas jogadores automáticos, ou de usuários experientes, para conseguir as sugestões de melhores lances.
Conduta anti-desportiva	Na internet maus jogadores podem forçar uma desconexão para adiar o encerramento de uma partida, ou mesmo se negarem (e na falta de expectadores é mais conveniente), a desistir de um jogo já perdido.
Falta de educação	No momento que estão perdendo, alguns jogadores acusam o adversário de estar trapaceando, ou mesmo se utilizam de palavras chulas.
Impersonalidade	As pessoas podem usar nomes e dados falsos em suas contas na internet. E desta forma, você não consegue realmente conhecer seu adversário, quem ele é, e quem já enfrentou. O usuário pode encontrar adversários que irão realmente querer se comunicar, e outros que ficaram calados e centrados apenas na escolha dos lances.
Problemas técnicos	Praticar xadrez através de um sistema computacional, interligado a um servidor em rede, abre a possibilidade de ocorrerem diversos problemas técnicos, que podem inviabilizar uma competição (<i>e.g.</i> , perda total da conexão, baixa velocidade de transferência dos dados, sobrecarga de processamento no servidor).
Dificuldades em usar tecnologia	Utilizar um computador e acessar a internet ainda é um desafio para um grande número de pessoas, principalmente para as idosas. A pessoa deve dominar o uso tecnológico do equipamento e do software, para poder desempenhar satisfatoriamente a atividade de jogar xadrez via rede.
Falta de padrão nas normas e políticas	Cada servidor de xadrez define suas normas de uso, e políticas de competições e de ranqueamento. Não existe uma clara padronização internacional destas atividades.
Privacidade	A privacidade das informações dos usuários é um problema geral da internet. Apesar de muitos sites divulgarem que garantem o sigilo dos dados de seus usuários. Vários tem mecanismos que permitem que seus administradores monitorem as atividades dos jogadores.

Tabela 9 – Desvantagens do jogo de xadrez através da internet (POLGAR, 2005).

Ao analisar as atividades educacionais que existem dentro destes sites, percebemos que estas se baseiam no formato tradicional de ensino do jogo (*i.e.*, ler, analisar, discutir, e jogar). Mas em um ambiente em que não existe formalmente um professor associado ao aluno, e que esteja constantemente (ou periodicamente) ao seu lado durante as etapas da aprendizagem. Toda a responsabilidade pela condução do processo é do aprendiz. E nenhuma ferramenta de informática inteligente é utilizada para guiá-lo nesta caminhada. Devido a isto, dificilmente um indivíduo totalmente inexperiente no xadrez consiga evoluir para um nível intermediário, apenas participando deste tipo de comunidades virtuais.

5.3 Estimulo a colaboração.

O trabalho colaborativo tende a produzir resultados melhores do que a abordagem individual. O conceito de *zona de desenvolvimento proximal* (ZDP) apresentado por Vygotsky⁷⁴ sugere que a colaboração é uma importante ferramenta cognitiva de aprendizagem, e em um ambiente de ensino o tutor é um agente metacognitivo. E a assimilação dos conceitos durante um processo de ensino se concretiza por meio das interações do aluno com outros aprendizes, e com o próprio instrutor (FINO, 2001).

Ambientes virtuais são representações de ferramentas do mundo real, e oferecem ferramentas para a comunicação, o compartilhamento de informações, e para a realização e divisão de responsabilidades e tarefas (FUKS, 2000). E com o advento da internet, se popularizou a construção de ambientes de aprendizagem colaborativa (CLUA & BITTENCOURT, 2004).

⁷⁴ *Lev Semenovitch Vygotsky* foi um importante psicólogo russo, pioneiro na defesa do conceito de que o desenvolvimento intelectual das crianças ocorre em função das interações sociais, e das condições de vida.

A área da Inteligência Artificial aplicada ao Ensino tem buscado nos últimos anos, agregar novas tecnologias para tornar a experiência da aprendizagem mais rica e eficaz. Os sistemas tutoriais inteligentes estão cada vez mais utilizando técnicas de aprendizagem colaborativa, o uso de recursos multimídias, e de realidade virtual (ROSATELLI, 2000).

O desenvolvimento de um ambiente de colaboração que seja realmente eficaz depende de um bom projeto inicial da ferramenta. Nos trabalhos de Ramos (1999) e Arriada (2001) são analisadas as características e diretrizes importantes, e que devem ser avaliadas durante o processo de projeto de sistemas que pretendem facilitar, ou mesmo simplesmente permitir a condução de tarefas de aprendizagem colaborativa. Analisaremos a seguir os principais trabalhos realizados na criação de ferramentas de ensino de xadrez, onde a colaboração entre os aprendizes se torna fator essencial ao processo de aprendizagem.

5.3.1 Competição colaborativa

Um dos primeiros trabalhos neste sentido foi o *SHA-CHESS* (ANUPAM & BAJAJ, 1993). Uma aplicação colaborativa de xadrez, que cria um tabuleiro virtual 3D, e permiti compartilhá-lo com vários usuários simultaneamente. Através desta aplicação é possível enfrentar um programa jogador automático, ou outros usuários humanos, todos participando da mesma partida.

O *SHA-CHESS* possui diversos modos de configuração em relação a como os usuários interagem no tabuleiro compartilhado. Um usuário líder pode configurar as características da sessão de jogo, e as permissões dos outros jogadores do mesmo grupo. A comunicação entre os enxadristas

se dá através de troca de mensagens de texto, e de videoconferência⁷⁵. Pode-se definir que apenas um membro realize os lances pelo grupo, ou que qualquer um possa fazê-lo. E neste caso, aquele que primeiro realizar a ação, define a jogada a ser realizada pelo time (ANUPAM & BAJAJ, 1993).

Esta ferramenta também pode ser utilizada como ambiente de ensino. O usuário líder (*i.e.*, um instrutor) define que os aprendizes entrem em uma mesma sessão, vejam o mesmo tabuleiro, e assistam à aula ministrada por ele. As ferramentas de comunicação, e a possibilidade de movimentação das peças facilitam a explanação do conteúdo (ANUPAM & BAJAJ, 1993). Mas, a prioridade desta solução é facilitar a comunicação entre um grupo de usuários, e possibilitar a divisão da responsabilidade na escolha de jogadas entre eles. Nada contribui no acompanhamento e gerenciamento do processo de aprendizagem.

5.3.2 Inteligência colaborativa

O primeiro amplo caso de colaboração no xadrez ocorreu em 1997, durante a segunda partida do desafio entre Gary Kasparov e o *Deep Blue* (Seção 3.4). Mais de 2.000 pessoas acompanhavam ao vivo a disputa através do site ICC (Seção 5.2) quando Kasparov desistiu da partida. Várias daquelas pessoas não acreditavam que o jogo estava perdido, e achavam que Kasparov havia errado ao desistir prematuramente (McGREW, 1997).

Tim McGrew, professor assistente de filosofia e administrador do ICC, convocou voluntários para analisar as possibilidades de jogadas daquela partida, e confirmar se Kasparov havia tomado a melhor decisão. Um grupo formado por vários Grandes Mestres, Mestres

⁷⁵ Videoconferência é uma tecnologia que permite o contato visual e sonoro entre pessoas que estão em lugares diferentes, dando a sensação a elas de que estão no mesmo ambiente.

Internacionais, desenvolvedores de programas jogadores automáticos de xadrez, e outros interessados trabalhou no problema (McGREW, 1997).

O grupo gerou as diversas possibilidades de jogadas à frente da partida, e para isto, utilizaram programas jogadores automáticos em parte do processo. Após a geração das sequências de lances, era feita uma análise linha a linhas delas. Após seis horas de trabalho exaustivo eles conseguiram atestar que Kasparov errou, e que a partida não estava perdida (McGREW, 1997). Este episódio demonstrou o poder do trabalho colaborativo, que neste caso só foi possível pelas facilidades de comunicação e integração, proporcionadas pela rede internet.

5.3.3 Ambientes de ensino colaborativos

No trabalho de Mora e Moriyón (2000) foi apresentado o ambiente de ensino colaborativo *ChessEdu*. Esta aplicação permite que aprendizes pratiquem e aprendam xadrez jogando individualmente ou em grupos, enquanto um tutor acompanha-os, e interage com eles. Os usuários podem formar grupos que compartilham comentários, ou analisam diferentes alternativas conjuntamente. Ou podem acompanhar a realização de uma partida, e analisá-la adicionando alternativas de jogada, ou criando anotações.

ChessEdu pode ser utilizado por jogadores de qualquer nível de experiência enxadrística. E os instrutores podem guiar os aprendizes durante as partidas diretamente, movendo as peças dos seus tabuleiros e provendo alternativas de movimento, ou indiretamente criando anotações, e revisando as análises criadas pelos estudantes (MORA & MORIYÓN, 2000).

Esta aplicação ainda possui as seguintes funcionalidades

- Diferentes regras de acesso para estudantes e professores;
- Ação de desfazer para atividades colaborativas. Isto permite que o instrutor, por exemplo, oriente o aluno a voltar um lance atrás, e escolha uma melhor jogada para o problema proposto;
- Anotações multimídia, incluindo sincronização de voz e de hipertexto. O que torna possível referenciar estados intermediários das análises criadas.
- Controle Histórico das Anotações, o que propicia que os usuários possam colaborar uns com os outros de forma assíncrona. Por exemplo, um tutor pode incluir uma anotação específica em um momento de uma determinada partida, que inclua uma ligação (*link*) para um exemplo simplificado, que demonstre como dar um xeque-mate em uma situação similar a que o aprendiz enfrenta.

O sistema foi construído através do *framework*⁷⁶ FACT (*Framework for Advanced Collaborative Tutoring*). Este arcabouço facilita o desenvolvimento de aplicações colaborativas, com suporte a aprendizagem guiada (MORA & MORIYÓN, 2001). A Figura 41 apresenta a sua arquitetura.

⁷⁶ *Framework* para desenvolvimento de software é uma abstração que une códigos comuns entre vários projetos para prover uma estrutura genérica de funcionalidades. Quando adotado na construção de um sistema, é ele que especifica o fluxo de controle da aplicação.

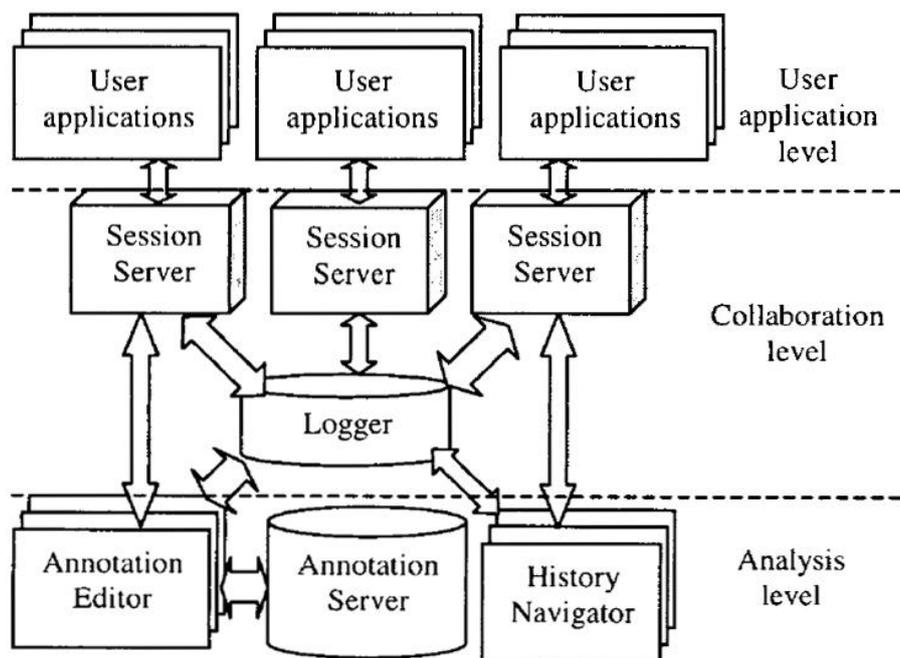


Figura 41 – Arquitetura do *framework* utilizado no *ChessEdu* (MORA & MORIYÓN, 2001).

O *ChessEdu* prima pela disponibilização de ferramentas de colaboração síncrona e assíncrona, de comunicação, e de gerenciamento histórico das interações entre os usuários. Mas não agrega técnicas inteligentes para o gerenciamento e aplicação das estratégias pedagógicas de aprendizagem.

Um trabalho muito interessante foi realizado entre a Escola de Ensino de xadrez *Shirov Online*⁷⁷, e a Universidade de Salamanca, da Espanha. Estas duas instituições se uniram no projeto, desenvolvimento, e uso de um ambiente virtual multimídia e colaborativo de ensino de xadrez, chamado de *Chess Tutor* (em espanhol, *Ajedrez Tutor*) (PEÑALVO *et al.*, 2005).

Este projeto foi centrado nas questões pedagógicas do ensino do jogo, para facilitar o ensino através da rede internet. Ele prevê a interação entre um Enxadrista experiente e seus aprendizes, ou

⁷⁷ *Shirov Online* é uma escola virtual espanhola de ensino de xadrez, seu site é www.shirovonline.com. Seu nome vem de *Alexeiv Shirov*, um Grande Mestre Internacional do jogo nascido na Letônia, e que se naturalizou espanhol.

entre os próprios alunos. Para permitir isto, o sistema se utiliza de cenários de colaboração que procuram reproduzir o mais fielmente possível, comportamentos de ensino tradicional do jogo, em escolas presenciais (GARCÍA *et al.*, 2007).

Chess Tutor provê cinco diferentes cenários colaborativos para o ensino e aprendizagem do xadrez: i) exposição; ii) criar posições de tabuleiro; iii) competição; iv) partidas simultâneas; e v) exercícios práticos (GARCÍA *et al.*, 2007). Os cenários iv e v podem ser compreendidos como variações do iii.

Estes cenários foram planejados para permitir ações paralelas dentro de uma turma de aprendizes, o que facilitaria o papel do instrutor. Em um grupo grande de alunos uma parte poderia estar competindo entre si, enquanto outra parte competindo simultaneamente contra o professor, e uma terceira fazendo os exercícios passados. Todas as ações do curso acontecem sobre o controle e supervisão do instrutor.

No cenário criar posições é possível para o professor ou para um aluno criar uma situação de jogo a ser estudada, e discutida pelo grupo. A Figura 42 apresenta esta tela.

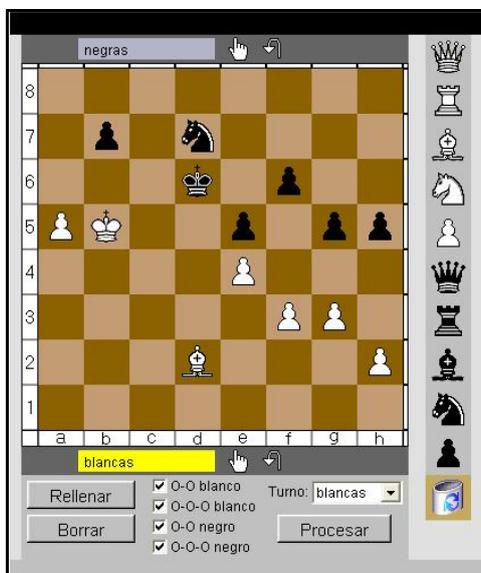


Figura 42 – Cenário para criar posições do *Chess Tutor* (PEÑALVO *et al.*, 2005).

No cenário de exposição o professor apresenta explanações durante uma partida que é compartilhada entre os aprendizes. Os alunos têm possibilidades de ações de acordo com os privilégios atribuídos pelo instrutor. Eles podem mover peças, desfazer jogadas, conforme ocorre à discussão do tema através de áudio conferência entre os usuários. A característica mais importante deste cenário é o tratamento de variantes. Onde a cada lance realizado pelo grupo, o professor pode criar e salvar uma variante da partida, que poderá ser utilizada posteriormente para um estudo aprofundado (GARCÍA *et al.*, 2007). Este cenário possui uma interface específica para o instrutor, e outra para os alunos. A Figura 43 apresenta a visão do instrutor.

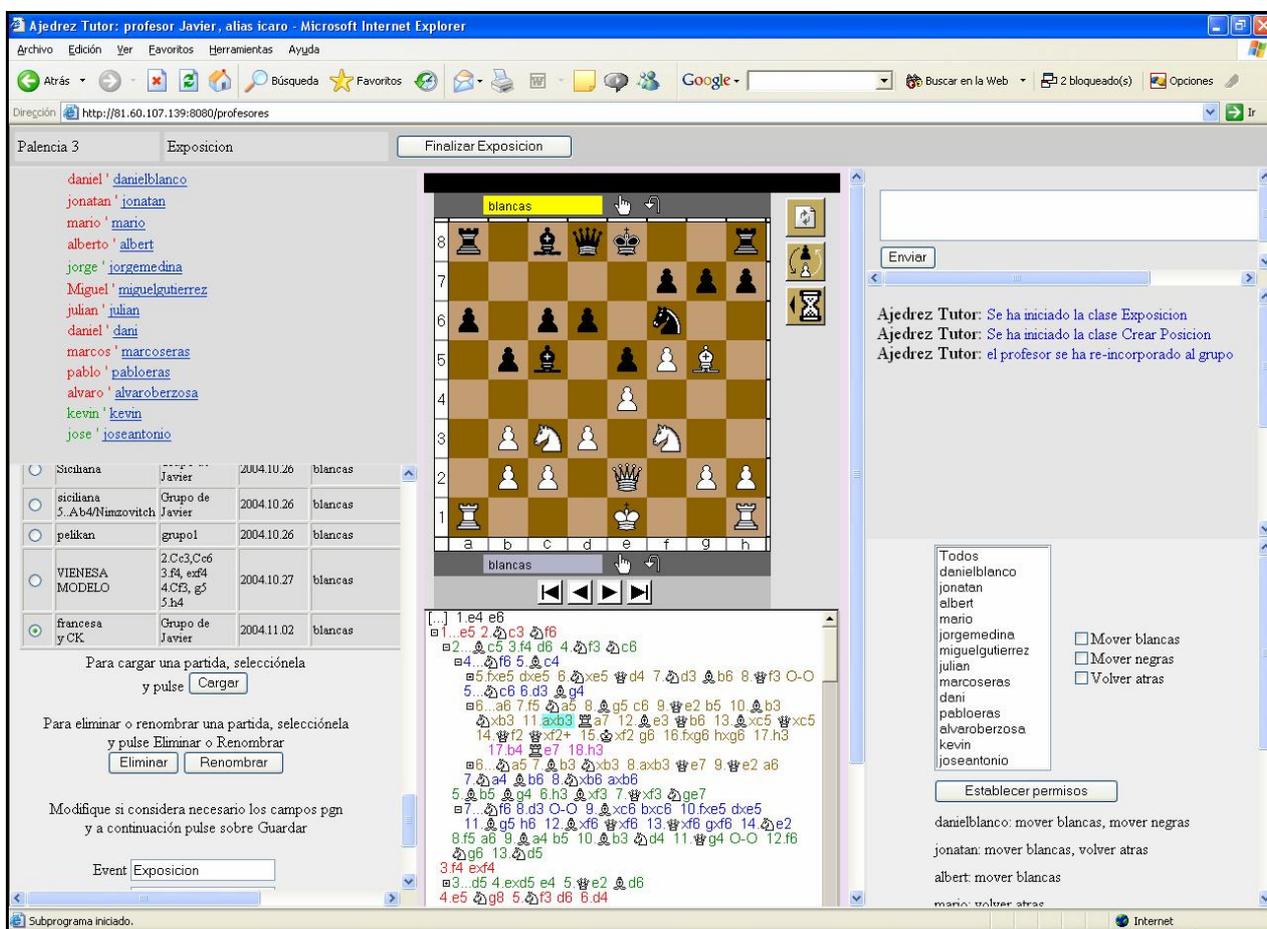


Figura 43 – Cenário de exposição do *Chess Tutor*, visão do professor (PEÑALVO *et al.*, 2005).

No cenário de competição é possível para os aprendizes se enfrentarem entre si, ou cada um desafiar o professor. Todas as partidas realizadas são salvas no formato PGN para posteriormente serem estudadas (GARCÍA *et al.*, 2007). Figura 44 apresenta a interface desta funcionalidade.



Figura 44 – Cenário de competição simultâneas do *Chess Tutor* (PEÑALVO *et al.*, 2005).

O cenário de Exercícios, basicamente é o mesmo de competição, com a diferença de que o professor já define uma situação da partida, e depois convida um ou mais aprendizes a tentarem enfrentá-lo naquela situação específica de jogo. O aluno pode escolher um lance, uma alternativa já pré-existente, e também criar anotações sobre o caso estudado (GARCÍA *et al.*, 2007).

Confrontando o *Chess Tutor* com o *ChessEdu* vemos que enquanto o primeiro é direcionado a atividades síncronas, o segundo privilegia as atividades assíncronas. *Chess Tutor* possui mais funcionalidades de ensino, e a ênfase no projeto foi claramente a relação entre o instrutor e os aprendizes. Já no *ChessEdu* nem é obrigatória a existência de um professor (GARCÍA *et al.*, 2007).

Chess Tutor claramente pode ser classificado como um CSCL⁷⁸ (*Computer-supported collaborative learning*), ambiente de ensino colaborativo. E apesar de estar sendo utilizado com sucesso no ensino de xadrez (GARCÍA *et al.*, 2007), apresenta várias limitações técnicas e de projeto. Tais como: i) não possui nenhuma abordagem automatizada de gerenciamento de atividades, ou de usuários; ii) a quantidade de aprendizes em uma sessão de ensino está condicionada a capacidade de um instrutor humano em lidar com esta situação; iii) o conhecimento gerado e discutido pelos usuários não é exigido, nem explicitamente formalizado; iv) e muitas situações (cenários) reais de uma escola presencial de xadrez não são suportadas, como o caso do uso jogos pré-enxadrísticos⁷⁹.

5.3.4 Ambientes virtuais de convivência

No trabalho de Netto *et al.* (2005a) é apresentado o AVAX (Ambiente Virtual para Aprendizagem de Xadrez). Que consiste de um sistema composto por diferentes tipos de usuários, como usuários reais, clones virtuais, e agentes heterogêneos, todos se comunicando de forma integrada, criando uma comunidade virtual de convivência.

⁷⁸ CSCL (*Computer-supported collaborative learning*) é uma abordagem pedagógica onde a aprendizagem acontece através da interação entre os aprendizes mediada pelo uso de computadores. Estes ambientes são caracterizados pelo compartilhamento e construção coletiva do conhecimento entre os usuários.

⁷⁹ Jogos pré-enxadrísticos são jogos mais simples, criados por educadores, com o intuito de facilitar a aprendizagem inicial dos conceitos elementares de xadrez. Como por exemplo, a movimentação básica de peças, e a importância do planejamento prévio na escolha de jogadas.

O primeiro trabalho relacionado a ensino de xadrez apoiado por software apresentado por José Francisco Netto data de 1995, e se trata da criação de um tutor inteligente de ensino básico do jogo (NETTO, 1995). Deste primeiro estudo evoluiu-se para o AVAX.

O AVAX apoia o desenvolvimento dos enxadristas na prática do jogo. Nele é possível aos usuários de variados níveis de experiência no xadrez, realizar atividades de aprendizagem como: jogar; participar de competições; analisar partidas; e treinar.

O aprendiz ao se cadastrar no sistema tem o seu perfil caracterizado pelo nome, idade, sexo, e com a avaliação aproximada de seu nível de experiência (em *ratings*). E adicionalmente, é criado um agente virtual chamado de clone para cada usuário. Onde o objetivo deste clone é aprender sobre seu proprietário (o aprendiz), e substituí-lo em algumas situações dentro do sistema.

O ambiente possui também inúmeros agentes heterogêneos, onde cada qual é especializado em algum aspecto do xadrez. Os agentes monitoram constantemente os progressos do aluno, registrando suas ações e atualizando o seu *rating*. Com a atualização constante do nível de experiência do aluno, a comunidade de agentes virtuais consegue fornecer atividades, ou atender solicitações dos indivíduos, da forma mais próxima da capacidade atual de conhecimento do aprendiz (NETTO *et al.*, 2005a).

Os diversos agentes virtuais do sistema funcionam com um treinador de xadrez. Que tem como principal objetivo criar situações desafiadoras, que dentro dos limites atuais de compreensão do aprendiz, possibilite avanços na aprendizagem (NETTO *et al.*, 2005a). Esta linha de ação segue o conceito de *Zona Proximal de Desenvolvimento* (ZDP), em que a aprendizagem se efetiva através da integração e colaboração entre aprendizes (de diferentes níveis cognitivos), e entre aprendizes e instrutores (VIGOTSKY, 1998).

Um exemplo de treinamento no AVAX é apresentado na Figura 45. Nesta é mostrada uma situação de partida para ensinar ao aprendiz o domínio da tática de finalização de partida, chamada de Rei e Torre contra Rei. Os agentes analisam as respostas do aluno, e inferem o grau de domínio dele sobre o tema em discussão. E a partir desta análise, uma nova estratégia de treino é adotada.

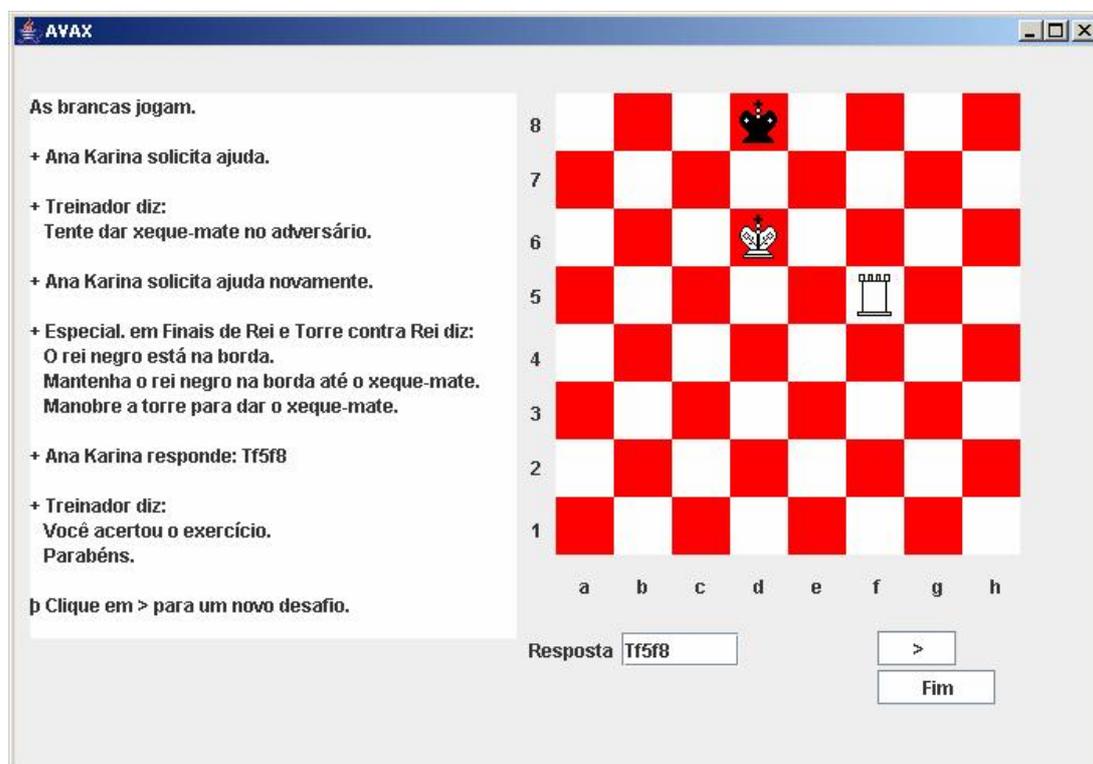


Figura 45 – Exemplo de treinamento no AVAX (NETTO *et al.*, 2005a).

O ambiente AVAX procura inovar no suporte a interação nas comunidades virtuais de xadrez, criando um Sistema Multiagente⁸⁰. Os diversos agentes (reais e virtuais) compartilham uma linguagem e ontologia comuns. A linguagem é baseada no padrão ACL (*Agent Communication Language*), criada pela FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) (FIPA, 2011).

⁸⁰ Sistema Multiagente (SMA), ou em inglês (*Multi-Agent System -MAS*). São sistemas compostos por diversos agentes inteligentes que interagem entre si. Normalmente são utilizados na solução de problemas difíceis, ou impossíveis de serem solucionados por uma única entidade.

A Figura 46 apresenta a arquitetura de comunicação do ambiente AVAX. Neste esquema os agentes *Matchmakers* (em inglês, significa casamenteiros) são responsáveis por buscar agentes que possam atender as solicitações dos usuários (NETTO *et al.*, 2005b). Uma versão genérica e revisada desta arquitetura é discutida em (NETTO, 2006).

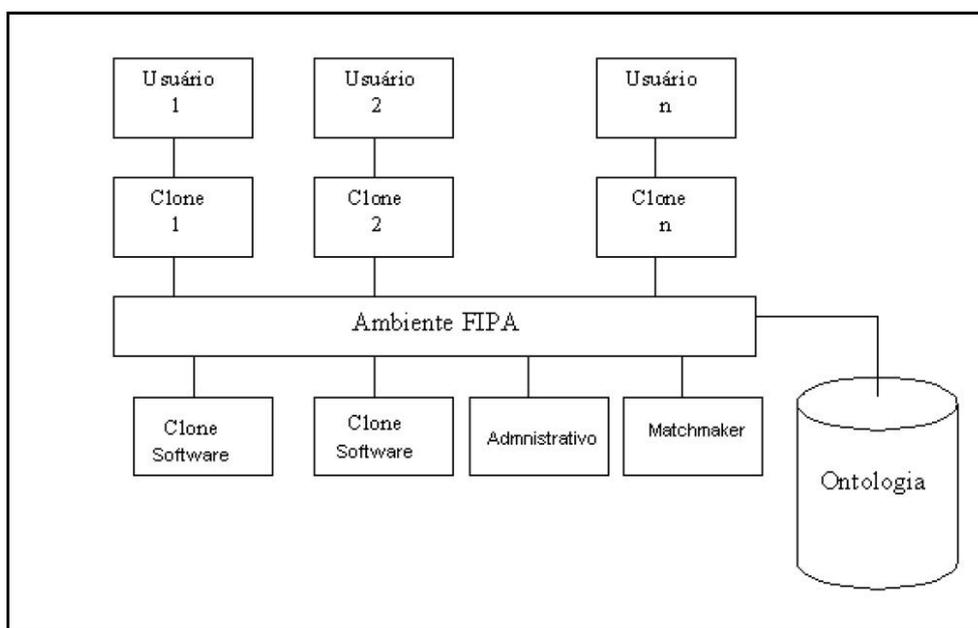


Figura 46 – Arquitetura Multiagente do AVAX (NETTO *et al.*, 2005b).

Apesar da alta tecnologia adotada para a comunicação entre os diversos agentes, o AVAX não prevê a comunicação com agentes externos (outras aplicações). Algo muito usual em ambientes de ensino de xadrez. Os perfis de usuários se resumem a figura do instrutor e do aprendiz, e o sistema apresenta poucas opções (cenários) de ferramentas de ensino. E apesar de ser um ambiente de convivência, a colaboração entre os agentes se resume a comunicação. Não é possível compartilhar tarefas, anotações ou conhecimento entre os usuários.

5.4 Alternância entre colaboração e competição

No trabalho de Martineschen *et al.* (2006) é proposto um ambiente que permita conduzir atividades de competição e de colaboração de forma alternada, dentro de um processo de ensino e aprendizagem de xadrez apoiada por software. Este trabalho argumenta que a combinação dos dois tipos de atividades propiciará um conjunto de vantagens superior à abordagem isolada de cada uma.

A competição dentro de um ambiente de ensino caracteriza-se pelo fato de que cada aprendiz possui um espaço individual de aprendizagem, e que neste espaço ele evolui individualmente. Mas quando o aprendizado do jogo é feito em um ambiente colaborativo, e esta aprendizagem passa a ser um meio e não um fim em si, o objetivo pessoal de vencer pode ter menor importância, para dar espaço ao enriquecimento da comunidade. A colaboração se caracteriza não apenas pela divisão de tarefas, mas também pelo compartilhamento e construção coletiva do conhecimento (MARTINESCHEN *et al.*, 2006).

Os tipos de jogos mais apropriados para este tipo de abordagem são os que envolvem o conhecimento profundo de táticas, que são adquiridas por meio de treinamento prolongado. Jogos baseados em conhecimento heurístico, como o caso do xadrez.

Martineschen propõe o ambiente *CACAREJE*⁸² que estimularia a alternância entre colaboração e competição entre os aprendizes. Neste sistema a competição é realizada de forma automática entre heurísticas⁸³ formalizadas pelos alunos, e na etapa de colaboração os indivíduos podem: i) analisar, ii) comentar, e iii) trocar heurísticas formalizadas entre eles.

⁸² *CACAREJE* - Colaboração Alternada com Competição na Aprendizagem Referenciada por Jogos Educativos.

⁸³ Heurística (do grego *επισκοω*, *heurísko*, significa "descubro" ou "acho") neste contexto apresentado refere-se a uma estratégia de jogo a ser adotada por um jogador automático, para alcançar a vitória.

Na etapa de competição os aprendizes irão individualmente ou em grupo colocar seu conhecimento sobre o xadrez em prática, ao codificar uma função heurística. Esta função irá representar sua noção de avaliação de tabuleiros, suas táticas e estratégias a serem adotadas em determinados momentos de uma partida. A função formalizada será comparada automaticamente com as dos demais aprendizes durante a execução de algoritmos de busca heurística (Ver seção 3.2), através da criação de torneios de competição artificial. Desta forma a mensuração do conhecimento de um aluno sobre o tema deixa de ser analisada subjetivamente, de forma mental, e passa a ser representada através de conceitos matemáticos (*e.g.*, aritméticos, geométricos, *etc.*), e sua eficácia é testada na prática (MARTINESCHEN *et al.*, 2006).

Na etapa de colaboração os alunos interagem entre si para entender as razões do desempenho de suas funções heurísticas na competição artificial. Estas formalizações poderão ser estudadas, trocadas, e alteradas entre todos. A Figura 48 apresenta um diagrama ilustrando a alternância entre as duas etapas.

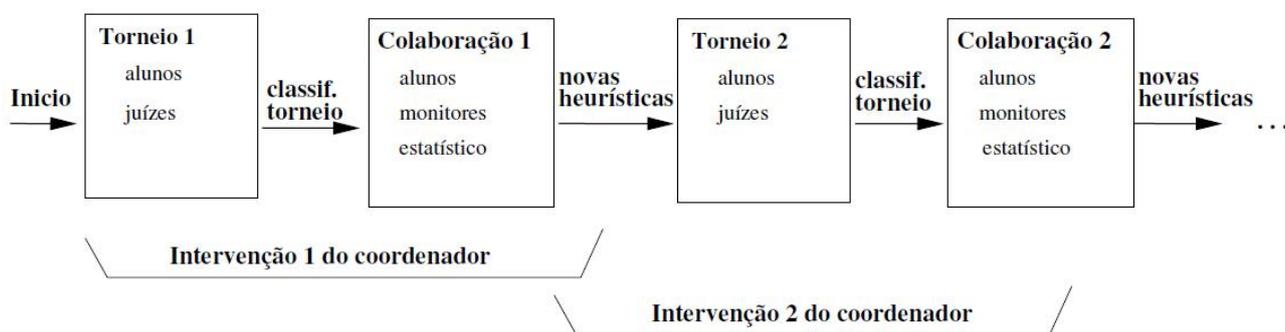


Figura 48 - Diagrama geral da alternância entre competição e colaboração

Fonte: (MARTINESCHEN *et al.*, 2006).

A proposta da alternância entre competição e colaboração busca fazer com que os resultados de uma etapa do aprendizado se propaguem para a outra, e incrementalmente gradualmente o conhecimento da comunidade.

O primeiro estudo com propostas de técnicas para formalização do conhecimento heurístico de xadrez pelos aprendizes foi realizado em Feitosa *et al.* (2007). Nesta primeira pesquisa foi apresentada a *Linguagem de Definição de Heurísticas de Jogo – DHJOG*, e a ferramenta de autoria para a formalização destes conhecimentos chamada *HeuChess*.

O *HeuChess* permite que o aprendiz adapte a interface ao seu nível de conhecimento atual, e este sistema disponibiliza diversas formas de *Representação Externa*⁸⁴ (RE), para apresentar o conhecimento heurístico formalizado ao aluno. Devido a isto é considerado um sistema MRE (*Múltiplas Representações Externas*). A Figura 49 apresenta uma das telas deste software.

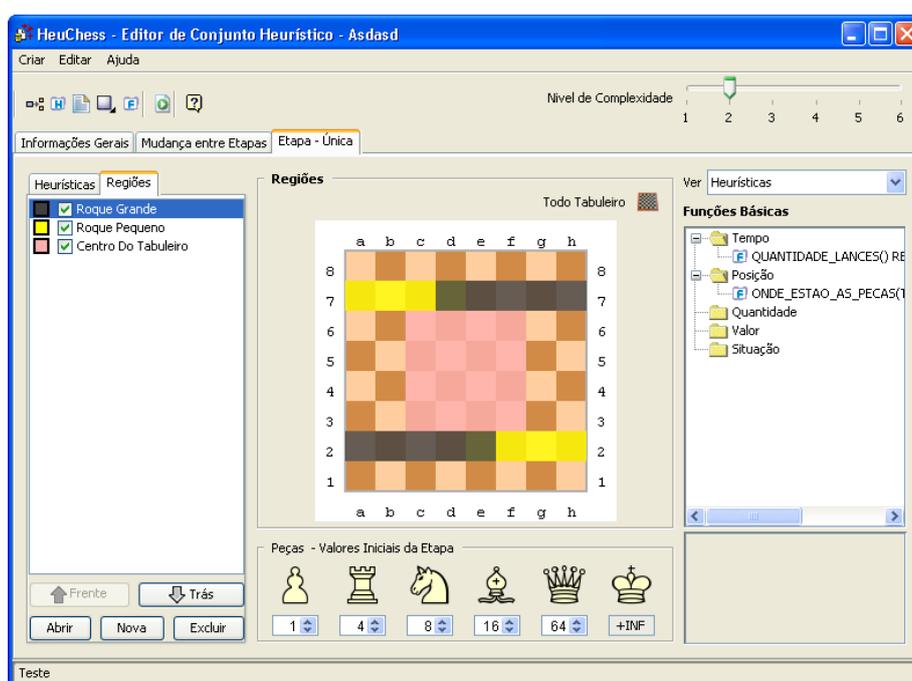


Figura 49 – Tela de Edição de heurísticas de uma Etapa no *HeuChess* (FEITOSA *et al.*, 2007).

⁸⁴ Representação Externa (RE) é o uso de uma técnica para representar, organizar e apresentar conhecimento ao usuário. Por exemplo, o uso de figuras, gráficos, ou fórmulas. Sua adoção auxilia na memorização, diminuindo a carga cognitiva necessária para realizar uma tarefa. Também pode auxiliar na resolução de problemas complexos (ZHANG, 2001).

A pesquisa de Bueno *et al.* (2008) incorporou novas interfaces ao *HeuChess*, para permitir o aperfeiçoamento das heurísticas formalizadas. Tais como um módulo para definição de situações de tabuleiro para testes, e uma de avaliação de uma heurística sobre um caso específico. Nesta pesquisa a ferramenta foi renomeada para *HeuChess+*.

Os trabalhos já realizados de Martineschen *et al.* (2006), Feitosa *et al.* (2007), Bueno *et al.* (2008), além dos primeiros estudos apresentados na seção 4.2.3, Schäfer (2000) e Hartmann *et al.* (2005), fazem parte do PROTEX (Seção 1.4), cujo objetivo principal é o apoio computacional ao ensino de xadrez nas escolas brasileiras (DIRENE *et al.*, 2004).

Cabe aqui citar também o trabalho de Aguiar *et al.* (2007) que apresenta o Tutor Inteligente *XadrEx*, que é uma ferramenta para apoiar o ensino de princípios de xadrez. E a pesquisa de Hobmeir Neto *et al.* (2008) que propõe o Sistema Tutor Inteligente JAS (Jogador de Abordagem Socrática⁸⁵), que consiste em um sistema para apoiar o desenvolvimento pericial de enxadristas sobre conceitos táticos do jogo. Estes trabalhos também fazem parte do PROTEX.

Estes sistemas foram projetados de forma independente, cada qual para lidar com uma abordagem específica, ou com um determinado aspecto do jogo. Mas com o intuito de serem disponibilizadas no mesmo ambiente virtual, integrando um arsenal de ferramentas que estarão disponíveis para aprendizes e instrutores de xadrez. O ambiente onde todos estes sistemas atuarão é o *XadrezLivre* (<http://xadrezlivre.c3sl.ufpr.br>). Que consiste de um servidor de xadrez gratuito, construído em *software livre*, que permite a competição, e se propõe a auxiliar o ensino e aprendizagem de xadrez através da internet (PICUSSA *et al.*, 2007).

⁸⁵ Abordagem socrática consiste em uma técnica de ensino onde o instrutor dialoga com o aprendiz, e através desta conversa conduz o aluno a um processo de reflexão e descoberta de conhecimento. O professor faz uso de perguntas simples, que tem por objetivo revelar as contradições presentes na forma de pensar do estudante, e assim auxiliá-lo a redefinir seus conceitos.

O *XadrezLivre* faz parte do PROTEX, e é resultado de uma parceria entre a Secretaria de Educação a Distância do Ministério da Educação (MEC/SEED), a Universidade Federal do Paraná (UFPR), e o Centro de Excelência em Xadrez (CEX). E é um das iniciativas do C3SL⁸⁶ (Centro de Computação Científica e Software Livre). A Figura 50 apresenta sua interface de uso.

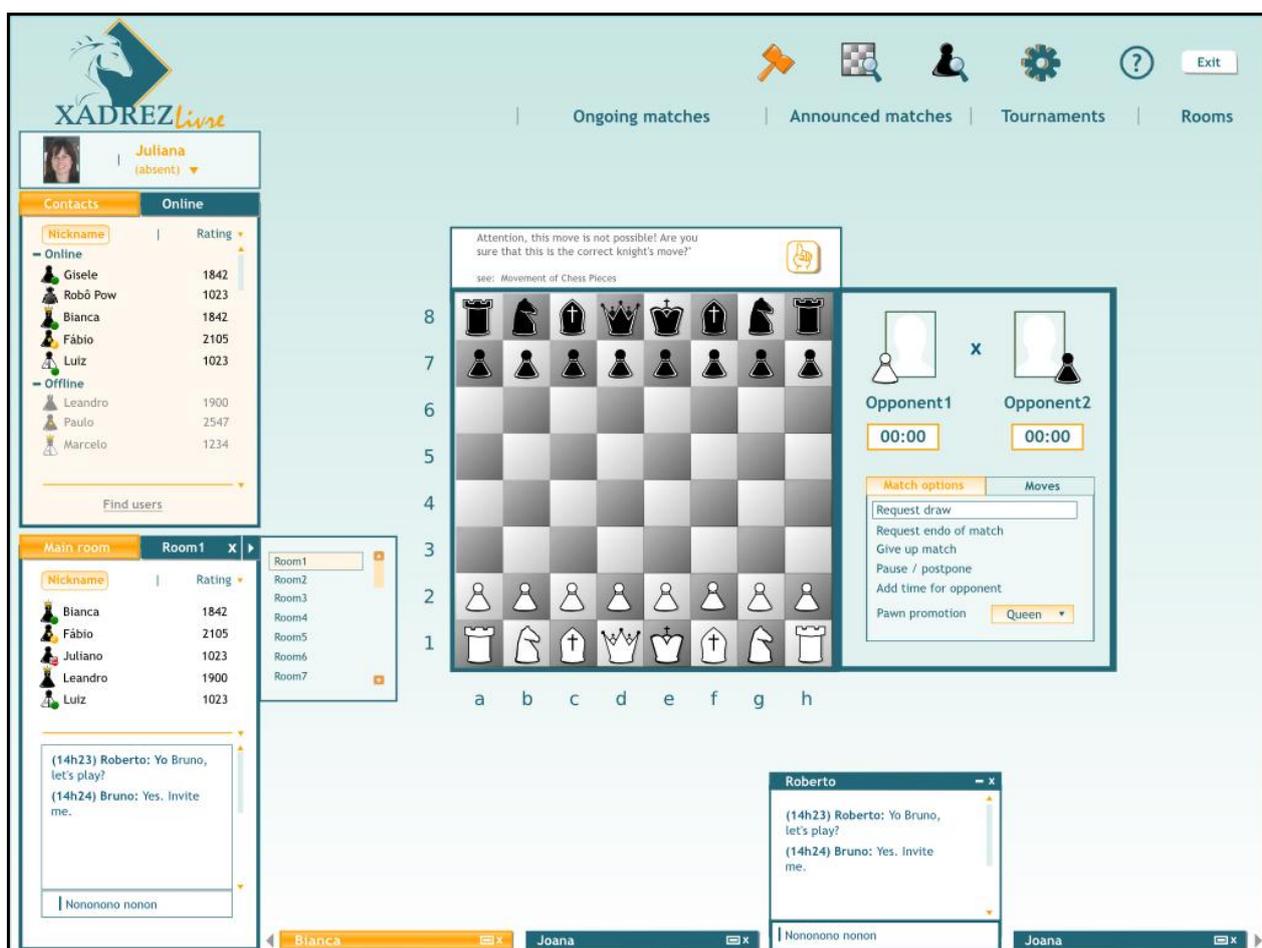


Figura 50 – Interface e ambiente de interação do *XadrezLivre* (PICUSSA *et al.*, 2007).

⁸⁶ C3SL (Centro de Computação Científica e Software Livre), seu site é www.c3sl.ufpr.br.

Os trabalhos (BARBIERI, 2009; FERREIRA, 2009; KUSS, 2009) discutem questões referentes à integração das ferramentas de ensino dentro do ambiente *XadrezLivre*. A Figura 51 apresenta a arquitetura funcionalista incremental de Sistemas Tutores Inteligentes criados dentro do PROTEX, até o momento.

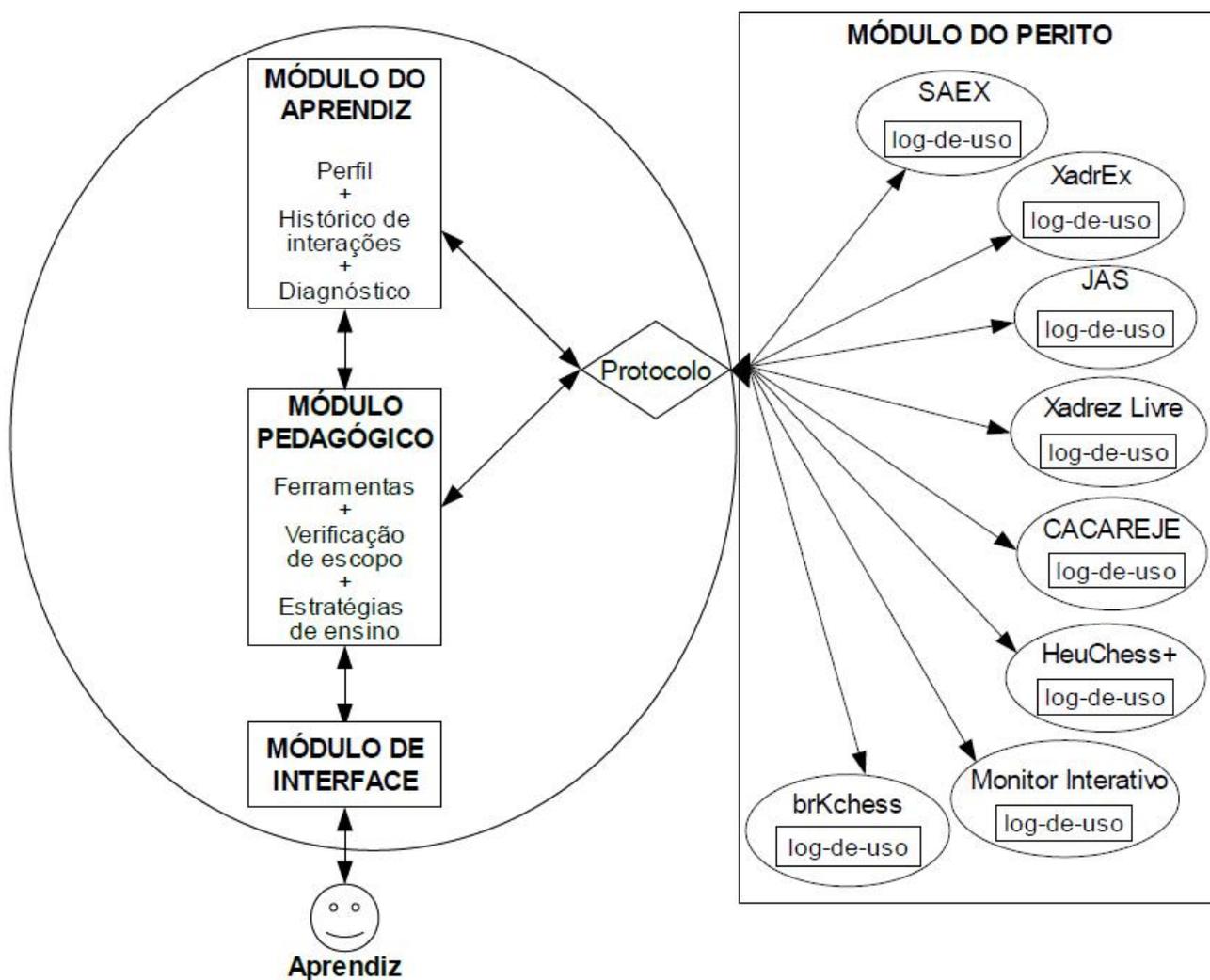


Figura 51 - Arquitetura funcionalista incremental de STI no PROTEX (FERREIRA, 2009).

Sobre esta iniciativa de apoio computacional ao ensino e aprendizagem de xadrez, podemos constatar os seguintes problemas:

- i. Existe uma carência de estudos que permitam uma análise empírica do uso destas ferramentas por aprendizes e instrutores reais, e que possibilite um comparativo entre o uso desta abordagem de ensino em contraponto ao método tradicional.
- ii. Fazem-se necessárias melhorias e a incorporação de novos módulos ao ambiente de ensino, para que todas as atividades de colaboração e competição previstas possam ser realizadas na prática.
- iii. A integração entre os módulos de ensino já criados e o *XadrezLivre* deve ser realizada de forma mais transparente, e completa. Para que todas as atividades realizadas pelo aprendiz dentro do ambiente de ensino possam ser acompanhadas, analisadas, e usadas como base para direcionamentos e adaptações da estratégia pedagógica de ensino e aprendizagem.
- iv. Com diversos módulos já criados, é possível definir um *framework* a ser utilizado como base na criação de novas ferramentas de ensino e aprendizagem, que sejam disponibilizadas no ambiente *XadrezLivre*. Neste arcabouço devem-se incluir funções que auxiliem a comunicação, os registros, o controle, e a colaboração entre agentes virtuais e usuários reais.

5.5 Discussão final sobre o capítulo

O uso da internet e a criação de comunidades virtuais contribuíram enormemente na popularização e no ensino do xadrez. E estas tecnologias impactaram nas estratégias adotadas no projeto das ferramentas computacionais de apoio a atividades educativas. Da ênfase nas atividades

individuais dos aprendizes (Ver capítulo 4), agora temos o incentivo a comunicação, convivência, e colaboração, entre aprendizes e instrutores, entre humanos e agentes virtuais.

Só que constatamos que no xadrez, a maioria dos ambientes virtuais dedicados ao ensino concentra-se na atividade da competição entre humanos. E dos poucos casos existentes, que propuseram a incorporação de novas estratégias e tecnologias de ensino (como a colaboração, ou o uso de tutores inteligentes), a maior parte preocupou-se mais em inovar nas questões técnicas de comunicação, do que na mudança da abordagem de ensino e aprendizagem do jogo. Replicaram os comportamentos presenciais feitos em clubes de xadrez para a internet. Sem se preocupar em questioná-los, e adaptá-los aos novos contextos tecnológicos e comportamentais dos indivíduos.

Retirando raras exceções, estas novas ferramentas não tiveram a eficácia mensurada, e não estão sendo usadas na prática. Não existem sequer estudos que apontem o impacto do uso de software, de qualquer um, nem dos tradicionais, no apoio ao ensino e aprendizagem do xadrez. O benefício de seu uso é apregoado mais por intuição, ou experiência pessoal, do que por uma análise criteriosa científica.

A formalização de conhecimento heurístico de xadrez é proposta em raríssimos casos. E sempre para ser feito pelo especialista, no módulo de autoria dos sistemas tutoriais inteligentes (Ver seção 4.2), ou nos módulos de criação de conteúdos em ambientes virtuais clássicos. E quando é feita esta especificação, ela não é compartilhada com o aprendiz, e raramente com outros peritos.

A construção coletiva do conhecimento, através do estímulo da interação e colaboração entre os membros de uma comunidade, fica demasiadamente livre. O que assegura sua eficácia é unicamente o empenho pessoal do instrutor, ao invés de um método incorporado nas ferramentas, que oriente o trabalho do educador, e do aluno.

CAPÍTULO 6

EXPANSÃO DOS CONCEITOS E FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Nos estudos sobre ensino colaborativo de xadrez apoiado por software, com ênfase na alternância entre colaboração e competição (Analisados na seção 5.4), ficou evidente que os sistemas desenvolvidos até então possuíam limitações que impossibilitaram o uso e aferição destes em um contexto real.

Então, para que pudéssemos verificar o impacto da formalização de conhecimento heurístico de jogo por aprendizes, dentro de um processo de ensino e aprendizagem, que é um dos objetivos deste trabalho de doutoramento (Ver seção 1.3), se fez necessário primeiramente expandir o conjunto de conceitos e ferramentas computacionais disponíveis para este fim. (Atividade prevista na seção 1.3.2).

Dentre as soluções propostas no projeto PROTEX, as que vêm de encontro a este objetivo foram apresentadas em Feitosa *et al.* (2007). São estas, a linguagem *DHJOG* e a ferramenta de autoria *HeuChess* (Ver seção 5.4). E estas precisavam ser incrementadas a fim de suportar as seguintes funcionalidades gerais:

- i). Permitir o gerenciamento de turmas e usuários.
- ii). Permitir o compartilhamento de representações heurísticas entre aprendizes.
- iii). Permitir a competição artificial entre heurísticas de xadrez.
- iv). Registrar todas as ações realizadas pelos usuários. A fim de que se possa realizar a análise completa dos dados coletados.

Neste capítulo então descreveremos as inovações concretizadas como preparativo para a realização do estudo empírico (Descrito no capítulo 7). Na seção 6.1 as mudanças referentes à linguagem *DHJOG*. Na seção 6.2 as relacionadas ao sistema *HeuChess*. No item 6.3 elencaremos as limitações que ainda persistem neste ferramental. E por último, na seção 6.4, haverá um fechamento sobre este tema.

6.1 Linguagem *DHJOG*

A *Linguagem de Definição de Heurísticas de Jogos – DHJOG* foi criada com o intuito de permitir a formalização simplificada de conhecimento heurístico, o que facilita o estudo e compartilhamento destas representações entre aprendizes (FEITOSA *et al.*, 2007). Utilizando-a é possível caracterizar mecanismos para:

- Identificar em qual estágio de uma partida o jogo se encontra, e quais heurísticas deverão ser analisadas neste contexto temporal.
- Definir a relação de importância entre os elementos do jogo. O valor absoluto e relativo das peças.
- Identificar contextos em uma determinada situação de partida, e especificar o quanto estes contextos contribuem como vantagem ou desvantagem ao jogador.
- Especificar de que forma o cálculo heurístico será realizado.

Estes mecanismos permitem detalhar como um jogador planeja atuar durante uma partida, de acordo com as vantagens e desvantagens que ele identifica. Na seção 1.1 foram apresentados os tipos de vantagens de jogo suportados pela linguagem (*i.e.*, Material, Espacial, e Temporal), e a Tabela 1 exemplifica o seu uso.

No desenvolvimento dela foram utilizados os seguintes conceitos:

- **Regras de Produção:** Esta técnica de representação de conhecimento é muito utilizada no desenvolvimento de sistemas especialistas. Consiste em definir regras no formato de *SE (Condição) ENTÃO (Ação)*. Várias condições podem ser relacionadas através de conectivos lógicos (E, OU e NÃO) para a criação de sentenças mais complexas. O uso deste método trás como benefício uma maior modularidade⁸⁷, facilidade de edição, e transparência dos conhecimentos formalizados no sistema (BRATKO *et al.*, 1990).
- **Máquina de Estados Finitos:** Representa uma modelagem do comportamento de um sistema ao longo do tempo. É composto por estados, transições e ações. Onde um estado registra as mudanças que ocorreram no sistema desde a inicialização até o presente. Uma transição indica uma possível mudança de estado, é especificada como uma condição que precisa ser satisfeita para que a mudança ocorra. E uma ação é a definição de algo que será realizado em um determinado momento (HAREL, 1987).
- **Desenvolvimento Orientado a Funções:** O autor usa funções para identificar características de contextos em uma situação de jogo. Ele pode utilizar funções prontas, disponibilizadas no sistema, ou criar novas mais complexas a partir de funções elementares pré-existentes. Esta abordagem permite um menor esforço cognitivo inicial

⁸⁷ Modularidade é um conceito que define o fator de divisão de um sistema ou software em partes distintas. Esta divisão tende a tornar o programa mais legível, e com isto de manutenção mais fácil.

do autor, uma maior reutilização de componentes, e uma maior produtividade (PRESSMAN, 1995).

- **Primitivas matemáticas:** A linguagem utiliza de diversas primitivas que possibilitam uma grande expressividade e formalismo a ela. Estes mecanismos são de natureza aritmética⁸⁸ (e.g., adição, subtração, multiplicação, e divisão), geométrica⁸⁹ (i.e., retângulo e ponto), lógico matemática⁹⁰ (i.e., SE..ENTÃO), algébrica⁹¹ (e.g., E, OU e NÃO), e da teoria de conjuntos⁹² (e.g., união, pertence, contém, e contido).
- **Níveis de Expressividade:** As funcionalidades da linguagem foram agrupadas em seis níveis de expressividade. Cada nível representa uma faixa de conhecimento e esforço cognitivo necessário para desempenhar uma atividade de formalização heurística. Indo do básico ao avançado. A Tabela 10 detalha esta segmentação.
- **Apoio a Autoria e Colaboração:** Cada componente formalizado possui atributos que indicam a autoria, as datas de criação e modificação, e a versão corrente do elemento. E pode possuir anotações textuais associadas. Estes textos permitem uma maior expressividade do autor, e uma melhor compreensão da formalização por outros usuários.

⁸⁸ Aritmética é o ramo matemático que trata das propriedades elementares de certas operações sobre numerais.

⁸⁹ Geometria é a área matemática dedicada ao estudo das formas planas e espaciais, e a análise de suas propriedades.

⁹⁰ Lógica matemática é o estudo da lógica tratada pelo método matemático. Possui uma divisão chamada Lógica de Predicados que permite formalizar e identificar aspectos de relacionamento entre conhecimentos expressos como sentenças (CHURCH, 1956). A *DHJOG* utiliza primitivas deste segmento.

⁹¹ Álgebra é o ramo matemático que estuda as generalizações dos conceitos e operações de aritmética. Álgebra Booleana é uma subárea que possui um conjunto de estruturas que definem o comportamento das operações lógicas E, OU e NÃO em expressões que retornam apenas o valor Verdadeiro ou Falso. Esses operadores são utilizados como conectivos entre diferentes avaliações relacionais dentro de uma mesma expressão condicional. A *DHJOG* utiliza estes mecanismos.

⁹² Teoria de conjuntos é a área matemática que estuda as relações e operações aplicadas em coleções de elementos.

Nível		Descrição
1	Iniciante	Permite apenas alterar os <i>Valores Iniciais</i> de cada tipo de peça
2	Básico	É possível definir <i>Regiões</i> e criar <i>Heurísticas de Valor de Peça</i> .
3	Intermediário	Incorpora a criação de <i>Heurísticas de Valor de Tabuleiro</i> .
4	Pleno	Acrescenta a criação de <i>Etapas</i> e dos critérios de transições entre elas (<i>Heurísticas de Transição de Etapas</i>).
5	Avançado	Possibilita alterar a <i>Expressão de Cálculo Heurístico</i> de cada <i>Etapa</i> .
6	Especialista	Habilita a alteração e codificação de novas <i>Funções</i> da linguagem.

Tabela 10 – Níveis de expressividade da linguagem DHJOG.

A especificação, projeto e uso inicial da *DHJOG* estão detalhados em (FEITOSA, 2006)⁹³.

Nas próximas subseções são analisadas as principais alterações realizadas nesta linguagem.

6.1.1 Identificação de peças

A fim de identificar certos contextos em uma partida, se faz necessário verificar se determinada peça se encontra em uma condição. Como por exemplo, numa região do tabuleiro, ou atacando, ou defendendo. Para que esta ação seja realizada de maneira simplificada, foi incluída na *DHJOG* constantes que relacionam a peça e proprietário. A Tabela 11 lista estes novos símbolos.

⁹³ Feitosa (2006) consiste em uma dissertação de mestrado, e está disponível para consulta pública através da rede internet no endereço <http://hdl.handle.net/1884/10983>.

PEAO.MEU	PEAO.OPONENTE
TORRE.MINHA	TORRE.OPONENTE
CAVALO.MEU	CAVALO.OPONENTE
BISPO.MEU	BISPO.OPONENTE
DAMA.MINHA	DAMA.OPONENTE
REI.MEU	REI.OPONENTE

Tabela 11 – Constantes para identificação de peças.

Cabe salientar que as peças não são mapeadas por cores, visto que na formalização de conhecimento heurístico isto não é relevante. A cor somente será conhecida no momento em que uma partida esteja em execução.

Com a inclusão destas constantes, agora é possível utilizar os operadores de conjuntos que fazem parte da linguagem (*e.g.*, CONTEM, CONTIDO, IGUAL, e DIFERENTE), para comparar e testar a ocorrência de elementos. A Tabela 12 exemplifica como um conhecimento heurístico, utilizado como condição de uma regra de produção, é formalizado em *DHJOG*.

Linguagem Natural	<i>Existe no centro do tabuleiro uma dama ou rei meu sobre ataque do oponente</i>
<i>DHJOG</i>	<pre> PECAS_AMEACADAS_POR({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA,REI},CENTRO,OPONENTE) CONTEM {DAMA.MINHA, REI.MEU} </pre>

Tabela 12 – Condição heurística em linguagem natural e formalizada em *DHJOG*.

6.1.2 Alteração do valor heurístico de peças específicas

Durante o estudo de Bueno *et al.* (2008) foi realizada a avaliação heurística de situações de partidas através do uso da linguagem *DHJOG* e da ferramenta *HeuChess*. Neste trabalho foi identificado que a proposta inicial da linguagem, de que uma regra heurística quando ativada alterava o valor heurístico de um ou mais tipos de peças, era limitada. Nesta proposição, todas as peças de um mesmo tipo seriam alteradas.

Nos testes práticos realizados com enxadristas foi constatado de que em certos casos, era interessante valorar algumas peças de um tipo, e não todas. Por exemplo, um autor pode querer formalizar que: “*Um peão que esteja atacando é mais importante do que um que não esteja*”. Desta forma, quando esta situação for identificada em uma partida automática, deve-se alterar o valor heurístico apenas dos peões que se enquadrem nesta situação, e não de todos. Então para disponibilizar esta opção, o conceito de *Heurística de Valor de Peça (HVP)* foi alterado. Agora este elemento é definido como:

- Uma regra de produção que quando sua condição for verdadeira, ela irá executar uma ou mais ações de valoração de peças (*Ação de Valor de Peça – AVP*).
- Uma *Ação de Valor de Peça* representa uma operação matemática no seguinte formato:
{conjunto de peças} operador aritmético valor numérico.

Na *Ação de Valor de Peça* o conjunto de peças alvo é encontrado a partir do uso de uma função pré-existente. O operador matemático é um dos elementares (*e.g.*, +, -, ×, ÷)⁹⁴. E o valor

⁹⁴ Na *DHJOG* a multiplicação pode ser representada com * ou ×, e a divisão com ÷ ou /.

numérico usado na operação é uma constante real. A nova estrutura deste tipo de heurística é exibida na Figura 52.

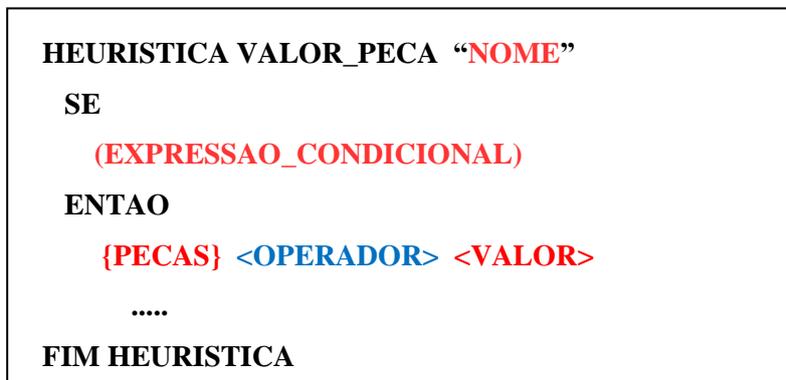


Figura 52 – Nova estrutura de uma *Heurística de Valor de Peça*.

A Tabela 13 demonstra um exemplo prático⁹⁵ de uso deste novo formalismo.

Linguagem Natural	<p><i>Caso eu possua a maior quantidade de peças no centro do tabuleiro.</i></p> <p><i>Cada peça minha nesta região vale 50% a mais.</i></p>
<i>DHJOG</i>	<p>CASA[] "CENTRO" <- {c6, d6, e6, f6, c5, d5, e5, f5, c4, d4, e4, f4, c3, d3, e3, f3}</p> <hr/> <p>HEURISTICA VALOR_PECA "DOMINIO_QUANTITATIVO_CENTRO"</p> <p>SE</p> <p style="padding-left: 20px;">MAIOR_QUANTIDADE_PECAS(CENTRO,EU) IGUAL VERDADEIRO</p> <p>ENTAO</p> <p style="padding-left: 20px;">PECAS_QUE_ESTAO({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA,REI},CENTRO,EU) * 1,5</p> <p>FIM HEURISTICA</p>

Tabela 13 – Exemplo de uso do novo conceito de *Heurísticas de Valor de Peça*.

⁹⁵ A formalização desta heurística na ferramenta gráfica de autoria *HeuChess* pode ser conferida na seção 6.2.4.2.

A definição da região central, e mesmo a construção de uma heurística como a apresentada na Tabela 13, são realizadas pelo autor de forma visual através do uso da ferramenta *HeuChess*. A especificação em *DHJOG* é apresentada de forma automática aos usuários para auxiliar na compreensão, análise, e compartilhamento dos conceitos formalizados. Visto que é uma representação de conhecimento de mais alto nível, em linguagem próxima da natural. Da mesma maneira que uma pseudolinguagem de programação⁹⁶.

6.1.3 Valores heurísticos para resultados de partidas

Com a criação de mecanismos visuais de detalhamento da avaliação heurística realizada em uma situação de partida, para que os usuários possam compreender todo o processo realizado (Ver seção 6.2.5). Fez-se necessário definir valores heurísticos simbólicos para os estados possíveis de uma partida de xadrez. A Tabela 14 apresenta estes símbolos.

Símbolo	Descrição	Significado
$+\infty$	Infinito positivo	Vitória minha
0	zero	Situação neutra. Ninguém possui vantagem heurística.
$-\infty + 1$	Quase infinito negativo	Empate
$-\infty$	Infinito negativo	Vitória do oponente

Tabela 14 – Valores heurísticos simbólicos de resultados de partidas.

⁹⁶ Pseudolinguagem (ou pseudocódigo) de programação é uma maneira facilitada de representar um algoritmo computacional. Normalmente utilizam de um conjunto restrito de palavras-chave, estas especificadas na língua nativa do estudante. E são usadas na capacitação inicial de desenvolvedores de softwares.

Para compreender a Tabela 14, devemos lembrar que: quando um jogador automático realiza uma análise heurística nos possíveis próximos lances para escolher uma jogada a ser realizada, ele sempre procura a situação que leve ao maior valor heurístico (que significa vantagem para ele e desvantagem para o oponente). Como foi anteriormente explicado na seção 3.2. Neste caso, a melhor situação é a vitória, a pior é a derrota. E para evitar ao máximo que o jogador automático escolha um movimento que leve ao empate, esta situação só é melhor do que perder.

6.1.4 Situação de partida

A formalização visual de situações de partida foi primeiramente disponibilizada no trabalho de Bueno *et al.* (2008). Mas naquele momento, a linguagem *DHJOG* não foi utilizada para apoiar este fim. No decorrer deste trabalho de doutoramento, houve a necessidade de refazer esta ferramenta gráfica para integrá-la aos novos mecanismos de competição heurística (Ver seção 6.2.3). Devido a isto, surgiu à oportunidade de adaptar a linguagem para também representar este tipo de informação. A Figura 53 apresenta esta nova estrutura.

```
SITUACAO_JOGO "NOME"  
  VANTAGEM <- "DESCRICAÇÃO"  
  FEN <- "FORMALIZAÇÃO EM FEN"  
FIM SITUACAO_JOGO
```

Figura 53 – Nova estrutura de formalização de Situação de Jogo em *DHJOG*.

Toda situação de jogo formalizada possui um nome, uma descrição textual da aparente vantagem na partida (*e.g.*, vantagem para as pretas, vantagem para as brancas, tudo igual). E a representação completa do momento atual utilizando a notação FEN⁹⁷. Vale salientar que a vantagem aparente é a interpretação pessoal do autor da formalização sobre o contexto apresentado, e pode se mostrar equivocada.

A Tabela 15 apresenta como exemplo um tabuleiro de uma partida, e a formalização desta situação de jogo em *DHJOG*.

Tabuleiro atual		Formalização em <i>DHJOG</i>
	<p>SITUACAO_JOGO "TESTE_DOMINIO_CENTRO" VANTAGEM <- "TUDO IGUAL" FEN <- "r5k1/8/4b3/8/2P5/4B3/8/3K4 w - - 0 10" FIM SITUACAO_JOGO</p>	

Tabela 15 – Exemplo de formalização de Situação de Jogo em *DHJOG*.

Uma pequena, mas importante mudança realizada na *DHJOG* foi à troca do uso da palavra JOGO por TABULEIRO na construção de algumas constantes da linguagem. Isto devido a fato de que o termo anteriormente em uso gerava dúvidas conceituais sobre os atributos tratados.

⁹⁷ *Forsyth-Edwards Notation* (FEN) é um método de notação utilizado para descrever completamente um determinado momento de uma partida de xadrez. Tais como: disposições das peças; quem irá jogar; movimentos especiais disponíveis (como roque, *en passant*); e até a propensão atual para empate (pela regra dos 50 movimentos). Steven J. Edwards desenvolveu este método como uma adaptação para uso em computadores da notação *Forsyth*, que foi criada no século XIX pelo jornalista David Forsyth (EDWARDS, 1994).

A linguagem não formaliza nenhuma regra do jogo, e sim apenas os conceitos heurísticos relacionados a como escolher um movimento. Neste caso, a configuração atual do tabuleiro é fundamental, já as regras não. Visto que elas são imutáveis. A descrição completa e atualizada da *DHJOG* para xadrez está disponível no Apêndice A.

6.2 A ferramenta de autoria *HeuChess*

A ferramenta *HeuChess* foi projetada e desenvolvida para facilitar o processo de autoria de conhecimento heurístico de xadrez. E para o estudo, compartilhamento e uso destas formalizações dentro de um processo de ensino e aprendizagem do jogo (FEITOSA *et al.*, 2007).

A autoria e uso deste tipo de conhecimento requer lidar com conceitos complexos (*e.g.*, táticas de xadrez, mecanismos de formalização, funcionamento de jogadores automáticos), que demandam do usuário uma carga cognitiva inicial alta. Com o intuito de amenizar este problema, na pesquisa realizada para o projeto da ferramenta foram estudadas e aplicadas diversas técnicas, veremos a seguir as principais (FEITOSA *et al.*, 2007):

- **Uso de *Múltiplas Representações Externas*.** O conhecimento heurístico é apresentado e manipulado pelo usuário utilizando-se de diferentes abordagens e *Representações Externas*. Onde ele opta pela que mais se adapte ao seu domínio atual da ferramenta, e do conteúdo. Willians (2001) constatou que este método: (i) facilita a tomada de decisões em domínios complexo; (ii) diminui a carga cognitiva necessária para o uso da ferramenta; (iii) torna informações imediatamente acessíveis; e (iv) representa conhecimento de forma estruturada e relacionada.

- **Conceito de Caixa Preta e de Caixa de Vidro integrados.** O usuário realiza a autoria de heurísticas como um processo de modelagem e simulação de sistemas. Ele define modelos, regras e variáveis que serão utilizadas pelo jogador automático durante uma partida artificial. O conceito de *caixa preta* consiste em permitir que simulações possam ser realizadas sem que a princípio o usuário conheça todos os mecanismos relacionados. Já o de *caixa de vidro* define que é possível ao aprendiz acessar, analisar e alterar todas as características utilizadas no processo de simulação, e aprofundar o seu estudo sobre o tema. Com o uso conjugado destas duas técnicas, o aluno consegue utilizar a aplicação desde o início dos estudos. E conforme consolida sua aprendizagem, acessa recursos mais avançados da ferramenta (MURRAY *et al.*, 2001).
- **Adaptação da interface ao nível de conhecimento do usuário.** Conforme visto na seção 6.1, a linguagem *DHJOG* foi projetada categorizando diversos níveis de expressividade (Ver Tabela 10). Devido a isto, a ferramenta permite ao usuário adaptar a interface gráfica e as representações externas utilizadas de acordo com o seu nível de conhecimento, em relação à formalização de heurísticas. Isto simplifica o uso da aplicação, visto que mecanismos não dominados pelo aprendiz permanecem ocultos a ele (SWIDERSK & PARKES, 2001).
- **Geração automática de codificação heurística.** O processo de formalização de conhecimento heurístico de jogo através da *DHJOG* resulta em vários elementos codificados (*e.g.*, regiões, etapas, heurísticas, funções). A ferramenta torna transparente ao usuário o processo de geração destas estruturas. O que simplifica a autoria por aprendizes iniciantes.

Podemos elencar também o uso do recurso de *Arrastar e soltar*⁹⁸. A utilização de *Facilitadores de Tarefas*⁹⁹. A definição de regiões de tabuleiro de forma visual (com uso de ferramentas de desenho). O agrupamento e classificação de informações e funcionalidades similares. E a visualização da relação entre as Etapas (que representam momentos temporais de uma partida) através do uso de *diagrama de estados*¹⁰⁰. Todos com o mesmo objetivo de facilitar o uso da ferramenta, principalmente para os aprendizes iniciantes.

O projeto e desenvolvimento inicial da ferramenta *HeuChess* está detalhado em Feitosa (2006). Nas próximas subseções serão analisadas as principais expansões realizadas neste sistema.

6.2.1 Gerenciamento de instituições e turmas

Para permitir a realização do estudo empírico sobre o uso da formalização de conhecimento heurístico dentro de um processo de ensino e aprendizagem (Ver capítulo 7). Uma das primeiras ações técnicas foi prover a ferramenta de mecanismos e módulos para gerenciamento de instituições, turmas, e usuários.

Foi criado um conjunto de papéis (perfis) para os atores do sistema. E de acordo com as atribuições definidas a cada um, as novas funcionalidades são liberadas e acessadas. Agora existem

⁹⁸ Arrastar e soltar (*Drag-and-Drop*) é uma ação disponível em interfaces gráficas de computadores que consiste em clicar em um objeto virtual, arrastá-lo a uma posição diferente, e soltá-lo. Normalmente é utilizada para invocar uma ação com o objeto inicialmente selecionado, ou para criar uma associação entre dois objetos abstratos.

⁹⁹ Facilitador de Tarefa (*Wizard*) é um tipo de interface gráfica que apresenta ao usuário uma sequência de caixas de diálogo, que o conduzem através de uma série de etapas bem definidas. Com o objetivo de auxiliar na realização de tarefas complexas.

¹⁰⁰ Diagrama de Estados é uma representação gráfica dos estados possíveis de um objeto, e das condições necessárias para a transição entre eles. Veja um exemplo no Apêndice D.

as figuras de: (i) aluno; (ii) coordenador de turma; (iii) coordenador de instituição, e (iv) administrador do sistema. Sendo que uma pessoa pode ter papéis diferentes em contextos diferentes. Por exemplo, um indivíduo pode ser apenas aluno da turma X, mas ser coordenador da turma Y.

A Figura 54 apresenta a aba para gerenciamento de instituições e turmas, que só é acessível para um administrador do sistema, coordenador de instituição, ou coordenador de turma.

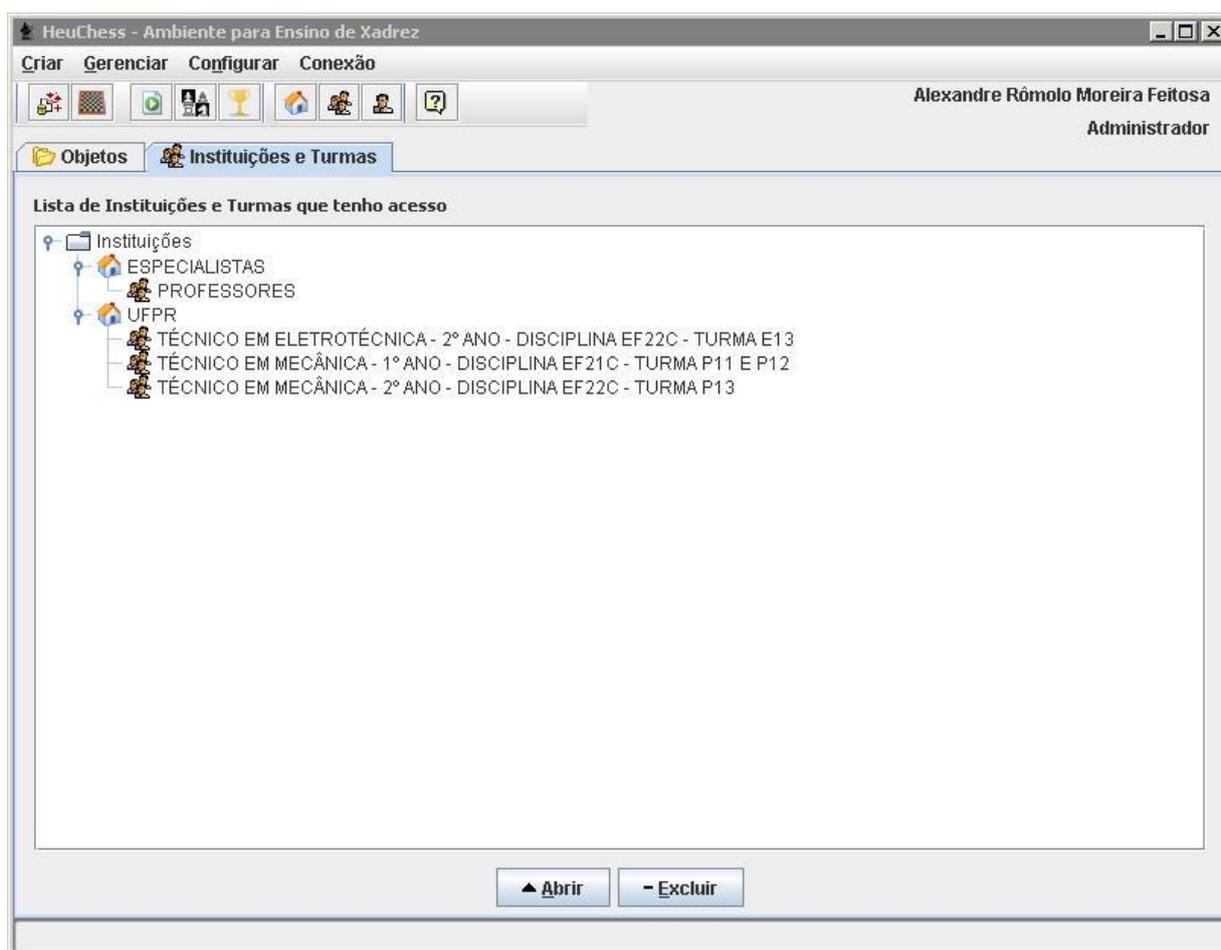


Figura 54 – Tela Principal – Aba de gerenciamento de instituições e turmas.

Dentre as diversas atribuições de um coordenador de turma, uma importante de se destacar é a de definir a política de compartilhamento e uso do material formalizado, por aprendizes da mesma turma. Pois através desta ação, ele pode fixar momentos de alternância entre a colaboração e competição entre os estudantes. A Figura 55 apresenta a interface para este gerenciamento.

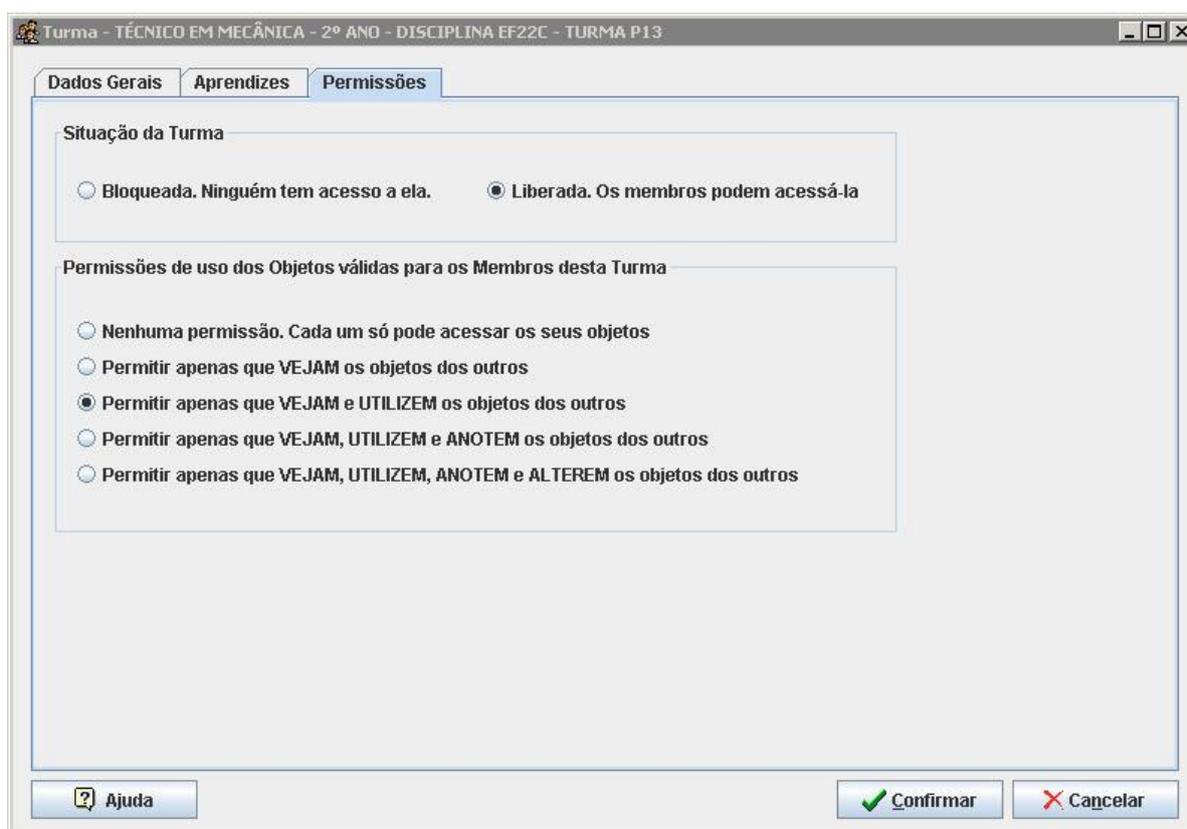


Figura 55 – Tela Turma – Permissões de acesso e uso de materiais entre aprendizes.

O coordenador da turma especifica se um membro desta pode: acessar; usar (através da avaliação ou competição heurística); anotar; ou alterar um objeto de outro colega. Esta definição pode ser alterada a qualquer momento. E não faz referência ao uso dos próprios objetos por um usuário.

6.2.2 Repositório de objetos e acesso a itens de colegas

Um usuário pode formalizar dois tipos de conteúdos: *Situação de Jogo* (Ver seção 6.2.3); e *Conjunto Heurístico* (Ver seção 6.2.4). E todos os objetivos criados por ele são armazenados em um repositório, onde se pode gerenciá-los.

Cada pessoa pode fazer parte de uma ou mais turmas. E para cada grupo que ela esteja relacionada, é possível ver quem são seus colegas e coordenadores. E de acordo com as permissões de compartilhamento atribuídas (Ver seção 6.2.1), ela pode acessar os repositórios dos colegas. A Figura 56 exibe onde esta ação é disponibilizada.

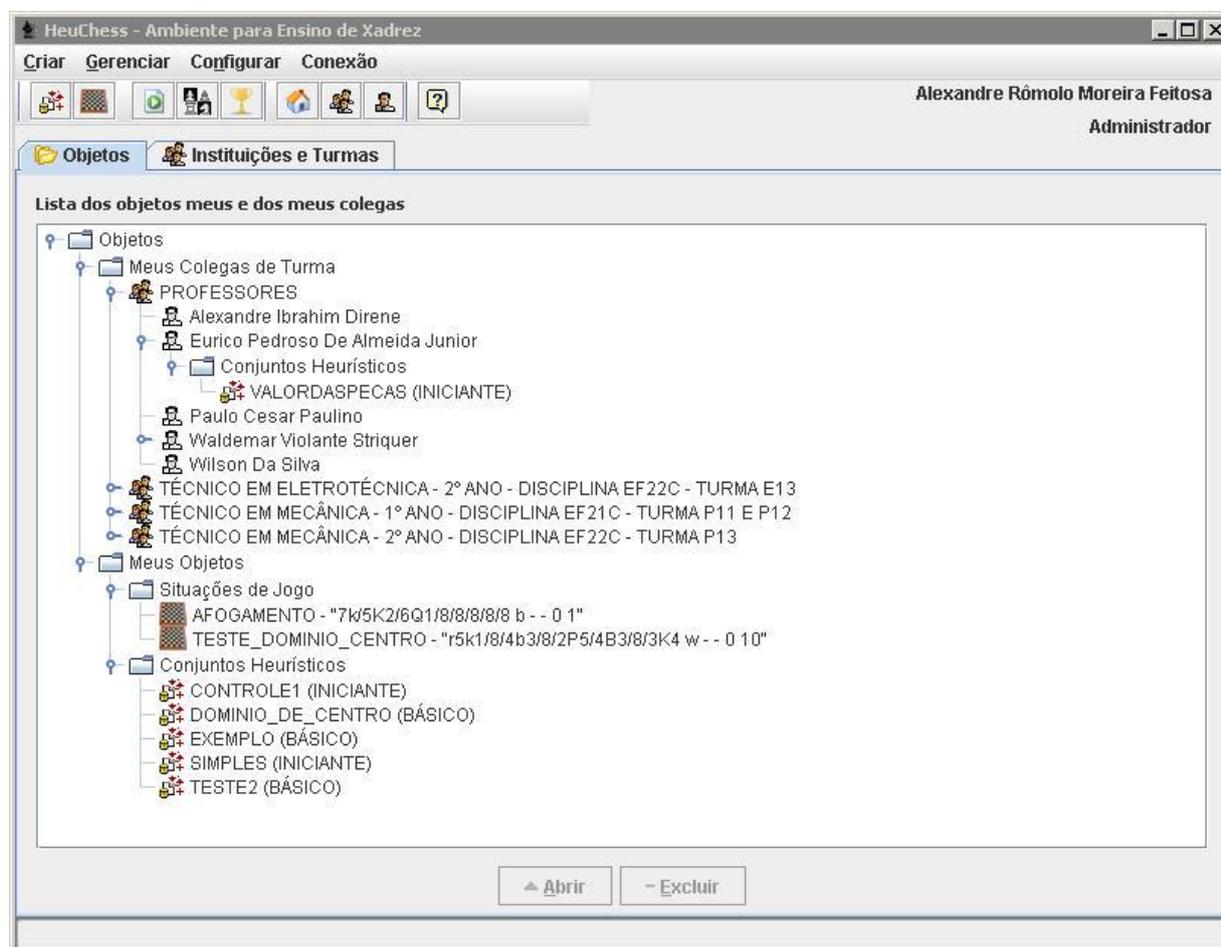


Figura 56 – Tela Principal – Visualização de objetos próprios e dos colegas.

6.2.3 Formalização de situação de jogo

Uma etapa importante para o aprendizado de conceitos enxadrísticos é o de especificação de situações de partida. Nesta ação o aprendiz descreve um determinado momento do jogo, indicando as questões materiais e posicionais. E de acordo com a metodologia utilizada, ainda é possível incluir nestas representações questões temporais, possíveis movimentos especiais, e até a propensão a empate. A linguagem *DHJOG* foi expandida para permitir este tipo de formalização (Ver seção 6.1.4).

O trabalho de Bueno (2008)¹⁰¹ incluiu uma primeira versão de um módulo para a criação de situações de jogo dentro da ferramenta *HeuChess*. Mas neste caso, a proposta era de uma ferramenta a ser utilizada apenas por enxadristas especialistas (*i.e.*, tutores), na construção de material pedagógico para aprendizes.

Neste trabalho de doutoramento, o objetivo foi expandir este conceito e permitir que esta formalização possa ser realizada por qualquer indivíduo, inclusive os estudantes iniciantes. E que as situações de jogo criadas possam ser acessadas, usadas, e compartilhadas entre outros usuários da ferramenta. Para tal esta funcionalidade foi refeita. Um exemplo de uso desta nova interface está disponível na seção 7.4.2.1.

¹⁰¹ Bueno (2008) é uma dissertação de mestrado, e está disponível para consulta pública através da rede internet no endereço <http://hdl.handle.net/1884/16086>.

6.2.4 Formalização de heurísticas de xadrez

A formalização de conhecimento heurístico de xadrez para ser utilizada por um jogador automático compreende a criação de diversos componentes (*e.g.*, regras heurísticas, regiões, funções). Que atuarão de forma integrada, e estarão encapsulados em um objeto denominado pela linguagem *DHJOG* de *Conjunto Heurístico* (FEITOSA *et al.*, 2007).

Com as expansões ocorridas na linguagem de representação (Discutidas na seção 6.1), e com a incorporação de novas funcionalidades de avaliação heurística (Ver seção 6.2.5 e 6.2.6). Alguns módulos de formalização da ferramenta de autoria também precisaram ser adaptados. Discutiremos algumas destas alterações nesta seção.

6.2.4.1 Região simétrica de tabuleiro

Primeiramente, quando um usuário especifica uma região de tabuleiro para utilizá-la na construção de uma regra heurística, ele deve fazê-lo sem considerar qual é a cor de peças que ele usará durante a partida artificial. Pois o *Conjunto Heurístico* por ele criado poderá em determinado momento jogar com as brancas, e em outro com as pretas.

Durante os primeiros testes realizados com a *HeuChess*, constatou-se que este conceito de simetria heurística, que foi discutido em Feitosa *et al.* (2007), ainda permanecia dúbio aos usuários durante a etapa de autoria. Então para evitar erros de formalização, a interface gráfica de especificação de regiões de tabuleiro teve acrescida uma funcionalidade para permitir ao autor, verificar em tempo real, qual é a área simétrica a que ele está formalizando. E um texto explicativo

da atividade foi adicionado. A Figura 57 apresenta a tela de edição de região em modo normal. E Figura 58 a mesma tela com a visualização da região simétrica ativada.



Figura 57 – Telas Região – Modo normal de edição.



Figura 58 – Tela Região – Modo de visualização de região simétrica.

6.2.4.2 Heurísticas de Valor de Peça

Com a modificação da especificação das heurísticas de valoração de peças na linguagem *DHJOG* (Ver seção 6.1.2), a interface gráfica de autoria destes componentes precisou ser atualizada. Foi desenvolvido então um facilitador de tarefa para a criação e edição de *Ações de Valoração de Peças*, e na tela de edição de heurísticas foi incluído o gerenciamento destes novos componentes.

A Figura 59 apresenta o momento de formalização de uma destas heurísticas¹⁰², já a Figura 60 apresenta o código *DHJOG* gerado automaticamente nesta operação.

Heurística - DOMINIO_QUANTITATIVO_CENTRO

Dados Principais Anotações Código Gerado

Nome: DOMINIO_QUANTITATIVO_CENTRO

Autor: Alexandre Rômolo Moreira Feitosa

Versão: 3 Criação: 22/11/2012 Modificação: 22/11/2012

SE

MAIOR_QUANTIDADE_PECAS(CENTRO,EU) IGUAL VERDADEIRO

ENTÃO

Alterar Valor de Peça Alterar Valor Total do Tabuleiro Ir para Outra Etapa

PECAS_QUE_ESTAO({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA,REI},CENTRO,EU) * 1,5

Ajuda Confirmar Cancelar

Figura 59 – Tela Heurística – Aba principal de uma heurística de valor de peças.

¹⁰² Esta heurística já foi apresentada na Tabela 13, onde o seu conceito é explicado também em linguagem natural.

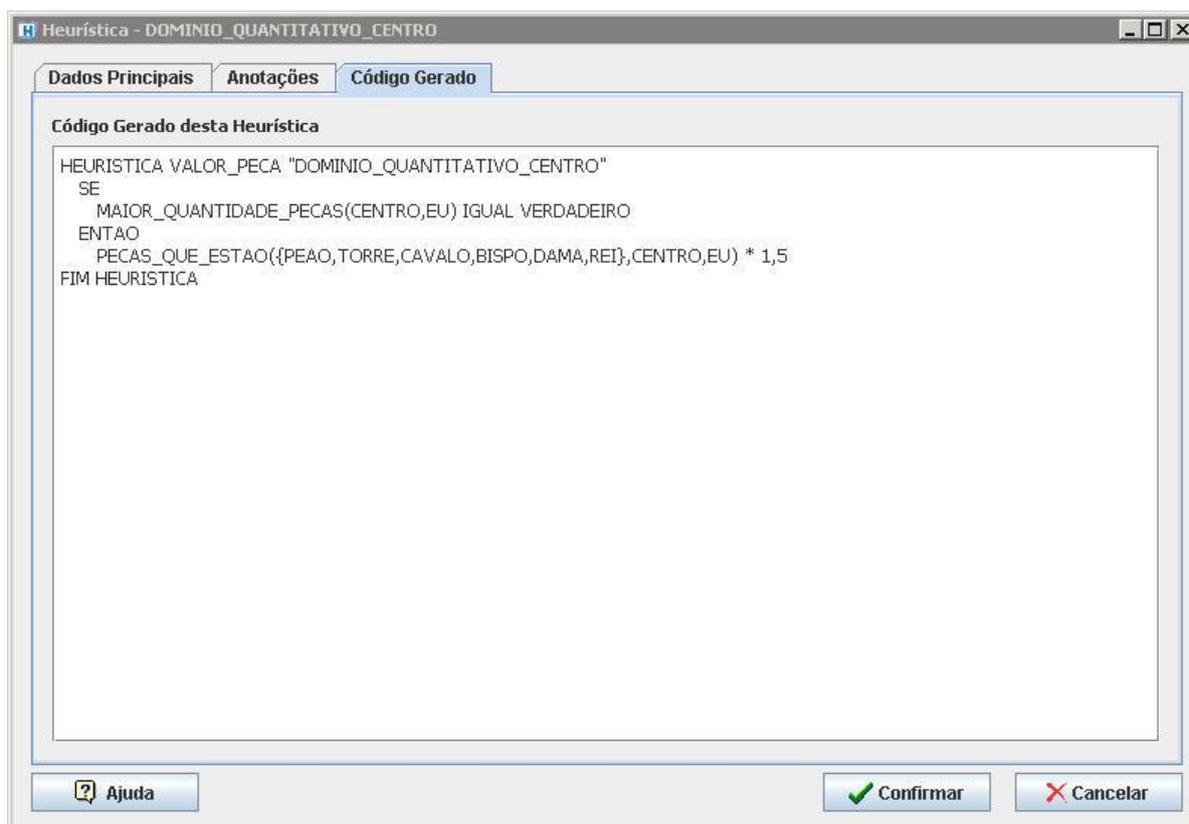


Figura 60 – Tela Heurística – Aba de visualização do código *DHJOG* gerado.

Para que a autoria de *Ações de Valoração de Peças* fosse simplificada, também foi necessário aumentar o conjunto de funções prontas de identificação de contextos, disponibilizadas na ferramenta. Isto se deu através do acréscimo de funções que retornassem conjuntos de peças. A Tabela 16 lista estes novos elementos.

Nome	Descrição
PECAS_QUE_AMEACAM	Retorna as peças do jogador que estão ameaçando as peças dos tipos especificados na chamada, dentro da região especificada.
PECAS_AMEACADAS_POR	Retorna as peças do jogador que estão sendo ameaçadas pelas peças dos tipos passados na chamada, dentro da região especificada.
PECAS_QUE_ESTAO	Retorna as peças que estão dentro da região passada, e que são dos tipos procurados, e que pertencem ao jogador especificado.

Tabela 16 – Novas funções criadas que retornam conjuntos de peças.

6.2.5 Avaliação heurística de uma situação de jogo

Um *Conjunto Heurístico* nada mais é do que uma função de avaliação, utilizada por um jogador automático para valorar os possíveis tabuleiros resultantes, das possíveis próximas jogadas. E de acordo com os valores encontrados, o jogador automático escolherá o movimento que leve ao tabuleiro de menor vantagem ao oponente, e de maior vantagem para o jogador que ele representa (Ver capítulo 3).

O uso de um *Conjunto Heurístico* para avaliar apenas um tabuleiro, fora do contexto de uma partida artificial, contribui para a compreensão pelo aprendiz destes conceitos envolvidos. E também propicia o refinamento constante de um conjunto durante a sua formalização. Permitindo testar sua atuação em determinadas situações de partida, mais facilmente.

O primeiro desenvolvimento desta funcionalidade foi realizado no trabalho de Bueno *et al.* (2008), e era direcionado a usuários com conhecimento elevado da ferramenta. Mas com a inclusão de novos conceitos na linguagem *DHJOG* (Descritas na seção 6.1). E com a alteração dos mecanismos de formalização de situações de jogo (Ver seção 6.2.3). Este módulo precisou ser refeito. E neste novo processo de desenvolvimento, optou-se pela criação de um módulo mais simples e didático, para que este fosse também utilizado por aprendizes iniciantes.

No uso desta nova funcionalidade o primeiro passo é escolher o *Conjunto Heurístico* a ser usado. A seguir a *Situação de Jogo* e para qual cor de peças será feita a análise. E ao final, a descrição completa de todas as etapas da avaliação é exibida ao usuário. A Figura 62 mostra o resultado da avaliação heurística do tabuleiro e cor de peças escolhidos na Figura 61, utilizando a regra heurística já apresentada na seção 6.2.4.2.

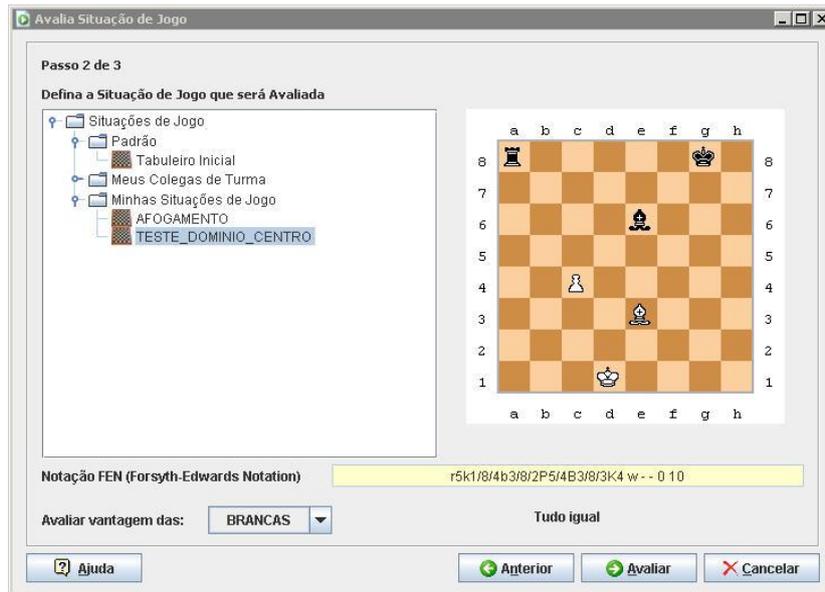


Figura 61 – Tela Avalia Situação de Jogo – Escolhendo a situação de jogo alvo.



Figura 62 – Tela Avalia Situação de Jogo – Resultado da avaliação heurística.

6.2.6 Competição heurística

Um dos principais objetivos deste trabalho é permitir a um aprendiz formalizar conhecimento heurístico de xadrez (Ver seção 1.3), e validar esta especificação através da competição artificial entre sua criação e a de outros estudantes.

Diversos trabalhos anteriores foram feitos como preparação para este objetivo. Todos ligados ao projeto PROTEX (Ver seção 5.4). Mas até este estudo de doutoramento, esta tarefa ainda não havia sido alcançada. Para concretizarmos tal resultado, diversas ações prévias foram feitas, como: (i) a expansão da linguagem *DHJOG* (Ver seção 6.1); (ii) o desenvolvimento de novos mecanismos de formalização (Ver seção 6.2.4); (iii) a reconstrução do módulo de avaliação de *Situação de Jogo* (Ver seção 6.2.5); e por fim (iv) a criação de um jogador automático de xadrez.

Foi desenvolvida então uma ferramenta que permite ao usuário da *HeuChess* criar uma partida artificial. Primeiro se escolhem os dois *Conjuntos Heurísticos*. Depois a *Situação de Jogo* de início (isto permite começar a partir de um tabuleiro diferente do inicial do xadrez). E por fim as configurações de quem ira jogar com qual cor de peças, quais as profundidades de buscas utilizadas por cada jogador, e qual o modo de execução do confronto (que pode ser *Automático* ou *Passo a Passo*). A Figura 63 apresenta a tela com a entrada destes parâmetros.

No modo de execução *Automático*, os dois jogadores artificiais vão escolhendo os lances de forma alternada, sem aguardar qualquer liberação por parte do usuário. Este só pode acompanhar o progresso do jogo, sem verificar os detalhes que levaram a escolha de cada lance. A partida é realizada de forma rápida, e utiliza um algoritmo de busca simplificado. A Figura 64 apresenta a tela de uma partida realizada neste modo.

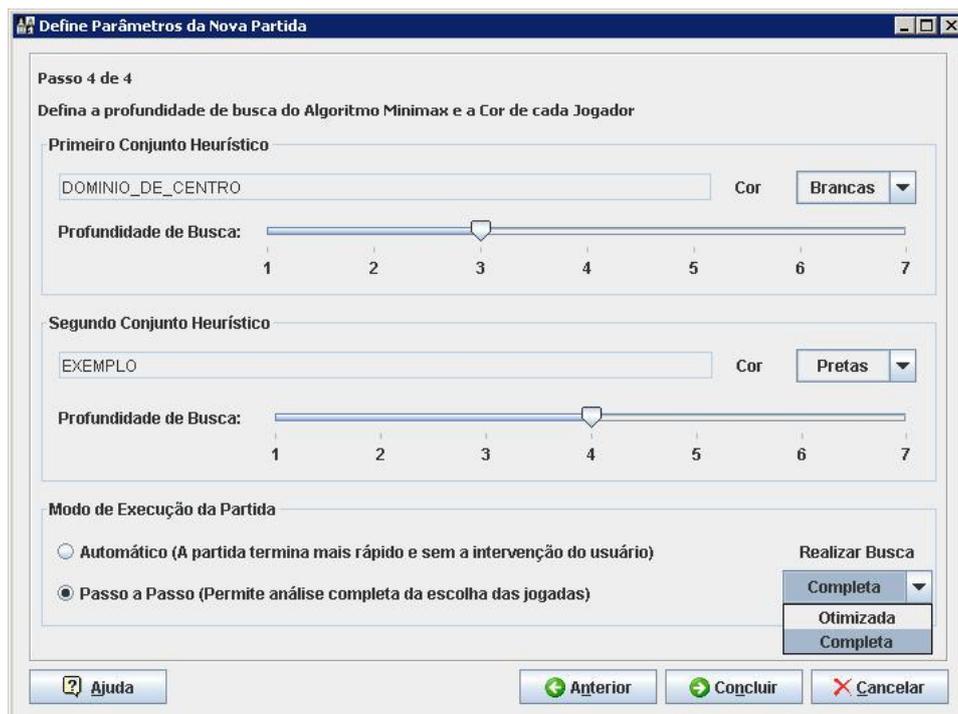


Figura 63 – Tela de Criação de Confronto Heurístico – Definição de parâmetros.



Figura 64 – Tela de Confronto Heurístico – Modo de execução automática.

Já no modo de execução *Passo a Passo* é o usuário quem define quando será realizado o próximo lance. Um jogador automático escolhe uma jogada, realiza o movimento, e a interface gráfica exibe todo um conjunto de informações que permitem ao aprendiz entender como foi feita a escolha daquela ação. Para passar a vez de jogar para o outro jogador artificial, o usuário deve apertar um dos botões de navegação (que contem imagens de setas verdes, e permitem ir para a próxima jogada, para a anterior, a primeira, e a última). A Figura 65 apresenta a tela de uma partida executada neste modo.



Figura 65 – Tela de Confronto Heurístico – Modo de execução passo a passo.

Na tela de criação de confronto artificial, quando se escolhe o modo de execução *Passo a Passo*, é possível também escolher como a busca heurística será realizada (Ver Figura 63).

As opções são:

- *Busca Otimizada*: Utiliza um algoritmo **com poda** Alfa-Beta (α - β), que é rápido, pois não gera todos os lances possíveis (Ver seção 3.2).
- *Busca Completa*: Utiliza um algoritmo minimax **sem podas**, que gera todos os lances possíveis, o que o torna muito mais lento e impraticável para uma partida completa. Mas ideal para a compreensão do funcionamento dos algoritmos de buscas, e para a análise de certas circunstâncias de jogo.

A interface gráfica do modo *Passo a Passo* (Figura 65) fornece funcionalidades similares a de uma ferramenta de *debug*¹⁰³, de um ambiente de programação. E através dela o usuário pode:

- Estudar toda a árvore de lances gerados (Ver seção 2.2.1) pelo jogador automático.
- Verificar qual o valor heurístico calculado em cada nó da árvore. Lembrando que o jogador atual escolhera para cada nível seu o maior valor, e o adversário nos níveis dele o menor. Princípio do algoritmo minimax (Ver seção 3.2).
- Ver a descrição textual detalhada da avaliação heurística dos tabuleiros finais (ou nós folhas) da árvore. Só são avaliados os casos que significam vitória, derrota ou empate, ou que estão no limite da profundidade de busca. Esta informação é visualizada da mesma maneira demonstrada na Figura 62.
- Ver a quantidade de avaliações iguais a pior e a melhor realizada. E localizar uma de cada na árvore de lances.

¹⁰³ Ferramentas de *debug*, *debugging*, ou depuração permitem ao programador acompanhar os detalhes de execução de um software. E isto o auxilia na tarefa de encontrar erros, e de melhorar o desempenho do programa.

O projeto de um jogador automático que fizesse a avaliação heurística utilizando formalizações em *DHJOG* iniciou-se pelo estudo de soluções de código aberto, e gratuito, disponíveis na comunidade através da rede internet. Destacamos aqui como importante material de introdução a este tema, o projeto francês *jChecs*¹⁰⁴, de autoria de David Cotton. Que consiste de uma solução feita em *Java* (mesma tecnologia adotada na *HeuChess*), para auxiliar na introdução dos conceitos básicos de programação para xadrez (COTTON, 2013).

Cabe citar também que foram utilizadas diversas técnicas de otimização na construção deste novo módulo da *HeuChess*. Como por exemplo, o uso de Tabelas de Transposição (Ver seção 3.2).

6.2.7 Campeonato heurístico

Com a criação da funcionalidade de competição heurística (Ver seção 6.2.6), foi possível desenvolver um módulo na ferramenta *HeuChess* que permite a qualquer usuário criar um campeonato, entre diversos *Conjuntos Heurísticos*. A pessoa pode incluir na competição suas formalizações heurísticas, e dependendo das permissões de compartilhamento (Ver seção 6.2.2), também a dos colegas de turma.

O campeonato é realizado no formato *Round Robin*¹⁰⁵. Sendo que como no xadrez existe certa vantagem em jogar com as peças brancas (pois começam a partida), cada heurística enfrenta outra duas vezes. Uma jogando com as brancas, e outra com as pretas.

¹⁰⁴ O site oficial da ferramenta *jChecs* é <http://jchecs.free.fr>. Aparentemente o projeto está descontinuado desde 2009.

¹⁰⁵ *Round Robin* (todos contra todos, ou pontos corridos). Neste sistema cada competidor enfrenta todos os demais. Ao final vence quem conseguir a maior pontuação. Neste formato o número de partidas é igual para todos os jogadores. A classificação final é considerada justa, visto que todos se enfrentam. O impacto de perder uma partida não é tão grande (como em um sistema eliminatório). Mas gera um número elevado de confrontos.

A profundidade de busca e a mesma para todos. E é possível realizar mais de uma partida simultaneamente¹⁰⁶. Mas as informações geradas pelos jogadores automáticos para a escolha de cada lance não são acessíveis. A Figura 66 apresenta a tela durante a execução das partidas de um torneio.

Para cada confronto realizado, é atribuída uma pontuação pela vitória, empate, ou derrota para cada *Conjunto Heurístico* envolvido. Estes valores são definidos pelo usuário. Ao final da competição, cada heurística tem sua pontuação somada, e é a classificação é gerada. Caso existam jogadores com a mesma pontuação, o critério de desempate primeiro é a quantidade de vitórias, e depois o de empates. A Figura 67 exibe a tela com o resultado de um campeonato.

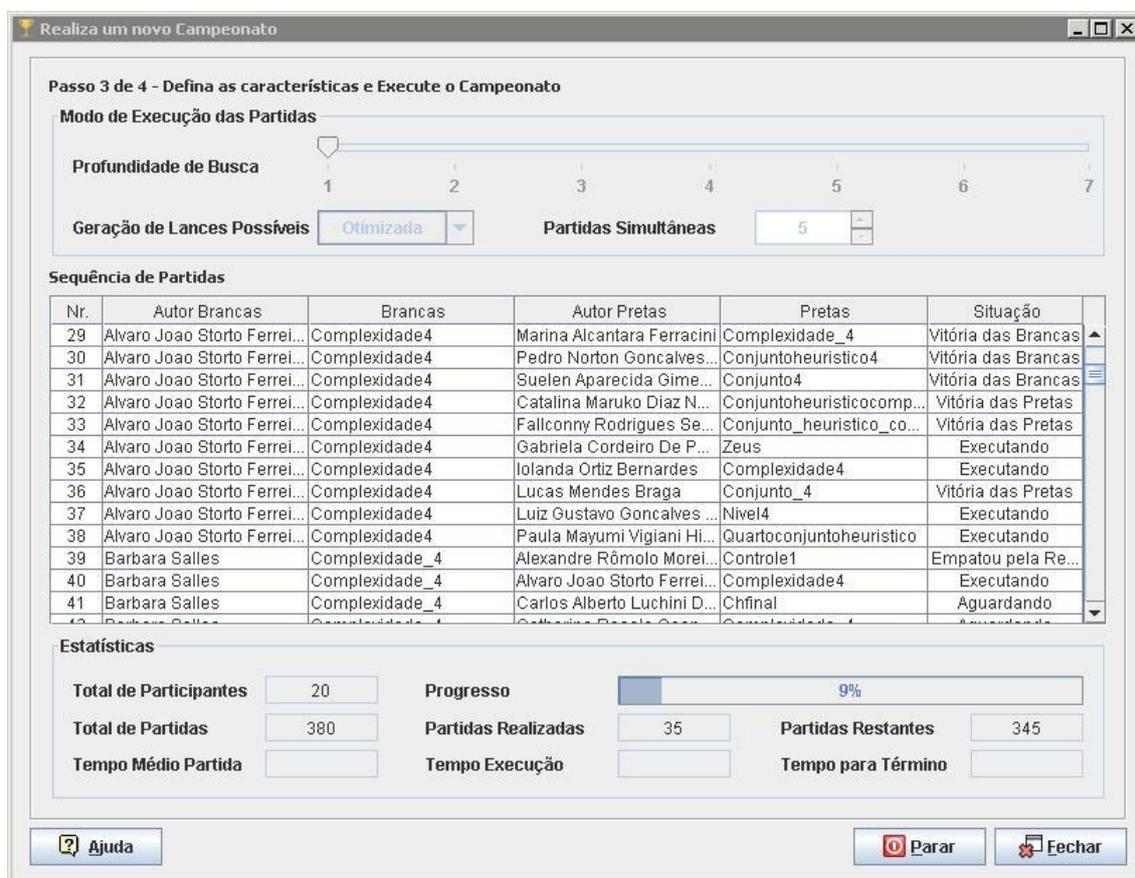


Figura 66 – Tela Campeonato – Executando as partidas artificiais.

¹⁰⁶ Isto depende do número de linhas de execução de programa paralelas suportadas. Varia de acordo com a quantidade de processadores, e de núcleos de cada processador.

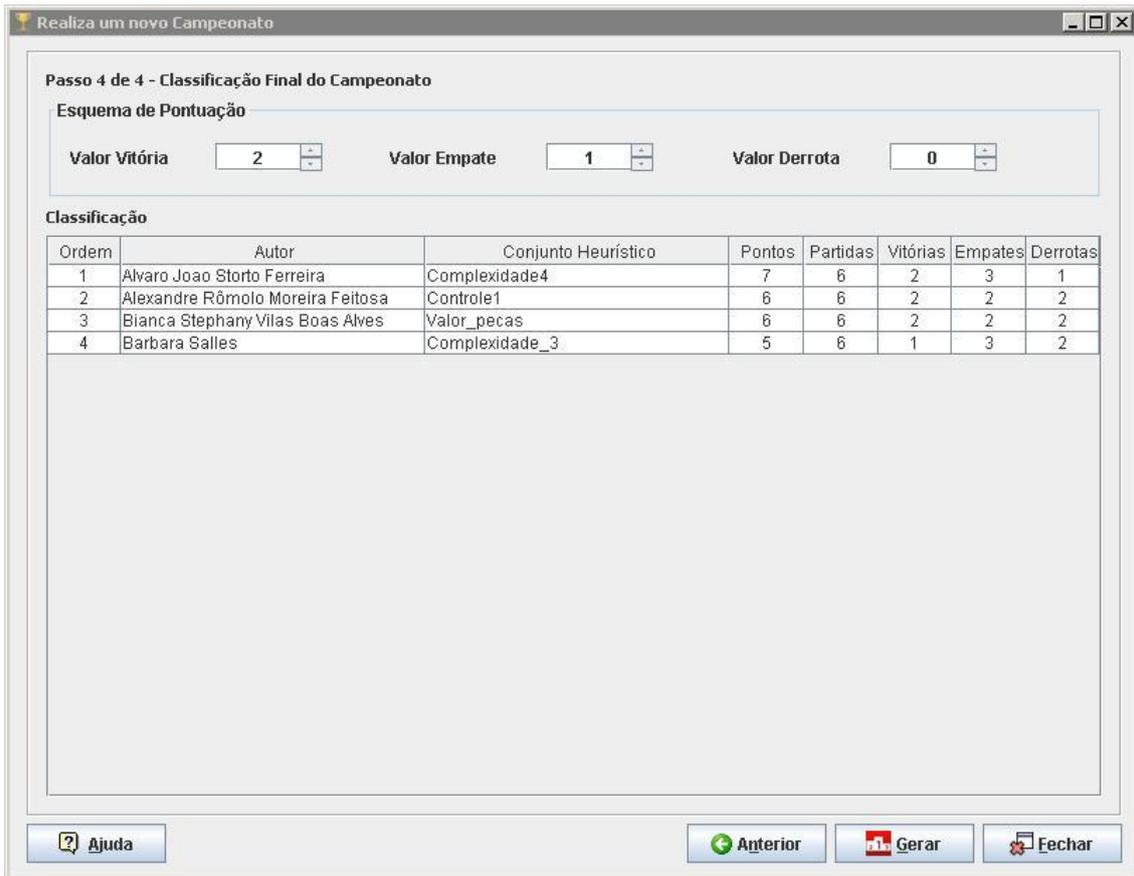


Figura 67 – Tela Campeonato – Exibindo a classificação final.

A criação destas novas funcionalidades descritas na seção 6.2 foi realizada com a ocorrência de vários ciclos de atividades (*e.g.*, análise, projeto, programação, testes, refinamento), de forma iterativa e incremental. E durante estas etapas foram adotados *métodos ágeis*¹⁰⁷ de desenvolvimento.

Neste texto não foram tratadas as alterações relacionadas ao armazenamento dos dados criadas na ferramenta, visto que são modificações de baixa complexidade. Então como complemento, está disponível no Apêndice B o modelo lógico de persistência atualizado da *HeuChess*.

¹⁰⁷ Métodos ágeis visam acelerar o desenvolvimento de software. Nesta abordagem se cria uma versão mínima funcional da aplicação, e a cada nova iteração incluem-se novas funcionalidades. Neste processo iterativo, a cada ciclo é feito testes e levantamentos de requisitos com os usuários.

6.3 Limitações existentes no ferramental

O trabalho de expansão da linguagem *DHJOG*, e de inclusão de novos módulos na ferramenta *HeuChess* foram realizadas com o objetivo primordial de viabilizar o estudo empírico deste ferramental (Ver capítulo 7). E para isto, atenderam-se preferencialmente as demandas descritas nos objetivos específicos deste trabalho de doutoramento (Ver seção 1.3.2).

Para que não se perca o horizonte de evolução contínua desta solução, iremos enumerar nesta seção as lacunas e opções de melhorias já constatadas, e que se configuram como oportunidades de estudos futuros.

Existem algumas ações avançadas que a linguagem *DHJOG* não contempla, mas que não implicam em prejuízo no seu uso educacional. Contudo caso fossem incluídas, estas possivelmente contribuiriam para a formalização de heurísticas mais eficazes em competições, são elas:

- i). Especificar estratégias de longa duração, que permitam o encadeamento de vários movimentos.
- ii). Arriscar um lance ou a aplicação de uma estratégia (possibilidade de aleatoriedade).
- iii). Permitir um prejuízo momentâneo que desvie a atenção do adversário, com o intuito de alcançar uma vantagem maior futuramente (*i.e.*, sacrifício).
- iv). Criar heurísticas baseadas no comportamento prévio do oponente. Isto através da análise do histórico de jogadas na partida, e em outras com o mesmo concorrente.
- v). Desistir de uma partida, ou forçar um empate, quando se considera que não existe mais a possibilidade de vitória.
- vi). Realizar partidas artificiais com limite de tempo por lance, ou para toda a partida.

Em relação à ferramenta de autoria *HeuChess*, averiguamos que a mesma ainda carece de:

- i). Integração com o servidor gratuito de xadrez do CEX (Ver seção 5.4).
- ii). Migrar o acesso à base de dados do modelo Cliente-Servidor¹⁰⁸ com conexão direta via TCP/IP, para o modelo de distribuição via *Web service*¹⁰⁹.
- iii). Adotar mecanismos que permitam a cópia integral ou parcial de formalizações heurísticas entre os aprendizes, e o rastreamento destas atividades.
- iv). Criação da documentação *online*¹¹⁰ de ajuda aos aprendizes e instrutores.
- v). Melhorar o desempenho de processamento do avaliador heurístico quando este está interpretando formalizações complexas de xadrez.
- vi). Módulos inteligentes de tutoria para as atividades dos usuários na ferramenta.
- vii). Incorporar o suporte a autoria de elementos dos níveis 5 e 6 de expressividade da linguagem *DHJOG* (Ver Tabela 10).

As limitações aqui descritas não interferiram de maneira substancial na realização do estudo empírico (Descrito no capítulo 7). Mas entendemos que para a aplicação de novos experimentos, que ambicionem atestar a eficiência da abordagem com um público de perfil diferente (*i.e.*, enxadristas especialistas), ou com uma quantidade maior de pessoas ou entidades. Algumas destas restrições devem ser previamente sanadas. Devido a isto, estas foram incluídas na relação de temas para trabalhos futuros (Ver seção 8.2).

¹⁰⁸ Cliente-Servidor é um modelo computacional onde aplicativos distintos se comunicam através de uma rede de dados. O Servidor centraliza a realização de ações pedidas ou processadas por um ou mais clientes.

¹⁰⁹ *Web service* é um modelo de integração de sistemas e de comunicação entre aplicações distintas. Objetiva a fácil e padronizada troca de informações entre programas, sejam eles com tecnologia ou em plataformas diferentes.

¹¹⁰ *Online* se refere a serviços ou documentos disponíveis para serem acessados através da rede internet.

6.4 Discussão final sobre o capítulo

Neste capítulo apresentamos e discutimos as expansões realizadas na linguagem de formalização de conhecimento heurístico de jogo *DHJOG*, e na ferramenta de autoria *HeuChess*. Este incremento era necessário para viabilizar o estudo empírico do uso deste ferramental, em um ambiente de ensino e aprendizagem de xadrez (Ver capítulo 7).

Como visto na revisão bibliográfica feita na área de ensino de xadrez apoiada por software (Ver capítulo 4 e 5), a proposta de permitir a formalização de heurísticas de jogo por aprendizes, e que estes validem suas representações através de competições artificiais, não era possível até o momento. Devido à ausência de ferramentas computacionais funcionais com este enfoque. Seja no meio acadêmico ou comercial.

Lacuna esta que foi preenchida por este trabalho de doutoramento, de maneira ainda introdutória e experimental. Mas que não encerra a análise sobre o tema, e sim abre a possibilidade de criar novas indagações decorrentes desta abordagem. Como por exemplo, qual seria a eficiência pedagógica do seu uso? Ou, as técnicas e tecnologias adotadas no desenvolvimento das ferramentas suprem a demanda computacional exigida? Mesmo para um problema notoriamente complexo como o xadrez (Ver seção 2.2.1).

Algumas destas dúvidas são tratadas neste trabalho (Ver capítulo 7), outras ficam como pesquisas futuras (Ver seção 8.2). Porém já vislumbramos que a disponibilidade deste ferramental propicia a integração e a prática de diversas áreas do conhecimento (*e.g.*, Educação, Matemática, *etc.*), como defendido desde Direne *et al.* (2004). Isto devido à própria natureza da simulação de competidores artificiais que permite um modo preciso de aferição de resultados de formalização.

CAPÍTULO 7

ESTUDO EMPÍRICO

Com a conclusão da expansão do ferramental de formalização de conhecimento heurístico, que agora permite a competição artificial entre as representações criadas (Ver capítulo 6). Foi possível realizar um estudo empírico para analisar o impacto do estímulo a formalização de conhecimento heurístico de jogo por aprendizes, e da alternância entre colaboração e competição entre estes estudantes, dentro de um processo real de ensino e aprendizagem de xadrez.

A aplicação prática desta abordagem era ambicionada desde as primeiras pesquisas desenvolvidas pelo projeto PROTEX (DIRENE *et al.*, 2004). Mas que pela complexidade técnica envolvida na tarefa, só pode ser concretizada após uma sequência de estudos consecutivos e incrementais de Martineschen *et al.* (2006), Feitosa *et al.* (2007) e Bueno *et al.* (2008), e que culminaram neste trabalho de doutoramento.

Lembramos que este estudo prático vem de encontro aos objetivos desta pesquisa (Ver seção 1.3), que ratificaram a hipótese levantada (Ver seção 1.2). De que a adoção deste ferramental, colabora para melhor compreensão pelos aprendizes dos conceitos de xadrez, tratados pelos instrutores.

Neste capítulo então detalharemos os aspectos relacionados à realização desta observação prática. Na seção 7.1, elencamos os objetivos fixados. Já na seção 7.2 esta o planejamento, e na seção 7.3 a preparação que foram feitas. No item 7.4 especificamos as atividades aplicadas aos alunos. Na seção 7.5 são descritos os campeonatos artificiais executados. No tópico 7.6, criticamos os resultados encontrados. E por fim, na seção 7.7, ocorre uma discussão sobre este capítulo.

7.1 Objetivos

Definimos metas ao estudo empírico que foram alcançadas em sua realização, são elas:

- i). Conectar uma turma de aprendizes de xadrez e permitir que eles formalizem, compartilham, e simulem competições entre conhecimento heurístico de táticas de xadrez.
- ii). Criar um repositório com as definições táticas e os dados de interação social, todos produzidos cooperativamente e competitivamente.
- iii). Determinar as relações que revelam o potencial da cooperação humana no desenvolvimento de habilidades táticas consideradas efetivas, com base na capacidade de vencer competições simuladas.
- iv). Determinar o impacto do uso da formalização de heurísticas de jogo pelos aprendizes, e os efeitos associados às atividades de colaboração e competição entre eles.

A metodologia seguida para a realização do estudo é composta de diversas atividades, que podem ser agrupadas em 5 distintas etapas: (i) planejamento; (ii) preparação; (iii) aplicação; e (iv) diagnóstico. Sendo que esta última foi dividida no texto em duas seções: competição artificial, e análise sobre os resultados encontrados.

Algumas destas fases foram realizadas linearmente e outras com ciclos iterativos e incrementais. Durante o decorrer deste capítulo elas serão contextualizadas, detalhadas, e os principais artefatos resultantes serão apresentados e discutidos.

7.2 Planejamento

Nesta etapa foi realizado o planejamento dos testes práticos com aprendizes e instrutores reais. Foi definido o escopo de elementos do ambiente e da linguagem, o perfil do grupo de usuários, e as características de condução das atividades, de registros, e de totalização dos dados encontrados.

O perfil dos usuários alvo escolhido foi de enxadristas iniciantes. Foi definido que seriam realizados testes com três turmas matutinas do ensino médio integrado da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), do campus Cornélio Procópio¹¹¹. Uma turma do segundo ano de Técnico em Eletrotécnica. E duas turmas do Técnico em Mecânica, uma do primeiro, e uma do segundo ano.

Nestes cursos, na disciplina de Educação Física é ensinado xadrez pelo período de um bimestre. Com carga horária semanal de duas horas-aula¹¹², dividida em dois dias. O perfil destes alunos é basicamente de adolescentes de 16 e 17 anos, de ambos os sexos, com experiência no uso da informática. E a maioria possui pouco ou nenhum conhecimento do xadrez.

As ferramentas computacionais de apoio ao ensino e aprendizagem de xadrez, que possibilitam a formalização de conhecimento heurístico de jogo pelo aprendiz, seriam incorporadas no ferramental pedagógico a ser utilizado pelo instrutor de cada turma. Como atividade extraclasse de fixação de conteúdo, através da realização de exercícios práticos e de questionários de avaliação. E estas atividades corresponderiam a 20% da nota bimestral final de cada aluno, na disciplina envolvida.

¹¹¹ Foi escolhido este campus devido ao fato de que o autor deste trabalho de doutoramento é professor efetivo desta instituição, nesta localidade, e por isto já atuava com os professores locais envolvidos com o ensino de xadrez.

¹¹² Cada hora-aula corresponde a 50 minutos de atividades.

Os métodos científicos escolhidos para a coleta dos dados relacionados às atividades propostas neste estudo, e desenvolvidas com os aprendizes e instrutores, são:

- i) Estudos **exploratório-descritivos combinados**. Nesta abordagem podem ser realizadas análises empíricas e teóricas, e os procedimentos de amostragem são maleáveis. E possibilitam encontrar tanto descrições qualitativas e quantitativas, e as informações podem ser registradas de forma detalhada (MARCONI & LAKATOS, 1999).
- ii) O **método clínico** de Piaget¹¹³. Este procedimento consiste em conversar livremente com o indivíduo, sem um roteiro e perguntas fixas. Conservando desta forma as vantagens de uma fala adaptada a cada sujeito. O que garante o máximo de consciência ao entrevistado, e possibilitando a este formular e descrever suas próprias atitudes mentais (VALENTE, 1997).

O conteúdo de xadrez abordado no estudo com os aprendizes seria definido com o instrutor de cada turma, seguindo o seu próprio planejamento de ensino. E dos 6 níveis de expressividade da linguagem *DHJOG*, apenas os quatro primeiros foram incluídos nesta pesquisa. Visto que os dois últimos são direcionados para usuários experientes da ferramenta (Ver Tabela 10).

A ferramenta *HeuChess* seria disponibilizada para acesso externo aos alunos, através da rede internet. Permitindo aos estudantes realizar os exercícios práticos em casa, a qualquer horário. E todas as atividades realizadas no programa deveriam ser registradas, para posterior análise de comportamento dos usuários.

¹¹³ *Sir Jean William Fritz Piaget* foi um pesquisador suíço, considerado um dos mais importantes pensadores do século XX. Utilizou de uma abordagem interdisciplinar para investigar as origens da cognição humana. Atuou na área da Psicologia, Epistemologia e Educação. Realizou diversos estudos empíricos sobre o pensamento infantil e o raciocínio lógico. Suas pesquisas também influenciaram o campo da Ciência da Computação. Como no projeto da linguagem *Logo*, e do sistema conceitual de programação *Dynabook*. Sendo que este último contribuiu com o projeto do minicomputador *Alto*, pela *Xerox*. Que explorou pela primeira vez elementos de interface gráfica de usuário (*GUI – Graphical User Interface*) (DRESCHER, 1991).

7.3 Preparação

A partir das decisões tomadas na fase de planejamento (Ver seção 7.2), deu-se início as atividades de preparação para o estudo prático. Diversas tarefas foram realizadas, e podemos reuni-las nos seguintes tópicos:

- i). **Técnicas e Conceitos:** Foi necessário realizar uma revisão bibliográfica completa sobre os temas relacionados ao ensino de xadrez (Ver capítulo 2), e as ferramentas computacionais relacionadas a este jogo (Ver capítulo 3, 4 e 5). As técnicas e conceitos estudados contribuíram para o preparo da expansão ferramental, e na definição dos temas e métodos adotados no estudo empírico.
- ii). **Ferramentas:** Os conceitos e ferramentas computacionais a serem utilizados no estudo prático foram analisados, melhorados, e expandidos. Para que estes suportassem o escopo definido no planejamento, e incluíssem conceitos e técnicas necessárias identificadas na fase de revisão bibliográfica. Toda esta etapa está descrita no capítulo 6.
- iii). **Infraestrutura:** Para permitir o acesso a ferramenta de autoria através da rede internet, com disponibilidade de uso de 24 horas por dia, sete dias por semana. Uma infraestrutura de rede e de servidores precisou ser especificada, solicitada, e implantada. Por fim, o servidor de dados montado para a ferramenta *HeuChess* foi mantido no *data center*¹¹⁴ da própria UTFPR, campus Cornélio Procópio.

¹¹⁴ *Data center* é um local de concentração de equipamentos de processamento, e de armazenamento de dados de uma organização. São ambientes controlados, protegidos contra acesso indevido. Normalmente possuem sistemas de extinção de incêndios, temperatura constante, e de manutenção de energia elétrica (geradores e/ou *no-breaks*).

- iv). **Questões pedagógicas:** Com a definição do perfil de usuários e da instituição alvo do estudo (Ver seção 7.2), diversas atividades pedagógicas foram iniciadas. Como por exemplo: (a) o treinamento dos professores envolvidos; (b) a definição dos conteúdos abordados; (c) a especificação do calendário a ser seguido; e (d) a criação dos questionários e exercícios a serem aplicados aos aprendizes.

Nas atividades pedagógicas desenvolvidas a participação dos professores instrutores de xadrez foi essencial. Tanto nesta fase de preparação, quanto na de aplicação (Ver seção 7.4). A Tabela 17 lista a identificação dos cursos, turmas, e professores envolvidos no estudo prático. Durante o decorrer deste capítulo utilizaremos apenas os códigos das turmas para identificá-las.

Curso	Ano	Código da Turma	Professor responsável
Técnico em Mecânica	1 ^o	EF21C-P11-P12	Eurico Pedroso de Almeida Junior
Técnico em Mecânica	2 ^o	EF22C-P13	Waldemar Violante Striquer
Técnico em Eletrotécnica	2 ^o	EF22C-E13	Paulo Cesar Paulino

Tabela 17 – Identificação das turmas e professores responsáveis.

A definição dos temas a serem abordados foi realizada junto com cada instrutor de xadrez, conforme previamente definido na fase de planejamento (Ver seção 7.2). Isto para preservar as particularidades de ensino de cada grupo de estudantes, e de professores. Visto que na instituição alvo, existe autonomia dos docentes no planejamento de ensino. A Tabela 18 apresenta os conteúdos tratados por cada turma no estudo empírico.

Turma	EF21C-P11-P12	EF22C-P13	EF22C-E13
Conteúdo	Disposição inicial do Tabuleiro. Identificação das casas, linhas e colunas. Tipos de peças (quantidade, valor, posição inicial, e movimento). Como anotar casas e jogadas. Movimentos especiais (<i>En passant</i> , roque maior roque menor). Tipos de empates (Rei afogado, perpétuo, três repetições, falta de peças, e comum acordo). Xeque e xeque-mate. Controle central do tabuleiro. Promoção de peões. Etapas do jogo (abertura, meio de jogo, e final).	Estudo das aberturas (Ruy Lopez, Quatro cavalos, Mate do pastor e Italiana). Estudo de meio jogo (vantagens e desvantagens dos posicionamentos das peças). Finais de jogo (“ <i>Dama, Torre e Rei × Rei</i> ”, “ <i>Dama, e Rei × Rei</i> ”, “ <i>Torre e Rei × Rei</i> ”). Rei afogado. Controle central do tabuleiro. Promoção de peões Etapas do jogo (abertura, meio de jogo, e final).	Estudo de aberturas (Rui Lopes, Quatro cavalos e Giucco Piano). Estudo de meio jogo (vantagens e desvantagens dos posicionamentos das peças). Aplicação de táticas (Duplo, Garfo, Xeque descoberto, sacrificio de peça). Controle central do tabuleiro. Promoção de peões Etapas do jogo (abertura, meio de jogo, e final).

Tabela 18 – Conteúdos tratados pelas turmas no estudo empírico.

O ensino de xadrez estava planejado nas três turmas para ocorrer apenas no 4º Bimestre letivo (início de 2013). Porém esta data impediria que a tabulação e análise dos resultados fossem realizadas a tempo de serem incluídas no fechamento deste trabalho de doutoramento. Devido a isto, ocorreu à alteração para que o xadrez fosse então lecionado no 3º Bimestre (final de 2012). A Tabela 19 apresenta o calendário que foi seguido.

Turma	Período de realização do estudo
EF21C-P11-P12	04/12/2012 a 18/12/2012
EF22C-P13	04/12/2012 a 18/12/2012
EF22C-E13	03/12/2012 a 17/12/2012

Tabela 19 – Período de realização dos estudos empíricos em cada turma.

De posse dos temas a serem tratados nos testes, e do período de aplicação, foi preparado um plano de ensino e de atividades para cada turma. Neste documento foi indicado em quais momentos do curso aconteceriam: i) a formalização de heurística pelos alunos; ii) a competição entre as representações criadas; iii) e a alternância entre as fases de competição e colaboração. Os planos de atividades aplicados às turmas se encontram no Apêndice C.

Os exercícios propostos foram encadeados de forma evolutiva e incremental. Onde cada passo abrange um escopo limitado do nível de expressividade da linguagem *DHJOG* (Ver Tabela 10), e de conceitos táticos do xadrez. E o passo seguinte inclui o que foi tratado na tarefa anterior, e incorpora novas funcionalidades e características a serem aplicadas.

Uma última, mas fundamental tarefa realizada de preparação foi à capacitação dos instrutores sobre o conceito de heurística de jogo, do processo de formalização das mesmas, e de como elas são interpretadas pelo jogador automático. Além de toda as questões operacionais da ferramenta *HeuChess*. Esta atividade foi realizada em reuniões presenciais com os mesmos.

7.4 Aplicação

Com os métodos escolhidos, e as ferramentas de software e instrumentos pedagógicos preparados, o estudo prático foi realizado. Nesta etapa ocorreram à capacitação dos alunos, a aplicação de questionários e exercícios, e o atendimento presencial de dúvidas. Podemos dividi-la nos seguintes momentos: (i) avaliação inicial; (ii) acompanhamento do estudo; e (iii) avaliação final. Detalhemos cada uma delas nas próximas subseções.

7.4.1 Avaliação inicial

No primeiro dia do estudo de cada turma, foi lecionada uma aula de introdução dos alunos pelo autor deste trabalho de doutoramento. Nesta tarefa foram utilizadas duas horas-aula em laboratório de informática, e as seguintes ações foram feitas:

- i). Apresentação do contexto do estudo a ser realizado.
- ii). Capacitação dos estudantes nos conceitos básicos sobre: heurísticas; jogadores automáticos; algoritmo de busca minimax (Ver seção 2.2.1); formalização de conhecimento; competição artificial; e nos mecanismos de instalação e uso da ferramenta *HeuChess*.
- iii). Explicações sobre o plano de ensino, a forma de acompanhamento, a avaliação, e as atividades a serem desempenhadas pelos aprendizes.
- iv). Definição dos dias e horários do atendimento presencial para resolução de dúvidas.
- v). Aplicação do questionário de diagnóstico inicial da turma.

Através do questionário inicial ocorreu o mapeamento dos alunos em relação a contextos diretamente relacionados aos temas tratados no estudo. Tais como: conhecimento prático de informática; disponibilidade de acesso à rede internet (para a realização dos exercícios no contraturno); domínio atual sobre o xadrez; objetivos pessoais em relação à aprendizagem do jogo; dentre outros.

De posse destes dados, foi possível adaptar a aplicação das atividades propostas ao perfil de cada turma. E ao final do estudo, utilizar destas informações prévias para a identificação de relações, dependências, e de influências nos resultados alcançados (Ver seção 7.6).

Tabularemos e discutiremos na sequência alguns dos conjuntos coletados. Na Tabela 20, por exemplo, temos a quantidade de alunos, perfis de sexo e de idade, para cada grupo e no geral. Podemos observar que as turmas possuem uma quantidade próxima de aprendizes, que existe uma superioridade na quantidade de homens, e que a idade média dos estudantes é de 16,8 anos.

Código da turma	Total de aprendizes	Homens		Mulheres		Idade média
		Total	Relativo	Total	Relativo	
EF21C-P11-P12	32	19	59,4%	13	40,6%	16,0
EF22C-P13	29	19	65,5%	10	34,5%	17,2
EF22C-E13	26	18	69,2%	8	30,8%	17,2
Totais e Médias	87	56	64,4%	31	35,6%	16,8

Tabela 20 – Perfil geral de idade e sexo das turmas.

Na Tabela 21 é mensurado o conhecimento dos alunos em relação ao uso de computadores. Podemos constatar que quase todos se consideram com domínio no mínimo regular. Que a maioria usa o equipamento principalmente para o lazer. E que a média de idade de início do uso foi de 8,1 anos.

Código da turma	Experiência no uso de computador (Regular, bom, ou ótimo)		Idade média do início do uso de computadores	Usa computador principalmente para estudo		Usa computador principalmente para lazer	
	Total	Relativo		Total	Relativo	Total	Relativo
EF21C-P11-P12	31	96,9%	7,2	3	9,4%	29	90,6%
EF22C-P13	28	96,6%	9,0	4	13,8%	25	86,2%
EF22C-E13	26	100,0%	8,1	3	11,5%	23	88,5%
Totais	85	97,7%	8,1	10	11,5%	77	88,5%

Tabela 21 – Domínio prévio sobre o uso de computadores.

Na Tabela 22 relacionamos o conhecimento no uso da rede internet. Da mesma forma como a apresentada em relação a computadores, quase que a totalidade se considera com domínio no mínimo regular. A maioria possuía acesso disponível em casa. A idade média de início do uso é de 9,6 anos (um ano e meio superior ao início com computador), e a média de uso semanal era de 28,5 horas.

Código da turma	Experiência no uso de internet (Regular, bom, ótimo)		Possui acesso a internet em Casa		Idade média do início do uso da internet	Média de horas semanais na internet
	Total	Relativo	Total	Relativo		
EF21C-P11-P12	31	96,9%	31	96,9%	8,4	27,1
EF22C-P13	28	96,6%	29	100,0%	11,2	26,4
EF22C-E13	26	100,0%	26	100,0%	9,2	32,0
Totais e Médias	85	97,7%	86	98,9%	9,6	28,5

Tabela 22 – Domínio prévio sobre o uso da rede internet.

Podemos analisar o histórico da aprendizagem e da prática do xadrez dos estudantes na Tabela 23. É possível observar que a maioria aprendeu xadrez na escola. Que a idade média do início da aprendizagem foi de 10,7 anos. Apenas 28,7% participaram de competições do jogo. E que a média semanal de prática era de apenas 1,35 horas (80,8 minutos).

Código da turma	Idade média em que aprendeu xadrez	Aprendeu xadrez na escola		Aprendeu xadrez em casa		Participou competições de xadrez		Média de tempo semanal jogando xadrez	
		Total	Relativo	Total	Relativo	Total	Relativo	Horas	Minutos
EF21C-P11-P12	10,3	24	75,0%	8	25,0%	9	28,1%	0,86	51,4
EF22C-P13	11,1	23	79,3%	5	17,2%	6	20,7%	1,49	89,6
EF22C-E13	10,7	19	73,1%	7	26,9%	10	38,5%	1,69	101,3
Totais e Médias	10,7	66	75,9%	20	23,0%	25	28,7%	1,35	80,8

Tabela 23 – Histórico da aprendizagem e prática do xadrez.

Dando prosseguimento à análise sobre o contexto do xadrez, cada aluno foi convidado a estimar o seu domínio sobre o jogo. Na Tabela 24 podemos observar que 42,5% consideram-se com nenhum ou pouco conhecimento, 42,5% com domínio regular, e apenas 14,9% achavam que possuíam uma boa ou ótima experiência no jogo.

Código da turma	Experiência em xadrez									
	Nenhuma		Pouca		Regular		Boa		Ótima	
	Total	Relativo	Total	Relativo	Total	Relativo	Total	Relativo	Total	Relativo
EF21C-P11-P12	3	9,4%	14	43,8%	14	43,8%	1	3,1%	0	0,0%
EF22C-P13	1	3,4%	12	41,4%	11	37,9%	5	17,2%	0	0,0%
EF22C-E13	0	0,0%	7	26,9%	12	46,2%	6	23,1%	1	3,8%
Totais e Médias	4	4,6%	33	37,9%	37	42,5%	12	13,8%	1	1,1%

Tabela 24 – Experiência em xadrez dos aprendizes segundo eles mesmos.

Por fim, os estudantes descreveram seus objetivos pessoais de aprendizagem sobre xadrez. A Tabela 25 traz esta informação. Vemos que a maioria (70,1%) queria apreender o suficiente para se tornar um bom jogador com o intuito de praticar casualmente. Apenas 5,7% gostariam de aprofundar os estudos a nível profissional. 21,8% queriam compreender o básico. E 2,3%, ou seja, dois alunos, nem queriam participar da aprendizagem (que era obrigatória visto que estava inserida em disciplina da grade curricular do curso).

Código da turma	Nenhuma. Não quero apreender.		Apenas a jogar o básico		Tornar-se bom jogador, para jogar casualmente.		Apreender a jogar como profissional	
	Total	Relativa	Total	Relativa	Total	Relativa	Total	Relativa
EF21C-P11-P12	0	0,0%	9	28,1%	20	62,5%	3	9,4%
EF22C-P13	0	0,0%	6	20,7%	22	75,9%	1	3,4%
EF22C-E13	2	7,7%	4	15,4%	19	73,1%	1	3,8%
Totais e Médias	2	2,3%	19	21,8%	61	70,1%	5	5,7%

Tabela 25 – Meta de aprendizagem em xadrez.

7.4.2 Acompanhamento do estudo

Após a primeira aula de introdução dos estudantes nos conceitos e nas atividades do estudo prático (Ver seção 7.4.1), os mesmos tiveram duas semanas para desenvolverem os exercícios propostos nos planos de ensino de cada turma. Podemos classificar as tarefas passadas a eles nas seguintes categorias:

- i). **Formalização de conhecimento heurístico de jogo.** Com a criação de *Situações de Jogo*, e de *Conjuntos Heurísticos*.
- ii). **Criação de material de estudo.** Cada formalização criada deveria conter textos explicativos sobre os conceitos, táticas, e abordagens tratadas. Para auxiliar os outros alunos na compreensão da solução representada.
- iii). **Estudo dos materiais dos colegas.** Acessar as situações de jogo e conjuntos heurísticos criados pelos companheiros de turma.
- iv). **Competição artificial.** Cada aprendiz deveria criar partidas automáticas entre os seus conjuntos heurísticos, e depois entre os dele contra os dos colegas.

As tarefas das categorias ii e iii contribuiriam para a colaboração entre os estudantes. Já as da categoria iv estimularam a competição e aperfeiçoamento entre eles. A alternância entre estas fases estava prevista nos planos de atividades de cada grupo (Ver Apêndice C).

Descreveremos a seguir a título de exemplo, dois tipos de exercícios passados aos aprendizes de formalização de conhecimento heurístico.

7.4.2.1 Criação de Situação de Jogo

Uma situação de jogo representa um determinado momento de uma partida. Nela se pode especificar a localização das peças, as informações sobre movimentos especiais permitidos, possibilidades de empate, e as informações temporais do jogo. O autor pode complementar esta informação anotando interpretações pessoais sobre as táticas, vantagens, e desvantagens que ele reconhece em determinado tabuleiro (Ver seção 6.1.4 e 6.2.3).

Uma das atividades deste tipo passadas para a turma EF22C-E13 possuía o seguinte enunciado: “*Criar uma Situação de Jogo que demonstre o uso da tática “Garfo” pelas Brancas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática*” (Ver Apêndice C e Glossário).



Figura 68 – Tela Situação de Jogo – Aba principal.

A Figura 68 e a Figura 69 mostram as etapas da formalização deste conteúdo dentro da ferramenta *HeuChess*. Na primeira imagem vemos: (i) a configuração das peças no tabuleiro; (ii) que as *Branças* irão jogar; (iii) que nenhum roque é possível; (iv) que não existe casa passível de captura *en passant*; (v) que a quantidade de movimentos sem captura ou movimentação de peões é zero; (vi) que a quantidade de jogadas é um; e (vii) que para o aluno as Brancas possuem pequena vantagem neste momento da partida.

Já na Figura 69 são visíveis as anotações criadas pelo aprendiz para explicar a situação de jogo formalizada, e no que consiste para ele a tática “Garfo” no xadrez.

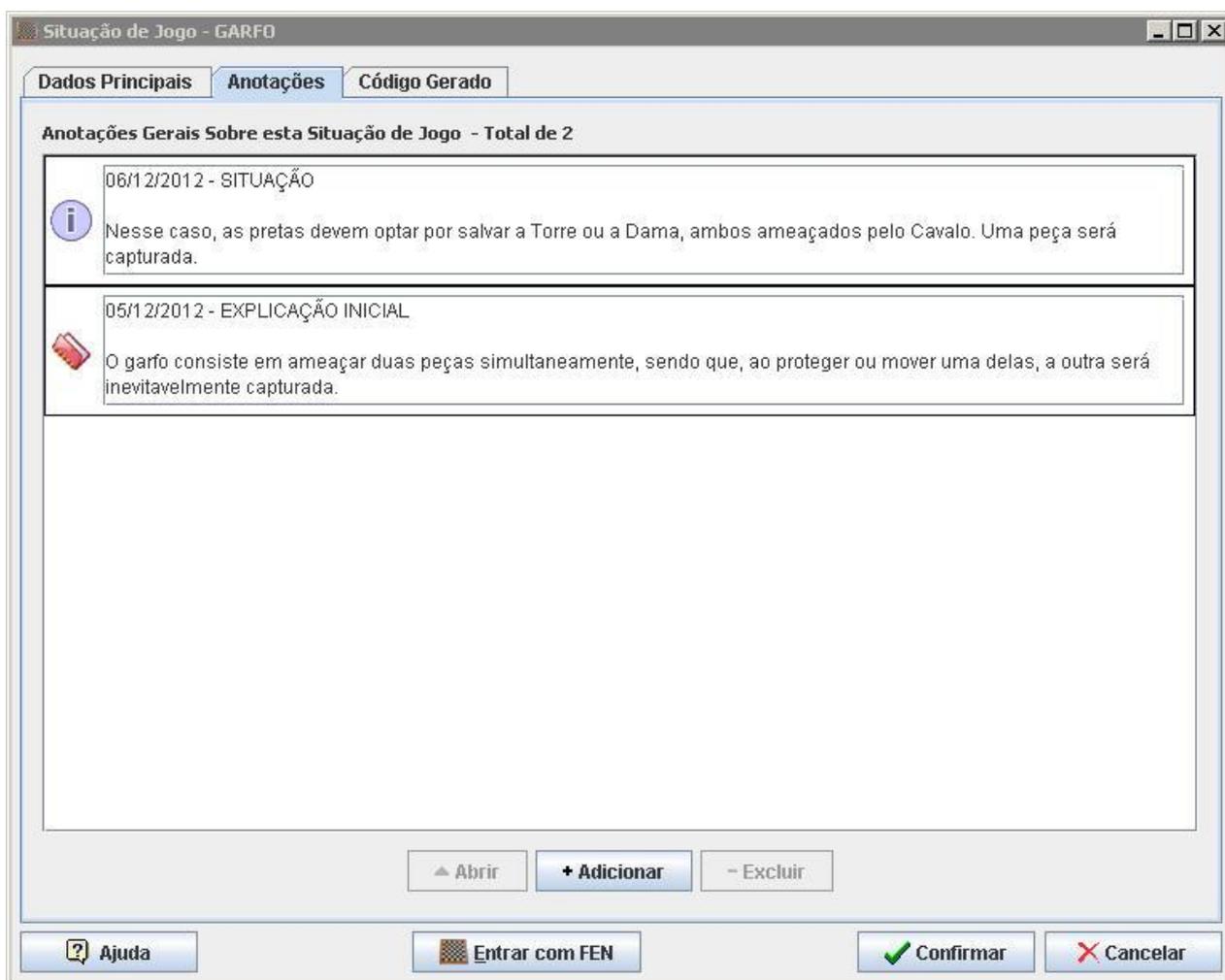


Figura 69 – Tela Situação de Jogo – Aba anotações.

7.4.2.2 Criação de Conjunto Heurístico

Um *Conjunto Heurístico* é a representação mais completa criada na linguagem *DHJOG*. Nela o autor irá representar a identificação de vantagens e desvantagens no xadrez, para que um jogador automático possa utilizá-la na valoração de possíveis tabuleiros resultantes, e assim escolher a melhor jogada a ser realizada (FEITOSA *et al.*, 2007).

Devido à complexidade da formalização deste elemento, para os alunos foram passadas quatro atividades distintas. Cada uma englobando apenas um nível de expressividade da linguagem de formalização (Ver Tabela 10). Indo da mais simples para a mais difícil. Desta forma durante o processo de aprendizagem ocorreria uma elevação gradual da carga cognitiva necessária. E cada exercício serviria como base para o próximo.

Lembramos que já na fase de planejamento havia sido definido que apenas os quatro primeiros níveis da *DHJOG* seriam tratados neste estudo prático (Ver seção 7.2).

Uma das tarefas deste tipo passadas para a turma EF22C-E13 possuía o seguinte enunciado: “*Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 4. Este Conjunto Heurístico deve ter um comportamento específico para cada Etapa do jogo. Durante o início da partida deve usar a Abertura Quatro Cavalos. No meio do jogo ele deve tentar pelo menos dominar o centro do tabuleiro. Durante o final do jogo ele deve procurar pelo menos promover os seus peões. Para isto crie Etapas, Regiões, Heurísticas de Valor de Peça ou Tabuleiro, e também Heurísticas de Transição*” (Ver Apêndice C e Glossário).

A resolução deste enunciado requer a construção visual de diversos elementos, através de vários facilitadores de tarefas da *HeuChess* (FEITOSA, 2006; FEITOSA *et al.*, 2007). Neste momento citaremos apenas dois deles.

Por exemplo, a Figura 70 apresenta a tela de edição das heurísticas e regiões de uma etapa da partida. Podemos notar que o aluno criou uma heurística de transição de etapa, e duas de valoração de peças (Ver seção 6.2.4.2). No tabuleiro central podemos observar também duas regiões demarcadas por ele. Cada uma de uma cor, sendo que as casas c3 e f3 fazem parte de uma mesma região (Ver seção 6.2.4.1).



Figura 70 – Tela Edição Conjunto Heurístico – Heurísticas e regiões de uma Etapa.

Já a Figura 71 apresenta a interface de edição do diagrama de mudanças entre etapas. O aluno criou três etapas distintas para resolver o enunciado. Cada uma define um comportamento do jogador automático, em determinado momento da partida (*i.e.*, abertura, meio de jogo, e final). E este diagrama demonstra a transição existente entre elas. Observe que a etapa chamada *Padrão* está desconectada das demais. Esta etapa é criada automaticamente pela ferramenta no início do seu uso, e o aluno não a utilizou, e se esqueceu de apagá-la.

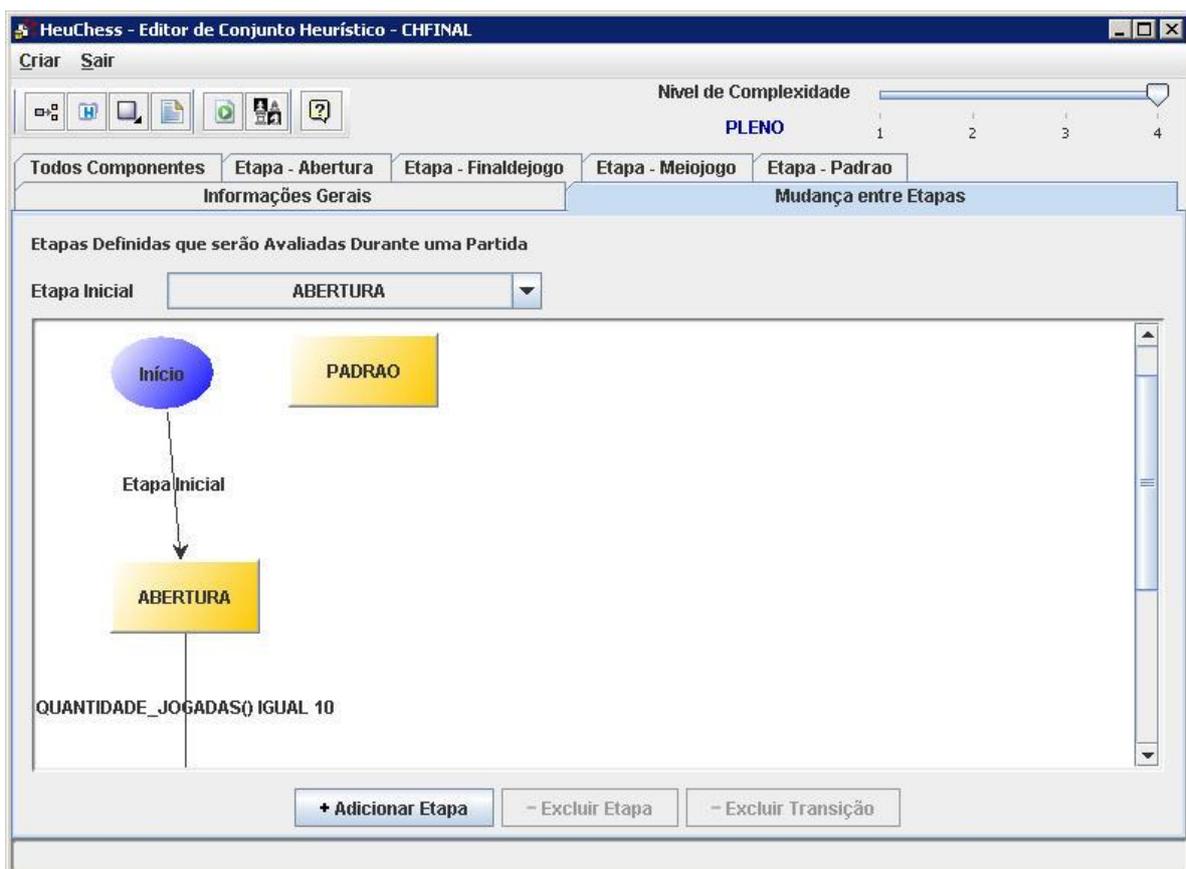


Figura 71 – Tela Edição Conjunto Heurístico – Mudanças entre etapas.

A formalização completa em *DHJOG* deste conjunto heurístico se encontra no Apêndice D. Observando-a se compreende os conceitos definidos pelo aprendiz. Como que para ele o Bispo e o Cavalo possuem a mesma importância. Ou que na abertura e meio de jogo um Peão é a peça mais fraca. Mas no final do jogo, para forçar promoções, ele vale quase tanto quanto uma Dama.

7.4.2.3 Atendimento presencial de dúvidas

Durante a realização do estudo prático foi disponibilizado aos aprendizes alguns dias e horários para atendimento presencial. Onde estes poderiam receber treinamento e tirar dúvidas diretamente com o autor deste trabalho de doutoramento. Estas atividades foram marcadas no período da tarde (contraturno), e ocorreram em laboratório de informática previamente preparado.

Nestes momentos, também era realizada individualmente uma entrevista livre sobre os contextos inerentes a este estudo empírico. Seguindo o método clínico de Piaget, que teve sua adoção definida deste a etapa de planejamento (Ver seção 7.2). A Tabela 26 discrimina as presenças dos aprendizes nestes eventos.

Identificação no Estudo		Turma	Data do Atendimento				Total de atendimentos
			05/12/2012	07/12/2012	12/12/2012	14/12/2012	
1	Aluno 02	EF21C-P11-P12	Presente				1
2	Aluno 06	EF21C-P11-P12		Presente			1
3	Aluno 40	EF22C-P13				Presente	1
4	Aluno 64	EF22C-E13			Presente		1
5	Aluno 66	EF22C-E13	Presente		Presente	Presente	3
6	Aluno 69	EF22C-E13	Presente		Presente	Presente	3
7	Aluno 70	EF22C-E13			Presente	Presente	2
8	Aluno 71	EF22C-E13	Presente	Presente			2
9	Aluno 72	EF22C-E13		Presente			1
10	Aluno 73	EF22C-E13			Presente		1
11	Aluno 74	EF22C-E13			Presente		1
12	Aluno 76	EF22C-E13				Presente	1
13	Aluno 78	EF22C-E13				Presente	1
14	Aluno 79	EF22C-E13		Presente			1
15	Aluno 81	EF22C-E13		Presente	Presente	Presente	3
16	Aluno 86	EF22C-E13	Presente			Presente	2
Totais e Médias			5	5	7	8	1,6

Tabela 26 – Controle das presenças nos atendimentos.

Cabe salientar que cada aluno recebeu uma identificação única dentro do universo de participantes deste estudo. Isto para garantir o anonimato deles na divulgação dos dados coletados e tabulados.

Na Tabela 26 percebemos que apenas dezesseis aprendizes participaram destas atividades (18,4% do total). A média de comparecimento foi de apenas 1,6. E a quantidade máxima de participações foi de três vezes.

A relação entre os alunos que foram atendidos e suas turmas de origem está disposta na Tabela 27. Nesta podemos perceber que das turmas EF21C-P11-P12 e EF22C-P13, apenas uma porcentagem mínima de alunos participou destes momentos. Ao contrário da turma EF22C-E13, aonde metade dos alunos vieram. Sendo que os integrantes desta turma corresponderam a 81,3% do total de presentes.

Alunos que tiraram dúvidas		EF21C-P11-P12			EF22C-P13			EF22C-E13		
Total	Relativo ao total geral	Total	Relativo ao total de dúvidas	Relativo ao total da turma	Total	Relativo ao total de dúvidas	Relativo ao total da turma	Total	Relativo ao total de dúvidas	Relativo ao total da turma
16	18,4%	2	12,5%	6,3%	1	6,3%	3,4%	13	81,3%	50,0%

Tabela 27 – Relação entre a quantidade de atendimentos e as turmas.

7.4.3 Avaliação final

Ao término das duas semanas de atividades, ocorreu a aplicação de um questionário final de diagnóstico, e a tabulação de todas as atividades desenvolvidas pelos aprendizes.

O controle das tarefas cumpridas forneceu a taxa de participação de cada aluno no estudo. E esta informação correspondeu a 20% da nota final do estudante na disciplina, conforme previsto na fase de planejamento (Ver seção 7.2).

No contexto deste trabalho de doutoramento, este conjunto detalhado de dados permite uma análise minuciosa de como os indivíduos e as turmas se comportaram durante a realização do estudo. O que auxilia na identificação de relações, como por exemplo, entre a resolução dos exercícios, e o desempenho nos campeonatos artificiais (Ver seção 7.6).

Analisaremos primeiramente na Tabela 28, as porcentagens de cumprimento pelos aprendizes das atividades de formalização de conhecimento heurístico.

É possível identificar que: (i) a criação de situações de jogo, por ser mais simples, a maioria fez; (ii) a criação do conjunto heurístico de nível 4, que seria utilizada nos campeonatos das turmas (Ver seção 7.5), apenas 17,6% dos alunos a fizeram; (iii) a turma EF21C-P11-P12 foi a que menos cumpriu as atividades; e (iv) por sua vez, a turma EF22C-E13 foi a com a maior participação.

Código da turma	Criou Situações de Jogo	Criou Conjunto Heurístico Nível 1	Criou Conjunto Heurístico Nível 2	Criou Conjunto Heurístico Nível 3	Criou Conjunto Heurístico Nível 4
EF21C-P11-P12	93,8%	46,9%	3,1%	12,5%	0,0%
EF22C-P13	96,6%	72,4%	48,3%	51,7%	10,3%
EF22C-E13	96,2%	92,3%	57,7%	53,8%	42,3%
Médias	95,5%	70,5%	36,4%	39,4%	17,6%

Tabela 28 – Controle da realização das tarefas de formalização.

Sobre as atividades de colaboração, que consistiam em compartilhar e usar materiais com os colegas. E as de competição, que ocorriam com a realização de partidas automáticas. A Tabela 29 traz as porcentagens de entrega destas tarefas pelos alunos.

Código da turma	Acessou as Situações de Jogo dos colegas	Usou Conjunto Heurístico Nível 1 para avaliar Situação de Jogo	Criou partidas de xadrez	Acessar Conjuntos dos colegas. Partidas entre os seus e os dos outros.	Média geral de participação dos aprendizes
EF21C-P11-P12	31,3%	50,0%	25,0%	12,5%	33,0%
EF22C-P13	34,5%	62,1%	58,6%	55,2%	68,8%
EF22C-E13	53,8%	88,5%	80,8%	57,7%	70,1%
Médias	39,9%	66,8%	54,8%	41,8%	57,3%

Tabela 29 – Controle do cumprimento das tarefas de colaboração e competição.

Podemos notar na Tabela 29 que novamente a turma EF22C-E13 foi a mais eficiente, e a EF21C-P11-P12 a menos. No entanto, observando a média geral de participação dos aprendizes, a turma EF22C-P13 ficou próxima da EF22C-E13. Mas apenas 10,3% dos alunos da EF22C-P13 entregaram um conjunto heurístico de nível 4, contra 42,3% da EF22C-E13 (Ver Tabela 28).

Se compararmos uma a uma as taxas de cumprimento de tarefas entre estas duas turmas (nas duas tabelas), vemos que a turma EF22C-E13 superou a EF22C-P13 principalmente nas atividades de colaboração e competição. Pois ignorando o item “*Acessar Conjuntos dos colegas*” onde elas foram equivalentes, nos demais a EF22C-E13 superou a EF22C-P13 em cerca de 20%.

Outro fato importante a se recordar, é que os membros da turma EF22C-E13 foram os que mais vieram nos atendimentos presenciais de dúvidas (50% deles). Enquanto na turma EF22C-P13 apenas 3,4% compareceram nestas atividades (Ver Tabela 27).

Os aprendizes responderam também um questionário sobre aspectos relacionados ao estudo prático. Foram perguntados temas relacionados ao conteúdo de jogo tratado em cada turma, a fim de fornecer subsídio de avaliação para os instrutores. E as observações pessoais sobre o uso da ferramenta *HeuChess*. Vamos destacar um dos questionamentos feitos.

Os alunos foram perguntados se acreditavam que o ferramental de software disponibilizado a eles contribuiu de alguma forma na aprendizagem. A Tabela 30 traz o resultado encontrado.

Código da turma	Responderam Questionário		Você acredita que o uso da ferramenta ajudou-o a compreender melhor os conceitos do xadrez?					
			Não		Pouco		Sim	
	Total	Relativo	Total	Relativo	Total	Relativo	Total	Relativo
EF21C-P11-P12	28	87,5%	6	21,4%	5	17,9%	17	60,7%
EF22C-P13	24	82,8%	3	12,5%	2	8,3%	19	79,2%
EF22C-E13	26	100,0%	7	26,9%	1	3,8%	18	69,2%
Totais e Médias	78	89,7%	16	20,5%	8	10,3%	54	69,2%

Tabela 30 – Visão dos alunos sobre o impacto do uso da *HeuChess* na aprendizagem.

Podemos notar na Tabela 30 que 69,2% dos estudantes acreditam que a adoção da ferramenta ajudou na compreensão de conceitos do jogo. Para 10,3% ela contribuiu um pouco, mas não totalmente. E para 20,5% ela não auxiliou.

Procuramos entender os motivos que levaram um grupo de indivíduos a responder não a questão. Então reexaminando os questionários respondidos de forma descritiva, constatamos que

43,8% justificaram sua resposta no fato de que já dominavam o conteúdo cobrado nos exercícios, e desta forma, a ferramenta não os auxiliou. A Tabela 31 apresenta esta análise.

Código da turma	<i>HeuChess</i> não ajudou pois já dominavam o conteúdo			
	Sim		Não	
	Total	Relativo	Total	Relativo
EF21C-P11-P12	5	83,3%	1	16,7%
EF22C-P13	0	0,0%	3	100,0%
EF22C-E13	2	28,6%	5	71,4%
Totais e Médias	7	43,8%	9	56,3%

Tabela 31 – Alunos que a *HeuChess* não ajudou pois dominavam o conteúdo de xadrez.

Mesmo com a análise da Tabela 31, ainda restou um subgrupo de nove pessoas que não dominavam o conteúdo, e afirmaram que a *HeuChess* não os ajudou na aprendizagem. Então resolvemos verificar se estes estudantes compareceram nas atividades de atendimento de dúvidas. A Tabela 32 apresenta esta relação.

Identificação no estudo		Turma	Quantidade de atendimentos presenciais
1	Aluno 13	EF21C-P11-P12	0
2	Aluno 37	EF22C-P13	0
3	Aluno 42	EF22C-P13	0
4	Aluno 43	EF22C-P13	0
5	Aluno 62	EF22C-E13	0
6	Aluno 65	EF22C-E13	0
7	Aluno 67	EF22C-E13	0
8	Aluno 72	EF22C-E13	1
9	Aluno 84	EF22C-E13	0
Total			1

Tabela 32 – Presença nos atendimentos dos que não sabiam e a *HeuChess* não ajudou.

Ficou transparente na Tabela 32 que quase a totalidade dos estudantes que não dominavam o conteúdo de xadrez, e que afirmaram que a *HeuChess* não os auxiliou, não se dispuseram a vir em nenhum dos quatro atendimentos presenciais oferecidos. A Tabela 33 condensa estes dados.

<i>HeuChess</i> não ajudou e não dominavam conteúdo				
Total	Tiraram dúvidas		Não tiraram dúvidas	
	Total	Relativo	Total	Relativo
9	1	11,1%	8	88,9%

Tabela 33 – Total dos atendimentos dos que não sabiam e a *HeuChess* não ajudou.

Por fim, restou apenas o Aluno 72. Podemos verificar na Tabela 26 que este veio apenas no atendimento de dúvidas do dia 07/12/2012, que ocorreu no final da primeira semana do estudo prático. E o mais significativo, este mesmo aluno foi um dos dois indivíduos que no questionário inicial, respondeu em relação à meta pessoal sobre apreender xadrez, que não possuía interesse nenhum (Ver Tabela 25).

Cabe salientar que na *HeuChess* não havia nenhum material conceitual para estudo dos conteúdos de xadrez. A ferramenta serviu apenas para exercícios práticos de formalização de conhecimento, e para a competição artificial. E estas tarefas foram passadas aos aprendizes para a fixação dos conteúdos abordados anteriormente pelos instrutores.

Característica esta que valoriza ainda mais, a grande quantidade de alunos que afirmaram que o uso deste ferramental contribuiu na compreensão dos conteúdos tratados.

7.5 Campeonatos artificiais

Com o objetivo de aferir a eficácia das formalizações de conhecimentos táticos de xadrez, criadas pelos alunos, foram realizados campeonatos entre os *Conjuntos Heurísticos* de nível 4 de expressividade da *DHJOG* (Ver Tabela 10). Isto pelo fato que somente os conjuntos deste tipo possuem transições entre etapas, o que permite definir táticas diferentes para momentos temporais diferentes de uma partida (*i.e.*, abertura, meio de jogo, e final).

Foi utilizado o módulo de execução de campeonatos, criado neste trabalho de doutoramento, que gerencia torneios *Round Robin* (*i.e.*, todos contra todos). E como no xadrez existe uma pequena vantagem para quem joga com as peças Brancas, pois iniciam a partida. Dois conjuntos heurísticos se enfrentam duas vezes, alternando as cores usadas (Ver seção 6.2.7).

Desta forma, a quantidade de confrontos a serem realizados na competição é calculada através da fórmula $n \times (n-1)$. Onde n corresponde ao total de competidores envolvidos.

Para gerar a classificação final foi adotado o seguinte sistema:

- i). Uma vitória vale 3 pontos.
- ii). Um empate vale 1 ponto.
- iii). Uma derrota não vale nenhum ponto
- iv). A pontuação final corresponde à soma de todos os pontos ganhos durante as partidas.
- v). Na classificação final quem possuir a maior pontuação é o campeão.
- vi). Caso ocorreu empate na pontuação. O critério de desempate é primeiro quem possui o maior número de vitórias, depois o maior número de empates.

- vii). Se mesmo após os critérios de desempate persistir a igualdade, ambos recebem a mesma classificação.

Além dos conjuntos heurísticos dos alunos, também foi incluído em cada torneio um mecanismo de controle de eficiência mínima da formalização do conhecimento heurístico. Que consistia em um jogador automático que escolhia de forma aleatória o lance a ser realizado. Desta forma, podemos verificar se os conjuntos criados são pelo menos melhores do que o acaso na escolha de jogadas.

Para cada grupo de competidores foram realizados três ciclos¹¹⁵ de confrontos. Onde cada ciclo foi executado com uma altura¹¹⁶ da árvore de busca específica. Isto para verificar o comportamento dos conjuntos heurístico com profundidades de análises distintas.

Primeiro buscou-se criar campeonatos apenas entre os membros da mesma turma. Visto que cada grupo tinha uma especificação diferente no exercício de construção do conjunto heurístico de nível 4 (Ver Apêndice C). Infelizmente, conforme visto na Tabela 28, na turma EF21C-P11-P12, nenhum aluno conseguiu cumprir a atividade, desta forma não houve campeonato para este grupo.

Então foram realizados apenas competições entre os membros da turma EF22C-P13, e na sequência com os da EF22C-E13. A partir dos resultados encontrados, foi executado um campeonato final com os melhores classificados de cada turma.

¹¹⁵ Ciclo apenas no contexto deste trabalho refere-se à competição artificial entre todos os conjuntos heurísticos do grupo, cada um enfrentando o outro em duas partidas, com cores alternadas.

¹¹⁶ A altura da árvore de busca neste caso corresponde à quantidade de lances a frente que serão gerados para análise. Por exemplo, altura 1 consiste nas possibilidades de tabuleiros resultantes de um movimento feito pelo jogador. Já a altura 2 gera os tabuleiros resultantes de um movimento do jogador seguido por outro do oponente (Ver seção 2.2.1).

7.5.1 Apenas turma EF22C-P13

Na turma EF22C-P13 apenas 10,3% dos estudantes entregaram a tarefa corretamente (Ver Tabela 28), o que corresponde a apenas três aprendizes. Mesmo com uma quantidade representativa baixa em relação ao total do grupo, o campeonato foi realizado. A Tabela 34 traz o resultado encontrado.

Identificação no estudo	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Análise após 3 ciclos	
	Classificação	Classificação	Classificação	Soma dos pontos	Média da classificação (Altura 1, 2, e 3)
Aluno 42	1º	2º	1º	31	1,3
Aluno 40	2º	1º	1º	31	1,3
Aluno 35	2º	3º	1º	28	2,0
Escolha Aleatória	4º	4º	4º	5	4,0

Tabela 34 – Resultado do campeonato da turma EF22C-P13.

Sobre os dados apresentados na Tabela 34 podemos destacar:

- i). Os alunos 42 e 40 ficaram sempre no topo da classificação. Alternando entre o primeiro e o segundo lugar.
- ii). O aluno 35 oscilou entre o topo e a base da classificação.
- iii). Todos superaram o mecanismo de escolha aleatória de jogadas.
- iv). No resultado final considerando os três ciclos, os alunos 42 e 40 terminaram empatados.

O que percebemos é que os três conjuntos heurísticos tiveram uma eficácia muito próxima entre si. Nenhum se destacou de forma evidente. Ao analisarmos de forma qualitativa as formalizações criadas pelos alunos, verificamos que estas são próximas umas das outras, mas não idênticas (o que descarta a cópia simples entre eles).

Visto que todos tinham o mesmo enunciado a seguir, não é estranho que cheguem a resultados próximos. Inclusive pelo fato da baixa participação desta turma nesta tarefa, que pode ter desestimulado a criação de conjuntos melhores do que os dos colegas.

Todo o detalhamento de cada ciclo deste campeonato, informando a quantidade de vitórias, derrotas, e empates que cada conjunto obteve, se encontra no Apêndice E.

7.5.2 Apenas turma EF22C-E13

Na turma EF22C-E13 a participação dos alunos na criação de conjuntos heurísticos de nível 4 foi a maior dentre os grupos trabalhados, e chegou a 42,3% dos estudantes (Ver Tabela 28), o que correspondeu a 11 alunos.

O resultado final da competição realizada entre estes membros desta turma está devidamente detalhado na Tabela 35.

Identificação no estudo	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Análise após 3 ciclos	
	Classificação	Classificação	Classificação	Soma dos pontos	Média da classificação (Altura 1, 2, e 3)
Aluno 68	1º	1º	1º	155	1,0
Aluno 81	2º	3º	2º	139	2,3
Aluno 64	6º	5º	3º	116	4,7
Aluno 74	5º	4º	5º	115	4,7
Aluno 79	10º	6º	3º	102	6,3
Aluno 72	11º	2º	8º	101	7,0
Aluno 69	4º	9º	6º	94	6,3
Aluno 70	3º	7º	9º	86	6,3
Aluno 71	8º	11º	7º	69	8,7
Aluno 66	6º	8º	10º	64	8,0
Aluno 73	9º	10º	11º	45	10,0
Escolha Aleatória	12º	12º	12º	17	12,0

Tabela 35 – Resultado do campeonato da turma EF22C-E13.

Sobre os dados apresentados na Tabela 35 verificamos que:

- i). Os alunos 68, 81, 64, e 74 permaneceram sempre no topo da classificação.
- ii). Os alunos 71, 66, e 73 ficaram sempre no final da classificação.
- iii). Os alunos 79, 72, 69, e 70 oscilaram muito na classificação entre os vários ciclos.
- iv). Todos superaram o mecanismo de escolha aleatória de jogadas.

Ao contrário do resultado do campeonato da turma EF22C-P13 (Ver Tabela 34), que foi inconclusivo, no grupo EF22C-E13 identifica-se claramente que alguns conjuntos foram bem superiores aos outros, durante os vários ciclos da competição. Isto evidencia que alguns aprendizes foram mais eficientes, neste exercício de formalização de conhecimento heurístico de xadrez.

Uma atividade importante durante o estudo prático, pensada principalmente para auxiliar os estudantes na criação dos conjuntos heurísticos, foi o atendimento presencial. E analisando o seu controle de frequência (Ver Tabela 26), vemos que:

- i). 81,3% dos alunos que participaram destes eventos pertencem à turma EF22C-E13 (Ver Tabela 27). Mas nem todos os alunos da EF22C-E13 que foram aos atendimentos, criaram conjuntos heurísticos de nível 4. Os alunos 76, 78, e 86 são exemplos disto.
- ii). 90% dos alunos da EF22C-E13 que entregaram o conjunto de nível 4 participaram do atendimento. Menos o aluno 68, que foi o campeão final. E se esta atividade de esclarecimento de dúvidas houve-se influenciado os indivíduos de forma decisiva na eficiência da formalização, a competição deveria ter terminado equilibrada. Da mesma forma que na turma EF22C-P13.

Uma análise mais minuciosa será feita então na seção 7.6, para identificar as condições que contribuíram para que certos alunos criassem representações heurísticas, mais eficazes nesta competição artificial.

O *Conjunto Heurístico* campeão, que pertence ao aluno 68, já foi objeto de discussão na seção 7.4.2.2. E a sua formalização completa em *DHJOG* está disponível no Apêndice D.

Já os detalhes de todos os três ciclos do campeonato da turma EF22C-E13, estão devidamente discriminados no Apêndice E.

7.5.3 Melhores da EF22C-P13 e EF22C-E13

Com a execução dos campeonatos das turmas que entregaram conjuntos heurísticos de nível 4 (Ver seção 7.5.1 e 7.5.2), surgiu à oportunidade de confrontar os melhores de cada grupo. E assim verificar como se comportariam em uma mesma competição artificial.

Como na turma EF22C-P13 foram entregues apenas três conjuntos heurísticos, e os mesmos se mostraram com eficiência muito próxima entre si. Todos foram incluídos neste confronto entre turmas.

Por outro lado, no grupo EF22C-E13 optou-se por inscrever apenas os três primeiros colocados, que permaneceram sempre no topo da classificação daquele evento (Ver Tabela 35).

A Tabela 36 detalhe o resultado final da competição após a execução dos três ciclos.

Turma	Identificação no estudo	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Análise após 3 ciclos	
		Classificação	Classificação	Classificação	Soma dos pontos	Média da Classificação (Altura 1, 2, e 3)
EF22C-E13	Aluno 68	1º	1º	1º	87	1,0
EF22C-E13	Aluno 81	2º	2º	3º	67	2,3
EF22C-E13	Aluno 64	3º	3º	2º	59	2,7
EF22C-P13	Aluno 40	3º	4º	5º	45	4,0
EF22C-P13	Aluno 35	6º	5º	4º	40	5,0
EF22C-P13	Aluno 42	5º	6º	6º	35	5,7
Escolha Aleatória		7º	7º	7º	11	7,0

Tabela 36 – Resultado do campeonato com os melhores da EF22C-P13 e EF22C-E13.

Sobre as informações dispostas na Tabela 36, podemos fazer as seguintes considerações:

- i). Os conjuntos dos alunos da turma EF22C-E13 ficaram todos à frente dos conjuntos dos estudantes da EF22C-P13.
- ii). Os três primeiros colocados repetiram a mesma ordem de classificação do campeonato realizado apenas com os membros da turma EF22C-E13.
- iii). Todos os conjuntos dos aprendizes superaram o mecanismo de escolha aleatória de jogadas.
- iv). O aluno 35 ficou uma posição a frente do aluno 42. Na competição com integrantes apenas da EF22C-P13 ocorreu o contrário.

Cabe salientar que, como previsto na fase de planejamento (Ver seção 7.2), cada turma recebeu uma lista de atividades diferente durante o estudo empírico. Respeitando as particularidades de ensino de cada grupo, visto que os instrutores trabalharam com alguns conteúdos diferentes (Ver Tabela 18). No Apêndice C estão detalhados os planos de atividades seguidos.

E apesar da especificação do exercício de criação do conjunto heurístico de nível 4 ser a mesma para as duas turmas, não se esperava que obtivessem um resultado equivalente. Visto que era fator primordial no processo de aprendizagem proposta à colaboração e competição entre os membros do mesmo grupo, para a construção coletiva do conhecimento. E as turmas tiveram índices de participação no estudo bem diferentes (Ver seção 7.4.3).

Os detalhes de cada um dos ciclos desta competição estão no Apêndice E. Analisando-os vemos que o conjunto do aluno 68, que foi o campeão, perdeu apenas uma partida. No campeonato com membros apenas da turma EF22C-E13, ele também venceu, mas perdeu sete partidas.

7.6 Análise sobre os resultados encontrados

Nesta seção faremos uma análise crítica da realização do estudo empírico. Identificaremos as dificuldades que ocorreram no processo, as relações que existem nos dados coletados, e os resultados que foram alcançados.

Na realização do estudo prático identificamos como principais contratempos ocorridos à baixa participação dos alunos nos eventos extraclasse de atendimento de dúvidas, e na conclusão do exercício de criação do conjunto heurístico de nível 4. Isto obviamente considerando-se o total de alunos envolvidos, das três turmas utilizadas.

Apenas 18,4% dos aprendizes vieram pelo menos uma vez, nas atividades dedicadas a atendimento. E a maioria dos que vieram pertencem a um único grupo, que foi a turma EF22C-E13. Mas se considerarmos apenas ela, a taxa de participação também é aquém do esperado, e ficou em apenas 50,0% dos integrantes (Ver Tabela 27).

Isto nitidamente prejudicou os alunos no desenvolvimento das tarefas mais complexas passadas a eles, que são as de criação de conjuntos heurísticos de nível 2, 3, e 4. Onde respectivamente, a participação geral ficou em 36,4%, 39,4% e 17,6% (Ver Tabela 28).

Os fatores que levaram os alunos a não vir nestes encontros são de ordem subjetiva. Mas podemos especular a respeito. Entendemos que algumas questões podem ter desestimulado os estudantes, como:

- i). O fato dos encontros terem ocorrido no contraturno. Que foi feito pela impossibilidade de realização no turno normal de ensino. Visto que a grade de disciplinas e horários estava completa.

- ii). A não obrigatoriedade da participação. E nenhuma relação direta da presença do aluno nesta atividade, com a nota final e o total de faltas atribuída à disciplina.
- iii). A relação baixa da avaliação do estudo prático dentro da nota bimestral da disciplina. Pois ela correspondia a apenas 20% da nota final. Ou seja, a não realização das atividades propostas, não impedia o aluno de alcançar pelos menos à média necessária para aprovação (que era de 7,0).

Outro fator que não estimulou certos aprendizes a concluir o exercício final de criação do conjunto heurístico de nível 4, é o fato de que do total de tarefas propostas, ela representava apenas 6% da avaliação (foram passadas para cada turma 16 atividades valendo 2,0). Ou seja, realizar esta ação, representava 0,12 décimos da nota final bimestral da disciplina. Só a concluiu o aluno realmente motivado a apreender xadrez, ou a cooperar com o estudo, ou a alcançar a nota final máxima.

Mas apesar da baixa conclusão dos exercícios finais, entendemos que a grande participação dos alunos nas outras atividades, colaborou para que alcançássemos os objetivos propostos neste estudo (Ver seção 7.1).

Desde o início, trabalhamos com a possibilidade de que por razões diversas, grupos de indivíduos poderiam ter taxas de participação diferentes. E como forma de minimizar este risco, optamos em realizar o estudo empírico com três turmas simultaneamente.

Das três turmas trabalhadas, duas alcançaram médias gerais de participação muito boas. A EF22C-P13 com 68,8%, e a EF22C-E13 com 70,1% (Ver Tabela 29). E considerando apenas o último exercício, a turma EF22C-E13 alcançou 42,3% de sucesso (Ver Tabela 28). O que já possibilitou a execução do campeonato artificial com uma amostragem suficiente para análise.

E a respeito das competições heurísticas realizadas, iremos primeiramente considerar os resultados encontrados na turma EF22C-E13 (Ver seção 7.5.2).

Com os dados coletados dos estudantes deste grupo na fase de diagnóstico inicial (Ver seção 7.4.1), e durante o desenvolvimento das atividades propostas (Ver seção 7.4.2), traçamos as relações entre algumas destas informações com os resultados obtidos no campeonato artificial.

Isto para identificar razões que contribuíram ou prejudicaram certos aprendizes, na formalização de conhecimento heurístico de xadrez, que alcançasse um bom desempenho nos confrontos artificiais.

A Tabela 37 traz os dados que permitem esta análise.

Classificação final	Identificação no Estudo	Coefficiente geral acadêmico	Desempenho anterior em Matemática	Quantidade de componentes do Conjunto Heurístico	Quantidade de acessos de conjuntos de Nível 3 e 4 dos colegas	Quantidade de partidas com conjuntos de Nível 3 e 4 dos colegas	Qual é sua experiência em jogar xadrez
1º	Aluno 68	0,909	9,6	10	26	1	Boa
2º	Aluno 81	0,898	9,1	12	104	4	Boa
3º	Aluno 64	0,860	8,1	18	26	3	Regular
4º	Aluno 74	0,878	9,8	13	117	15	Regular
5º	Aluno 79	0,858	8,5	12	26	7	Pouca
6º	Aluno 72	0,855	8,4	20	52	10	Pouca
7º	Aluno 69	0,832	7,8	12	91	3	Pouca
8º	Aluno 70	0,948	9,6	15	0	6	Boa
9º	Aluno 71	0,740	7,0	15	91	0	Ótima
10º	Aluno 66	0,816	7,3	20	0	3	Pouca
11º	Aluno 73	0,944	10,0	21	0	0	Regular

Tabela 37 – Relação das características dos competidores da turma EF22C-E13.

Sobre as informações apresentadas na Tabela 37 podemos identificar que:

- i). Existe uma relação direta entre o desempenho geral acadêmico, o conhecimento prévio de matemática, e a experiência em xadrez que o estudante julga ter, com o desempenho da heurística formalizada por ele na competição. Os primeiros classificados possuem os melhores valores para estes atributos.
- ii). As exceções são os alunos 70, 71, e 73.
- iii). Os alunos 70 e 73 possuem um alto coeficiente acadêmico e desempenho anterior em matemática. E dizem ter experiência em xadrez, respectivamente boa e regular. Mas mesmo assim ficaram no final da classificação.
- iv). O aluno 71 apesar de ter o menor coeficiente acadêmico, e desempenho em matemática. É o que diz ter a maior experiência em xadrez, mas também ficou no final da competição.
- v). Notamos que estas exceções, alunos 70, 71 e 73, não acessaram ou não criaram partidas usando os conjuntos de nível 3 ou 4 dos colegas.
- vi). A quantidade de componentes heurísticos nos conjuntos varia durante a classificação. No primeiro lugar está o que tem menos (10), na última posição o que possui mais (21), mas entre estes alunos existe uma dispersão de valores. O que nos leva a concluir que o importante para o desempenho não é a quantidade, e sim a qualidade do conhecimento formalizado.
- vii). As últimas posições ficaram para os aprendizes que não acessaram ou criaram partidas automáticas utilizando os conjuntos heurísticos de nível 3 ou 4 dos colegas.

A partir desta análise podemos inferir o quão importante é a colaboração (troca) e competição entre os alunos, durante o processo de aprendizagem e formalização de conhecimento heurístico de xadrez, para alcançar um desempenho ótimo em competições artificiais.

Ter um bom coeficiente acadêmico, um bom desempenho em matemática, e experiência prévia no jogo é recomendável. Mas não suficientes para garantir a eficiência das especificações criadas.

Infelizmente na turma EF22C-P13 apenas 10,3% dos estudantes entregaram um conjunto heurístico de nível 4 válido (Ver Tabela 28). O que na prática representa um recorte muito pequeno deste universo trabalhado.

E o resultado do campeonato executado entre seus membros gerou uma pontuação final muito próxima. Sendo que dos três competidores, dois terminaram empatados em primeiro lugar. E o terceiro ficou a apenas 3 pontos de diferença dos demais (Ver seção 7.5.1).

Mas mesmo com estas limitações, iremos aplicar aos resultados do campeonato com integrantes apenas da EF22C-P13, a mesma metodologia de diagnóstico trabalhada na turma EF22C-E13. A Tabela 38 exibe as informações que caracterizam os competidores, e que permitem a análise.

Classificação final	Identificação no Estudo	Coeficiente geral acadêmico	Desempenho anterior em Matemática	Quantidade de componentes do Conjunto Heurístico	Quantidade de acessos de conjuntos de Nível 3 e 4 dos colegas	Quantidade de partidas com conjuntos de Nível 3 e 4 dos colegas	Qual é sua experiência em jogar xadrez
1º	Aluno 42	0,884	8,6	12	208	6	Boa
1º	Aluno 40	0,860	8,4	12	130	1	Pouca
3º	Aluno 35	0,851	9,0	12	130	0	Pouca

Tabela 38 – Relação das características dos competidores da turma EF22C-P13.

Através dos dados apresentados na Tabela 38 podemos apenas identificar que:

- i). A quantidade de componentes heurísticos formalizados é a mesma entre todas as heurísticas.
- ii). A quantidade de acessos aos conjuntos de nível 3 e 4 dos colegas é bem superior ao da turma EF22C-E13.
- iii). A última posição ficou para o aluno 35, que não criou nenhuma partida automatizada com os conjuntos heurísticos de nível 3 ou 4 dos colegas.

Sobre a competição entre os melhores de turma EF22C-P13 e EF22C-E13 (Ver seção 7.5.3), só podemos afirmar que as formalizações criadas pelo segundo grupo foram bem superiores às do primeiro. Pois durante os vários ciclos da competição, elas sempre permaneceram no topo da classificação (Ver Apêndice E).

Com a realização dos três campeonatos, também verificamos que as formalizações criadas pelos alunos sempre foram superiores ao mecanismo de escolha aleatória de jogadas. E se observarmos os detalhes dos ciclos de execução (onde cada ciclo possui uma altura da profundidade de busca diferente). Vemos que com altura 1, vários conjuntos heurísticos empataram com o sistema aleatório, mas a partir da altura 2, os conjuntos sempre venceram (Ver Apêndice E).

A competição heurística não era a única atividade proposta aos estudantes, era a mais complexa. E até podemos entendê-la como atividade fim. Mas que para ser alcançada, requeria que o indivíduo desenvolvesse atividades anteriores, que o iriam capacitando na formalização de conhecimento, e nos conteúdos tratados de xadrez. Até que este alcançasse a maturidade cognitiva para a construção de um conjunto heurístico de nível 4.

Este processo evolutivo foi previsto na fase de preparação (Ver seção 7.3), e norteou a elaboração dos planos de atividades de cada turma (Ver Apêndice C).

Dito isto, entendemos que mesmo os alunos que não concluíram a última tarefa, mas que desenvolveram a maioria das atividades anteriores. Estes conseguiram se beneficiar da abordagem de aprendizagem proposta neste estudo. Pelos menos dos benefícios associados à formalização e colaboração entre aprendizes. E a maioria dos estudantes da turma EF22C-P13 e EF22C-E13 se enquadram neste perfil (Ver seção 7.4.3).

E até aqueles estudantes que não entregaram a última tarefa, mas executaram partidas automáticas com os conjuntos heurísticos mais simples. Estes também podem ter se beneficiado, mesmo que parcialmente, da simulação artificial de xadrez. Como instrumento para entender certos conceitos do jogo, e do funcionamento dos programas jogadores automáticos.

Por exemplo, vemos que 62,1% dos alunos da turma EF22C-P13, e 88,5% da EF22C-E13 utilizaram um conjunto heurístico para avaliar uma situação de partida. E que 58,6% da turma EF22C-P13, e 80,8% da EF22C-E13 criaram partidas automáticas de xadrez (Ver Tabela 29).

Esta visão explica o fato de que 69,2% dos aprendizes afirmaram de forma convicta, que o uso da ferramenta de formalização de conhecimento heurístico de jogo, os auxiliou a compreender melhor conceitos de xadrez (Ver Tabela 30). Uma taxa bem superior a dos indivíduos que entregaram o conjunto heurístico final, que foi de apenas 17,6% (Ver Tabela 28).

Para 10,3% dos alunos, a ferramenta os ajudou um pouco no processo de aprendizagem (Ver Tabela 30). Este fato também pode ser decorrente da baixa participação dos estudantes no atendimento de dúvidas, conforme discutido no início desta seção. Somando este número aos discutido no parágrafo anterior, chegamos a 79,3% de pessoas que obtiveram algum benefício,

mesmo que pequeno para uma parcela, na aprendizagem de xadrez. Decorrente do uso do ferramental e da abordagem proposta neste estudo.

Apesar de este ser o primeiro estudo sobre o impacto do uso deste ferramental, e desta abordagem de ensino. E o mesmo ter sido realizado somente de forma empírica, para uma quantidade limitada de indivíduos. Os resultados encontrados são evidentes.

E se pode constatar que a hipótese levantada por esta pesquisa de doutoramento se mostrou válida (Ver seção 1.2). A de que em um processo de ensino e aprendizagem de xadrez, o uso da formalização de conhecimento heurístico de jogo por aprendizes como instrumento pedagógico, contribui para uma melhor compreensão por eles dos conceitos tratados. E dentro desta proposta, a prática de atividades de colaboração e competição deriva em formalizações mais eficientes em campeonatos artificiais.

Obviamente estes resultados não esgotam com o tema. E sim possibilitam que novas questões científicas sejam postas, e novos usos para o ferramental sejam testados. Algumas possíveis novas pesquisas decorrentes deste trabalho estão citadas na seção 8.2.

7.7 Discussão final sobre o capítulo

Neste capítulo detalhamos todas as etapas do estudo empírico sobre o uso da formalização de conhecimento heurístico de xadrez por aprendizes, dentro de um processo real de ensino e aprendizagem do jogo. Sendo esta atividade apoiada por ferramentas computacionais. No decorrer do texto especificamos as fases que foram executadas, tabulamos os dados coletados, e criticamos as relações identificadas.

O estudo prático atendeu os objetivos desta pesquisa (Ver seção 1.3), e contribui para legitimar a hipótese proposta (Ver seção 1.2). E durante sua realização constatamos as potencialidades e limitações da aplicação do ferramental computacional.

Entendemos que pela complexidade natural dos temas abordados com os aprendizes. Sejam estes relacionados ao xadrez, a formalização de conhecimento heurístico, ou a compreensão do funcionamento de jogadores automáticos. Existe uma forte dependência de capacitação e supervisão dos estudantes durante o desenvolvimento das atividades propostas.

Esta intervenção é fundamental nos primeiros momentos do uso das ferramentas pelos aprendizes, e diminui conforme o aluno aprofunda sua experiência em determinada tarefa, através da realização dos exercícios.

Outra questão identificada é a respeito da motivação e dedicação dos estudantes no estudo prático. Das três turmas envolvidas, duas tiveram média de participação em cerca de 70%, porém a terceira ficou aquém do esperado, com apenas 33% (Ver Tabela 29). E mesmo nos grupos com bom envolvimento, a taxa de cumprimento das tarefas complexas foi menor (Ver Tabela 28).

Acreditamos que isto decorreu em parte pela não diferenciação de notas entre as atividades simples e as complexas. E também pela entrega das atividades propostas representarem pouco dentro da avaliação final das disciplinas.

Atividades difíceis requerem uma motivação maior dos indivíduos. Então em próximas aplicações práticas, deve-se recompensar melhor o desenvolvimento das atividades mais importantes, principalmente entre iniciantes. E também buscar trabalhar com grupos de indivíduos predispostos ao aprofundamento dos conhecimentos do jogo (*e.g.*, enxadristas especialistas, membros de clubes de xadrez). Desta forma amplia-se o foco de experimentação do ferramental.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÃO

Apresentamos no decorrer deste documento as etapas e atividades desenvolvidas, e os objetivos alcançados com esta pesquisa de doutoramento. Iremos, neste último capítulo, realizar um fechamento deste trabalho. Discorreremos brevemente sobre as etapas executadas, destacaremos a relevância dos resultados gerados (Ver seção 8.1), e apontaremos possíveis temas para trabalhos futuros (Ver seção 8.2).

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica dos temas relacionados a esta pesquisa. Tais como: (i) os processos cognitivos dos enxadristas (Ver capítulo 2); (ii) a evolução dos programas competidores automáticos (Ver capítulo 3), e (iii) a aprendizagem de xadrez apoiada por computador, seja ela individual ou colaborativa (Ver capítulos 4 e 5 respectivamente).

Com este levantamento sobre os trabalhos já realizados tanto na área acadêmica, quanto na comercial. Foi constatada a ausência de ferramentas computacionais que permitissem a formalização de conhecimento heurístico de jogo pelos aprendizes, e que estas especificações criadas fossem validadas em confrontos artificiais. Nenhuma solução com este enfoque estava apta a ser utilizada em um processo real de ensino. O que inviabilizava a aferição dos benefícios da adoção desta abordagem.

Devido a isto, foi concretizada na sequência uma expansão nos conceitos e ferramentas computacionais que permitem a formalização de heurísticas por alunos. Dando continuidade a pesquisas anteriores (BUENO *et al.*, 2008; FEITOSA *et al.*, 2007), ocorreram melhorias na linguagem de representação de conhecimento heurístico de jogo (*DHJOG*), e no software de autoria

HeuChess. Onde foi incorporado entre outros módulos, um mecanismo para permitir a competição artificial entre as representações criadas pelos estudantes (Ver capítulo 6).

De posse deste novo ferramental, foi finalmente possível conduzir um estudo empírico sobre o uso desta prática no ensino e aprendizagem de jogos. Adotou-se a formalização de heurísticas por alunos, e a colaboração e competição entre eles, como instrumento pedagógico de fixação de conteúdos de xadrez, previamente ensinados por instrutores (Ver capítulo 7).

E verificou-se que este método auxiliou 69,2% dos aprendizes a melhor compreender os conceitos de xadrez trabalhados. E que a colaboração e competição entre os indivíduos, e de suma importância para a criação de representações heurísticas eficazes nas competições artificiais (Ver seção 7.6).

Desta forma, conseguiu-se testar a hipótese proposta (Ver seção 1.2), e concluir que a mesma é válida. E isto vem a contribuir com a solução do problema identificado no ensino tradicional de xadrez, da carência de instrumentos para a formalização de conhecimento heurístico de jogo por aprendizes, dentro de um processo de ensino e aprendizagem. Para permitir uma exata especificação, e validação dos conceitos e parâmetros adotados pelos indivíduos (Ver seção 1.1).

Este estudo vem se somar a pesquisas anteriores, e integra o projeto PROTEX, de apoio computacional ao ensino de xadrez, proposto em Direne *et al.* (2004).

8.1 Relevância dos resultados

Entendemos que os objetivos cumpridos, e os resultados concretizados com esta pesquisa, permitem inferir os seguintes benefícios e possibilidades:

- i). A melhoria, incremento, e disponibilização pública do ferramental de software para apoio ao ensino de xadrez, centrado na formalização de heurísticas.
- ii). Aumentar a precisão da validação do aprendizado dos alunos de xadrez, e possibilitar que as explicações passadas pelos instrutores para correções de posturas de jogo sejam mais precisas.
- iii). Promover o uso do xadrez como instrumento de aprendizagem e de prática de outros conhecimentos, de diversas disciplinas do currículo escolar básico (*e.g.*, Matemática, Comunicação, Física, *etc.*). Visto que a formalização de heurísticas utiliza princípios lógico-matemáticos, e a colaboração entre os aprendizes antes e após as competições artificiais, desenvolve aspectos de sociabilidade, convivência, e de expressão.
- iv). Facilitar a compreensão e uso dos conceitos de Inteligência Artificial por pessoas leigas. Tais como, o que é heurística, como ela é formalizada, e como a mesma é processada por um jogador automático.

8.2 Trabalhos futuros

A conclusão deste estudo permite que novas questões sobre este tema sejam propostas. E que novas aplicações do ferramental disponível sejam conduzidas, e seus benefícios em outras condições e grupos sejam verificados. Além de que algumas limitações técnicas permaneceram (Ver seção 6.3). E a melhoria e expansão de suas funcionalidades fornecerão novos recursos para o ensino e aprendizagem de xadrez, o que poderá proporcionar novos e melhores resultados.

Iremos elencar alguns dos possíveis temas para trabalhos futuros:

- i). Expandir a linguagem *DHJOG* para incluir a formalização de estratégias de jogo de longa duração, o que permitirá encadear a aplicação de vários lances ou táticas.
- ii). Incorporar o suporte a autoria de elementos dos níveis 5 e 6 de expressividade da linguagem *DHJOG* (Ver Tabela 10).
- iii). Permitir que uma heurística desista da partida, ou force um empate, quando ela considerar que não existe mais a possibilidade de vitória.
- iv). Realizar partidas artificiais com limite de tempo. Por lance ou para toda a partida.
- v). Adotar mecanismos que permitam a cópia parcial ou integral de formalizações heurísticas entre os aprendizes, e o rastreamento destas atividades.
- vi). Desenvolver ferramentas que permitam que os conceitos generalizados da *DHJOG* sejam usados no ensino e aprendizagem de outros jogos (*i.e.*, Dama, Gamão, *etc.*).
- vii). Diminuir o conhecimento cognitivo necessário à realização das tarefas de formalização heurística de jogo, e para a compreensão da competição artificial. Isto através da incorporação de novas técnicas de projetos de interface, da criação de novas representações externas de conhecimento, e da incorporação de agentes inteligentes que auxiliem os usuários, aprendizes ou instrutores, na realização das ações típicas.

A própria concepção aqui adotada de formalizar conhecimento (heurístico), e confrontá-lo com outras especificações em uma competição automatizada a fim de verificar qual resolve melhor um determinado problema (*i.e.*, ganhar uma partida), torna possível aferir matematicamente a eficiência de teoremas de jogo. Algo que é feito na maioria dos casos de forma subjetiva no xadrez.

APÊNDICE A

DEFINIÇÃO EM BNF ATUALIZADA DA *DHJOG* PARA XADREZ

Nesta seção apresentaremos a descrição atualizada e completa da gramática da linguagem *DHJOG* para xadrez, através do uso da metalinguagem BNF¹¹⁷. Esta formalização está distribuída pela Figura 72, Figura 73, e Figura 74.

```
<conjunto_heurístico> ::= “CONJUNTO_HEURISTICO” <id>
                        { <anotação> }
                        “ETAPA_ATUAL <-” <id>
                        <etapa>+
                        “FIM CONJUNTO_HEURISTICO”

<id> ::= <letra> { <letra> | <dígito> | <símbolo> }
<letra> ::= “A” | “B” | “C” | “D” | “E” | “F” | “G” | “H” | “I” | “J” | “K” | “L” |
           “M” | “N” | “O” | “P” | “Q” | “R” | “S” | “T” | “U” | “V” | “X” | “Z”
<símbolo> ::= “_”
<dígito> ::= “0” | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | “6” | “7” | “8” | “9”
<texto> ::= “” { <qualquer_caractere> } “”

<anotação> ::= “ANOTACAO” <id>
             (“EXPLICACAO” | “QUESTAO” | “POSITIVA” | “NEGATIVA” | “NORMAL”)
             <texto>
             “FIM ANOTACAO”

<região> ::= “CASA[]” <id> “<-” { “<id> { “, “<id> } “}”

<etapa> ::= “ETAPA” <id>
           { <anotação> }
           <inicializa_peça>+
           <expressão_cálculo_heurístico>
           { <região> }
           { <heurística_transição_etapa> }
           { <heurística_valor_peça> }
           { <heurística_valor_tabuleiro> }
           “FIM ETAPA”
```

Figura 72 – Formalização em BNF atualizada da *DHJOG* para xadrez (Parte 1).

¹¹⁷ *Backus-Naur Form* (BNF) é uma meta-sintaxe utilizada para descrever gramáticas formais e livres de contexto. Ela é amplamente utilizada para notação de linguagens de programação, formatos de documentos, e protocolos de comunicação (KNUTH, 2003).

```

<inicializa_peça> ::= <id> “<-“ <valor_numérico>
<valor_numérico> ::= [“-“] <dígito>+
<expressão_cálculo_heurístico> ::= “TABULEIRO <-“ <expressão_numérica>

<heurística_transição_etapa> ::= “HEURISTICA TRANSICAO_ETAPA” <id>
    “SE (“<expressão_condicional>”) ENTAO”
    “ETAPA_ATUAL <-“ <id>
    “FIM HEURISTICA”

<heurística_valor_peça> ::= “HEURISTICA VALOR_PECA” <id>
    “SE (“<expressão_condicional>”) ENTAO”
    <altera_valor_peça>+
    “FIM HEURISTICA”

<altera_valor_peça> ::= {“<peça> { “, “<peça> } “}” <op_mat> <valor_numérico>

<heurística_valor_tabuleiro> ::= “HEURISTICA VALOR_TABULEIRO” <id>
    “SE (“<expressão_condicional>”) ENTAO”
    “TABULEIRO <- TABULEIRO” <op_mat><valor_numérico>
    “FIM HEURISTICA”

<op_mat> ::= “+” | “-“ | “*” | “/” | “RESTO_DIVISAO” | “UNIAO” | “INTERSECCAO”

<expressão_numérica> ::= <operando_numérico> { <op_mat> <operando_numérico> } |
    “(“ <operando_numérico> { <op_mat> <operando_numérico> } “)”
<operando_numérico> ::= <id> | <valor_numérico> | <expressão_numérica>

<op_lógico> ::= “E” | “OU” | “NAO”
<op_relacional> ::= “>” | “<” | “>=” | “<=” | “<>” | “=” |
    “PERTENCE” | “NAO_PERTENCE” |
    “CONTEM” | “NÃO_CONTEM” |
    “CONTIDO” | “NAO_CONTIDO”

<valor_lógico> ::= “VERDADEIRO” | “FALSO”

<expressão_condicional> ::= <condição> { <op_lógico> <expressão_condicional> }
<condição> ::= <operando_condicional> [ <op_relacional> <operando_condicional> ]
<operando_condicional> ::= <id> | <valor_lógico>

<função> ::= “FUNCAO” <id>
    “DESCRICAO” <texto>
    “RETORNA”
    <tipo> <id> “DESCRICAO” <texto>
    [ <parametros> ]
    “COMANDOS”
    { <definição_variável> }
    { <comando> }+
    “FIM FUNCAO”

```

Figura 73 – Formalização em BNF atualizada da DHJOG para xadrez (Parte 2).

```

<tipo> ::= ( <tipo_primitivo> | <tipo_construído> ) [ “[” ]

<tipo_primitivo> ::= “INTEIRO” | “REAL” | “LOGICO” | “TEXTO”
<tipo_construído> ::= “ETAPA” | “POSICAO” | “TIPO_PECA” | “PECA”

<parâmetros> ::= “PARAMETROS” <definição_parâmetro>+
<definição_parâmetro> ::= <tipo> <id> “DESCRICA0” <texto>

<definição_variável> ::= <tipo> <id>

<comando> ::= <atribuição> | <retorno_função> | <estrutura_de_controle>
<atribuição> ::= <id> “<-“ <expressão_numérica> | <expressão_condicional>
<retorno_função> ::= RETORNA <valor_numérico> | <valor_lógico> | <id>

<estrutura_controle> ::= <estrutura_decisão> | <estrutura_repetição>

<estrutura_decisão> ::= “SE (“ <expressão_condicional> “) ENTAO”
    { <comando> }+
    [ “ENTAO”
      { <comando> }+ ]
    “FIM SE”

<estrutura_repetição> ::= “PARA” <id> “DE” <valor_numérico> “ATE” <valor_numérico> “FACA”
    { <comando> }
    “FIM PARA”

<situação_jogo> ::= “SITUAÇÃO_JOGO” <id>
    “VANTAGEM <-” <texto>
    “FEN <-” <texto_notação_fen>
    “FIM SITUACAO_JOGO”

```

Figura 74 – Formalização em BNF atualizada da *DHJOG* para xadrez (Parte 3).

APÊNDICE B

MODELO LÓGICO DE PERSISTÊNCIA DA *HEUCHESS*

A persistência dos dados manipulados pela ferramenta *HeuChess* é realizada através do uso do *PostgreSQL*. Que é um gerenciador de banco de dados objeto-relacional, gratuito e de código aberto (POSTGRESQL, 2013). Na Figura 75 é apresentado o esquema atual de uso de tabelas, e a relação existente entre elas.

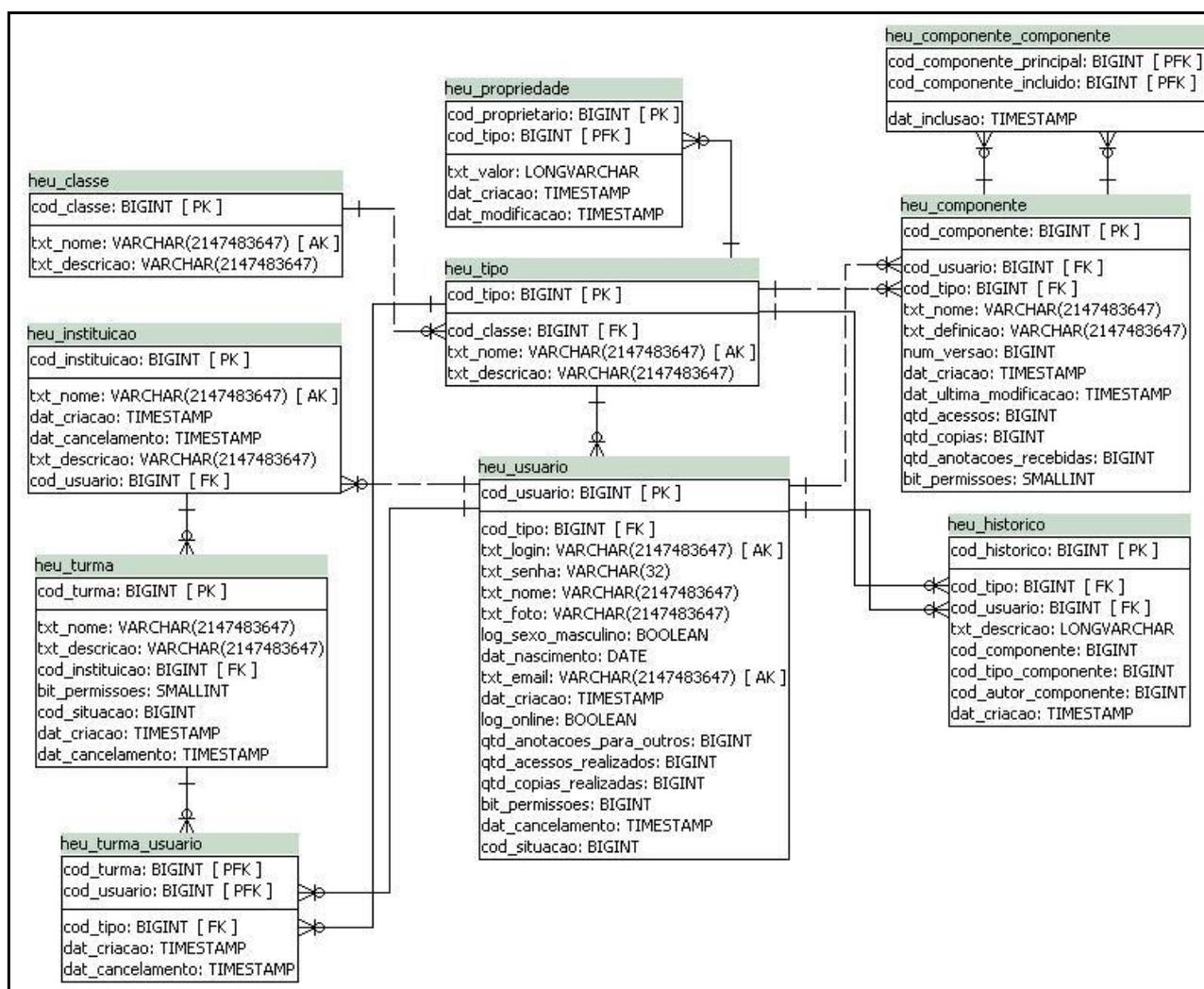


Figura 75 – Modelo lógico de persistência atualizado da *HeuChess*.

APÊNDICE C

PLANOS DE ATIVIDADES DAS TURMAS

Nesta seção são apresentados os planos de atividades aplicados às turmas no estudo empírico. Nestes planejamentos a colaboração foi realizada apenas nas atividades 10, 16 e 17.

	Período	Atividade
1	04/12/2012	Preencher o formulário Inicial
2	04/12/2012 a 05/12/2012	Criar uma Situação de Jogo que caracterize o Tabuleiro Inicial de uma partida de Xadrez. Coloque anotações para explicar onde as peças devem ficar no início do jogo.
3		Criar uma Situação de Jogo que permita a captura <i>en Passant</i> de uma peça Branca pelas Pretas. Coloque anotações para comentar quando esta captura especial é possível.
4		Criar uma Situação de Jogo que demonstre o Controle das quatro casas Centrais pelas Brancas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
5		Crie uma Situação de Jogo em que apesar das Torres e do Rei Branco estarem em suas posições originais, e nenhuma outra peça esteja na linha 1. Mesmo assim, as Brancas não podem fazer nenhum roque. Coloque anotações para explicar quando um roque (pequeno e grande) pode ser realizado.
6		Criar uma Situação de Jogo onde as Brancas estão em xeque. Coloque anotações para explicar o que ocorre no Tabuleiro.
7		Criar uma Situação de Jogo onde as Brancas aplicam xeque-mate nas Pretas. Coloque anotações para explicar como o lance ocorreu.
8		Criar uma Situação de Jogo onde as Pretas estão com o Rei Afogado. Coloque anotações para comentar esta situação de empate.
9		Criar uma Situação de Jogo que caracterize um caso típico de empate por falta de peças. Coloque anotações para explicar como identificar este tipo de empate.
10		06/12/2012 a 07/12/2012
11	08/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 1 . Colocar anotações para explicar porque foram escolhidos os valores para cada tipo de peça.
12	09/12/2012	Use o Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 1 criado para avaliar as Situações de Jogo criadas.
13	10/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 2 . Este Conjunto Heurístico deve forçar a movimentação dos peões para ocupar o centro do tabuleiro no início da Partida. Para isso crie Regiões e Heurísticas de Valor de Peças . Que façam com que os Tabuleiros que se enquadrem com esta situação valham mais. Coloque anotações para explicar qual a lógica empregada nas heurísticas.
14	11/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 3 . Este Conjunto Heurístico deve forçar a movimentação das torres e bispos para ocupar as laterais do tabuleiro. Para isso crie Regiões e Heurísticas de Valor de Tabuleiro . Que façam com que os Tabuleiros que se enquadrem com esta situação valham mais. Coloque anotações para explicar qual a lógica empregada nas heurísticas.
15	12/12/2012	Crie partidas de Xadrez usando os seus Conjuntos Heurísticos.
16	13/12/2012	Acesso os Conjuntos Heurísticos Criados pelos colegas de Turmas. Crie partidas entre os seus Conjuntos Heurísticos e os dos outros.
17	14/12/2012 a 17/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 4 . Este Conjunto Heurístico deve ter um comportamento específico para cada Etapa do jogo. Durante o início da partida ele deve dominar o centro do tabuleiro com os peões. No meio do jogo ele deve tentar dominar as laterais do tabuleiro com torres e bispos. Durante o final do jogo ele deve procurar pelo menos promover os seus peões. Para isto crie Etapas, Regiões, Heurísticas de Valor de Peça ou Tabuleiro, e também Heurísticas de Transição.
18	18/12/2012	Avaliação Final sobre o uso da Ferramenta HeuChess (Questionário)
Legenda		
	Durantes estas atividades será possível acessar os objetos criados pelos colegas de turma.	

Figura 76 – Plano de atividades aplicado à turma EF21C-P11-P12.

A Figura 77 exhibe o plano de atividades utilizado com a turma EF22C-P13.

	Período	Atividade
1	04/12/2012	Preencher o formulário Inicial
2	04/12/2012 a 07/12/2012	Criar uma Situação de Jogo que caracterize o uso da Abertura Rui Lopes pelas Brancas. Coloque anotações para comentar está técnica de Abertura.
3		Criar uma Situação de Jogo que caracterize o uso da Abertura Mate Pastor pelas Brancas. Coloque anotações para comentar está técnica de Abertura.
4		Criar uma Situação de Jogo que caracterize o uso da Abertura Quatro Cavalos pelas Pretas. Coloque anotações para comentar está técnica de Abertura.
5		Criar uma Situação de Jogo que caracterize o uso da Abertura Italiana pelas Brancas. Coloque anotações para comentar está técnica de Abertura.
6		Criar uma Situação de Jogo que demonstre o Controle das quatro casas Centrais pelas Brancas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
7		Criar uma Situação de Jogo que demonstre o uso da final "Dama, Torre e Rei X Rei" pelas Brancas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
8		Criar uma Situação de Jogo que demonstre o uso da final "Torre e Rei X Rei" pelas Pretas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
9		Criar uma Situação de Jogo onde as Pretas estão com o Rei Afogado. Coloque anotações para comentar esta situação de empate.
10		08/12/2012
11	09/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 1 . Colocar anotações para explicar porque foram escolhidos os valores para cada tipo de peça.
12		Use o Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 1 criado para avaliar as Situações de Jogo criadas.
13	10/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 2 . Este Conjunto Heurístico deve forçar o uso da Abertura Rui Lopes no início da Partida. Para isso crie Regiões e Heurísticas de Valor de Peças . Que façam com que os Tabuleiros que se enquadrem com as etapas desta abertura valham mais. Coloque anotações para explicar quais as características deste tipo de abertura.
14	11/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 3 . Este Conjunto Heurístico deve forçar o uso da Abertura Mate Pastor no início da Partida. Para isso crie Regiões e Heurísticas de Valor de Tabuleiro . Que façam com que os Tabuleiros que se enquadrem com as etapas desta abertura valham mais. Coloque anotações para explicar quais as características deste tipo de abertura.
15	12/12/2012	Crie partidas de Xadrez usando os seus Conjuntos Heurísticos.
16	13/12/2012	Acesso os Conjuntos Heurísticos Criados pelos colegas de Turmas. Crie partidas entre os seus Conjuntos Heurísticos e os dos outros.
17	14/12/2012 a 17/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 4 . Este Conjunto Heurístico deve ter um comportamento específico para cada Etapa do jogo. Durante o início da partida deve usar a Abertura Quatro Cavalos . No meio do jogo ele deve tentar pelo menos dominar o centro do tabuleiro. Durante o final do jogo ele deve procurar pelo menos promover os seus peões. Para isto crie Etapas, Regiões, Heurísticas de Valor de Peça ou Tabuleiro, e também Heurísticas de Transição.
18	18/12/2012	Avaliação Final sobre o uso da Ferramenta HeuChess (Questionário)
Legenda		
	Durantes estas atividades será possível acessar os objetos criados pelos colegas de turma.	

Figura 77 – Plano de atividades aplicado à turma EF22C-P13.

A Figura 78 apresenta o plano de atividades aplicado à turma EF22C-E13.

	Período	Atividade
1	03/12/2012	Preencher o formulário Inicial
2	03/12/2012 a 05/12/2012	Criar uma Situação de Jogo que caracterize o uso da Abertura Rui Lopes pelas Brancas. Coloque anotações para comentar está técnica de Abertura.
3		Criar uma Situação de Jogo que caracterize o uso da Abertura Giucco Piano pelas Brancas. Coloque anotações para comentar está técnica de Abertura.
4		Criar uma Situação de Jogo que caracterize o uso da Abertura Quatro Cavalos pelas Pretas. Coloque anotações para comentar está técnica de Abertura.
5		Criar uma Situação de Jogo que demonstre o Controle das quatro casas Centrais pelas Brancas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
6		Criar uma Situação de Jogo que demonstre o uso da tática "Duplo" pelas Pretas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
7		Criar uma Situação de Jogo que demonstre o uso da tática "Garfo" pelas Brancas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
8		Criar uma Situação de Jogo que demonstre a possível aplicação de um "Xeque descoberto" pelas Pretas. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
9		Criar uma Situação de Jogo que demonstre um Sacrificio de peça pelas Pretas, mas que gere uma vantagem de jogo. Coloque anotações para comentar o uso desta tática.
10		06/12/2012 a 07/12/2012
11	08/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 1 . Colocar anotações para explicar porque foram escolhidos os valores para cada tipo de peça.
12	09/12/2012	Use o Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 1 criado para avaliar as Situações de Jogo criadas.
13	10/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 2 . Este Conjunto Heurístico deve forçar o uso da Abertura Rui Lopes no início da Partida. Para isso crie Regiões e Heurísticas de Valor de Peças . Que façam com que os Tabuleiros que se enquadrem com as etapas desta abertura valham mais. Coloque anotações para explicar quais as características deste tipo de abertura.
14	11/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 3 . Este Conjunto Heurístico deve forçar o uso da Abertura Giucco Piano no início da Partida. Para isso crie Regiões e Heurísticas de Valor de Tabuleiro . Que façam com que os Tabuleiros que se enquadrem com as etapas desta abertura valham mais. Coloque anotações para explicar quais as características deste tipo de abertura.
15	12/12/2012	Crie partidas de Xadrez usando os seus Conjuntos Heurísticos.
16	13/12/2012	Acesso os Conjuntos Heurísticos Criados pelos colegas de Turmas. Crie partidas entre os seus Conjuntos Heurísticos e os dos outros.
17	14/12/2012 a 16/12/2012	Criar um Conjunto Heurístico de Nível de Complexidade 4 . Este Conjunto Heurístico deve ter um comportamento específico para cada Etapa do jogo. Durante o início da partida deve usar a Abertura Quatro Cavalos . No meio do jogo ele deve tentar pelo menos dominar o centro do tabuleiro. Durante o final do jogo ele deve procurar pelo menos promover os seus peões. Para isto crie Etapas, Regiões, Heurísticas de Valor de Peça ou Tabuleiro, e também Heurísticas de Transição.
18	17/12/2012	Avaliação Final sobre o uso da Ferramenta HeuChess (Questionário)
Legenda		
	Durantes estas atividades será possível acessar os objetos criados pelos colegas de turma.	

Figura 78 – Plano de atividades aplicado à turma EF22C-E13.

APÊNDICE D

EXEMPLO DE FORMALIZAÇÃO DE UM *CONJUNTO HEURÍSTICO*

Nesta seção apresentamos a representação completa em *DHJOG* de um conjunto heurístico formalizado por um aprendiz, durante a realização do estudo empírico (Ver seção 7.4.2.2).

A fim de facilitar a compreensão do código que será exposto, primeiramente exibimos na Figura 79 o diagrama com as transições existentes entre todas as etapas criadas. Já a especificação está dividida entre a Figura 80, Figura 81 e Figura 82.

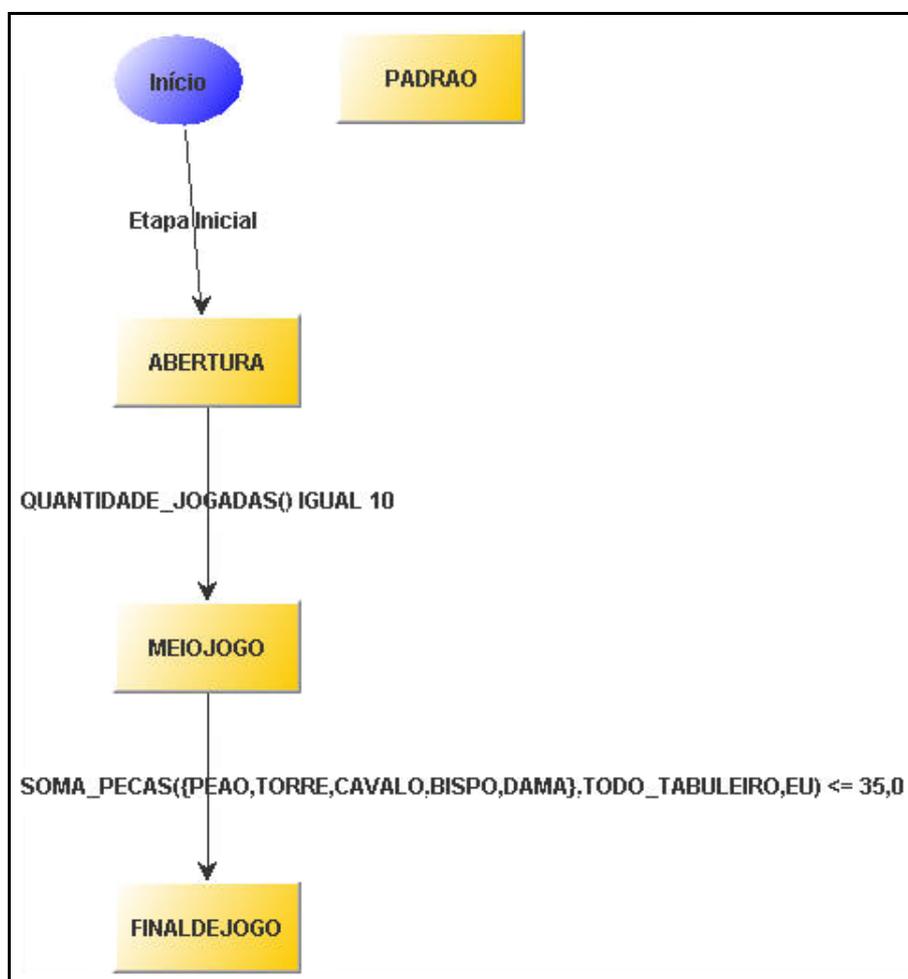


Figura 79 – Diagrama de transição entre as etapas do conjunto heurístico.

```
CONJUNTO_HEURISTICO "CHFINAL"
```

```
ANOTACAO "EXPLICAÇÃO INICIAL" EXPLICACAO
```

```
"O cavalo e o bispo têm valores iguais por ambos serem importantes no desenvolvimento do jogo."  
FIM ANOTACAO"
```

```
ETAPA_ATUAL <- "ABERTURA"
```

```
ETAPA "PADRAO"
```

```
PEAO.VALOR <- 3
```

```
TORRE.VALOR <- 15
```

```
CAVALO.VALOR <- 10
```

```
BISPO.VALOR <- 10
```

```
DAMA.VALOR <- 25
```

```
TABULEIRO <-
```

```
SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,EU) -
```

```
SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,OPONENTE)
```

```
FIM ETAPA
```

```
ETAPA "ABERTURA"
```

```
ANOTACAO "EXPLICAÇÃO INICIAL" EXPLICACAO
```

```
"Valor das peças na abertura não tem mudanças."
```

```
FIM ANOTACAO"
```

```
PEAO.VALOR <- 3
```

```
TORRE.VALOR <- 15
```

```
CAVALO.VALOR <- 10
```

```
BISPO.VALOR <- 10
```

```
DAMA.VALOR <- 25
```

```
TABULEIRO <-
```

```
SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,EU) -
```

```
SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,OPONENTE)
```

```
CASA[] "CVLS" <- {f3, c3}
```

```
CASA[] "PA" <- {e4}
```

```
HEURISTICA TRANSICAO_ETAPA "TRANSICAO1"
```

```
SE
```

```
QUANTIDADE_JOGADAS() IGUAL 10
```

```
ENTAO
```

```
ETAPA_ATUAL <- "MEIOJOGO"
```

```
FIM HEURISTICA
```

Figura 80 – Formalização completa em *DHJOG* de um conjunto heurístico (Parte 1).

```

HEURISTICA VALOR_PECA "MOVIENTOCAVALOS"
  SE
    PRESENCA_PECAS({CAVALO},CVLS,EU) IGUAL VERDADEIRO
  ENTAO
    PECAS_QUE_ESTAO({CAVALO},CVLS,EU) + 2,0
  FIM HEURISTICA

HEURISTICA VALOR_PECA "MOVIMENTOPEAO"
  SE
    PRESENCA_PECAS({PEAO},PA,EU) IGUAL VERDADEIRO
  ENTAO
    PECAS_QUE_ESTAO({PEAO},PA,EU) + 3,0
  FIM HEURISTICA

FIM ETAPA

ETAPA "MEIOJOGO"

  ANOTACAO "EXPLICAÇÃO INICIAL" EXPLICACAO
    "Objetivo: dominar o centro."
  FIM ANOTACAO"

  PEAO.VALOR <- 8
  TORRE.VALOR <- 20
  CAVALO.VALOR <- 15
  BISPO.VALOR <- 15
  DAMA.VALOR <- 30

  TABULEIRO <-
    SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,EU) -
    SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,OPONENTE)

  CASA[] "CENTRO2" <- {d5, e5, d4, e4}

  HEURISTICA TRANSICAO_ETAPA "TRANSICAO2"
    SE
      SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,EU) <= 35,0
    ENTAO
      ETAPA_ATUAL <- "FINALDEJOGO"
    FIM HEURISTICA

  HEURISTICA VALOR_PECA "DOMINIOCENTRAL"
    SE
      PRESENCA_PECAS({PEAO,CAVALO,BISPO},CENTRO2,EU) IGUAL VERDADEIRO
    ENTAO
      PECAS_QUE_ESTAO({PEAO,CAVALO,BISPO},CENTRO2,EU) + 6,0
    FIM HEURISTICA

FIM ETAPA

```

Figura 81 – Formalização completa em *DHJOG* de um conjunto heurístico (Parte 2).

ETAPA "FINALDEJOGO"

ANOTACAO "EXPLICAÇÃO INICIAL" EXPLICACAO

"Objetivo: coroar peões"

FIM ANOTACAO"

PEAO.VALOR <- 25

TORRE.VALOR <- 20

CAVALO.VALOR <- 15

BISPO.VALOR <- 15

DAMA.VALOR <- 30

TABULEIRO <-

SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,EU) -

SOMA_PECAS({PEAO,TORRE,CAVALO,BISPO,DAMA},TODO_TABULEIRO,OPONENTE)

CASA[] "LINHAFINAL" <- {a8, b8, c8, d8, e8, f8, g8, h8}

HEURISTICA VALOR_PECA "PROMOCAO"

SE

PRESENCA_PECAS({PEAO},LINHAFINAL,EU) IGUAL VERDADEIRO

ENTAO

PECAS_QUE_ESTAO({PEAO},LINHAFINAL,EU) + 15,0

FIM HEURISTICA

FIM ETAPA

FIM CONJUNTO_HEURISTICO

Figura 82 – Formalização completa em *DHJOG* de um conjunto heurístico (Parte 3).

APÊNDICE E

DETALHAMENTO DOS CAMPEONATOS HEURÍSTICOS

Nesta seção estão detalhadas todas as pontuações dos ciclos das competições heurísticas, realizadas no estudo empírico. Onde se pode conferir a quantidade de partidas, vitórias, empates, derrotas, e as classificações finais.

Na Tabela 39, Tabela 40, Tabela 41, e Tabela 42 estão disponíveis as informações referentes ao campeonato da turma EF22C-P13.

Identificação no estudo	Altura 1					
	Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
Aluno 42	8	6	1	5	0	1º
Aluno 40	6	6	0	6	0	2º
Aluno 35	6	6	0	6	0	2º
Escolha Aleatória	5	6	0	5	1	4º

Tabela 39 – Detalhes do primeiro ciclo do campeonato da turma EF22C-P13.

Identificação no estudo	Altura 2					
	Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
Aluno 40	13	6	4	1	1	1º
Aluno 42	11	6	3	2	1	2º
Aluno 35	10	6	3	1	2	3º
Escolha Aleatória	0	6	0	0	6	4º

Tabela 40 – Detalhes do segundo ciclo do campeonato da turma EF22C-P13.

Identificação no estudo	Altura 3					
	Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
Aluno 42	12	6	4	0	2	1º
Aluno 40	12	6	4	0	2	1º
Aluno 35	12	6	4	0	2	1º
Escolha Aleatória	0	6	0	0	6	4º

Tabela 41 – Detalhes do terceiro ciclo do campeonato da turma EF22C-P13.

Identificação no estudo	Análise após 3 ciclos	
	Soma dos pontos	Média da classificação (Altura 1, 2, e 3)
Aluno 42	31	1,3
Aluno 40	31	1,3
Aluno 35	28	2,0
Escolha Aleatória	5	4,0

Tabela 42 – Resultado final do campeonato da turma EF22C-P13.

Na Tabela 43, Tabela 44, Tabela 45, e Tabela 46 estão distribuídas as informações detalhadas da competição realizada na turma EF22C-E13.

Identificação no estudo	Altura 1					
	Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
Aluno 68	40	22	10	10	2	1º
Aluno 81	39	22	9	12	1	2º
Aluno 70	34	22	8	10	4	3º
Aluno 69	33	22	7	12	3	4º
Aluno 74	27	22	7	6	9	5º
Aluno 64	27	22	6	9	7	6º
Aluno 66	27	22	6	9	7	6º
Aluno 71	25	22	3	16	3	8º
Aluno 73	21	22	2	15	5	9º
Aluno 79	18	22	1	15	6	10º
Aluno 72	17	22	2	11	9	11º
Escolha Aleatória	17	22	0	17	5	12º

Tabela 43 – Detalhes do primeiro ciclo do campeonato da turma EF22C-E13.

Identificação no estudo	Altura 2					
	Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
Aluno 68	58	22	19	1	2	1 ^o
Aluno 72	55	22	18	1	3	2 ^o
Aluno 81	50	22	16	2	4	3 ^o
Aluno 74	46	22	14	4	4	4 ^o
Aluno 64	43	22	14	1	7	5 ^o
Aluno 79	38	22	12	2	8	6 ^o
Aluno 70	25	22	8	1	13	7 ^o
Aluno 66	23	22	7	2	13	8 ^o
Aluno 69	22	22	7	1	14	9 ^o
Aluno 73	14	22	4	2	16	10 ^o
Aluno 71	13	22	4	1	17	11 ^o
Escolha Aleatória	0	22	0	0	22	12 ^o

Tabela 44 – Detalhes do segundo ciclo do campeonato da turma EF22C-E13.

Identificação no estudo	Altura 3					
	Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
Aluno 68	57	22	19	0	3	1 ^o
Aluno 81	50	22	16	2	4	2 ^o
Aluno 64	46	22	15	1	6	3 ^o
Aluno 79	46	22	15	1	6	3 ^o
Aluno 74	42	22	14	0	8	5 ^o
Aluno 69	39	22	13	0	9	6 ^o
Aluno 71	31	22	10	1	11	7 ^o
Aluno 72	29	22	9	2	11	8 ^o
Aluno 70	27	22	9	0	13	9 ^o
Aluno 66	14	22	4	2	16	10 ^o
Aluno 73	10	22	3	1	18	11 ^o
Escolha Aleatória	0	22	0	0	22	12 ^o

Tabela 45 – Detalhes do terceiro ciclo do campeonato da turma EF22C-E13.

Identificação no estudo	Análise após 3 ciclos	
	Soma dos pontos	Média da classificação (Altura 1, 2, e 3)
Aluno 68	155	1,0
Aluno 81	139	2,3
Aluno 64	116	4,7
Aluno 74	115	4,7
Aluno 79	102	6,3
Aluno 72	101	7,0
Aluno 69	94	6,3
Aluno 70	86	6,3
Aluno 71	69	8,7
Aluno 66	64	8,0
Aluno 73	45	10,0
Escolha Aleatória	17	12,0

Tabela 46 – Resultado final do campeonato da turma EF22C-E13.

Os detalhes da competição entre os melhores da turma EF22C-P13 e EF22C-E13 estão especificados na Tabela 47, Tabela 48, Tabela 49, e Tabela 50.

Turma	Identificação no estudo	Altura 1					Classificação
		Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	
EF22C-E13	Aluno 68	20	12	4	8	0	1°
EF22C-E13	Aluno 81	17	12	3	8	1	2°
EF22C-E13	Aluno 64	13	12	3	4	5	3°
EF22C-P13	Aluno 40	13	12	2	7	3	3°
EF22C-P13	Aluno 42	12	12	0	12	0	5°
EF22C-P13	Aluno 35	11	12	1	8	3	6°
Escolha Aleatória		11	12	0	11	1	7°

Tabela 47 – Primeiro ciclo do campeonato dos melhores da EF22C-P13 e EF22C-E13.

Turma	Identificação no estudo	Altura 2					
		Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
EF22C-E13	Aluno 68	36	12	12	0	0	1º
EF22C-E13	Aluno 81	28	12	9	1	2	2º
EF22C-E13	Aluno 64	18	12	6	0	6	3º
EF22C-P13	Aluno 40	17	12	5	2	5	4º
EF22C-P13	Aluno 35	13	12	4	1	7	5º
EF22C-P13	Aluno 42	11	12	3	2	7	6º
Escolha Aleatória		0	12	0	0	12	7º

Tabela 48 – Segundo ciclo do campeonato dos melhores da EF22C-P13 e EF22C-E13.

Turma	Identificação no estudo	Altura 3					
		Pontos	Partidas	Vitórias	Empates	Derrotas	Classificação
EF22C-E13	Aluno 68	31	12	10	1	1	1º
EF22C-E13	Aluno 64	28	12	9	1	2	2º
EF22C-E13	Aluno 81	22	12	7	1	4	3º
EF22C-P13	Aluno 35	16	12	5	1	6	4º
EF22C-P13	Aluno 40	15	12	5	0	7	5º
EF22C-P13	Aluno 42	12	12	4	0	8	6º
Escolha Aleatória		0	12	0	0	12	7º

Tabela 49 – Terceiro ciclo do campeonato dos melhores da EF22C-P13 e EF22C-E13.

Turma	Identificação no estudo	Análise após 3 ciclos	
		Soma dos pontos	Média da Classificação (Altura 1, 2, e 3)
EF22C-E13	Aluno 68	87	1,0
EF22C-E13	Aluno 81	67	2,3
EF22C-E13	Aluno 64	59	2,7
EF22C-P13	Aluno 40	45	4,0
EF22C-P13	Aluno 35	40	5,0
EF22C-P13	Aluno 42	35	5,7
Escolha Aleatória		11	7,0

Tabela 50 – Resultado do campeonato com os melhores da EF22C-P13 e EF22C-E13.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMSON, B. (1989). **Control Strategies for Two-Player Games**. ACM Computing Surveys. Volume 21, Issue 2, Jun. ACM New York, NY, USA.
- ADAMS, C. (2007). **Chessmaster: The Art of Learning Review**. Site IGN. Publicado em: 4 de dezembro de 2007. Disponível em: <<http://ds.ign.com/articles/839/839557p1.html>>. Acessado em: 21 de outubro de 2011.
- AGUIAR, F., Direne, A., Bona, L., Silva, F., Castilho, M., Guedes, A., Sunye, M., Garcia, L. (2007). **Ferramentas e métodos para apoiar o ensino de xadrez na fronteira entre os fundamentos e a perícia**. Anais do XXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Porto Alegre: SBC, v.1, p. 380-387.
- ALLIS, V. (1994). **Searching for Solutions in Games and Artificial Intelligence**. Maastricht. Tese de Doutorado. University of Limburg.
- ANDERSON, C. KELTNER, D. (2002). **The role of empathy in the formation and maintenance of social bonds**. Behavioral and Brain Sciences, 25(01) : 21{22.
- ANDERSON, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., Pelletier R. (1995). **“Cognitive Tutors: Lessons Learned”**. The Journal of the Learning Sciences, v. 4, no. 2, pp. 167–207.
- ANUPAM, V., BAJAJ, C. L. (1993). **Collaborative Multimedia Game Environments**. Computer Science Technical Reports. 1 de dezembro de 1993.

- ARRIADA, M. C. (2001). **Critérios para a análise de ferramentas computacionais de apoio à aprendizagem cooperativa**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BARBIERI, H. T. (2009). **Ferramentas integradas de acesso remoto para apoiar o auto-estudo e a competição em jogos heurísticos**. Dissertação de mestrado em Informática, Universidade Federal do Paraná.
- BATENZO. (2011). **Xiang Qi**. Site GIOCHI da TAVOLO. Acessado em: 1 de setembro de 2011. Disponível em: <www.franciavincenzo.altervista.org/giochi/xiang_qi.htm>.
- BERLINER, H. (1989). **HITECH Chess: From Master to Senior Master with No Hardware Change**. In MIV-89: Proceedings of the International Workshop on Industrial Applications of Machine Intelligence and Vision (Seiken Symposium), pp. 12-21.
- BERLINER, H., Goetsch, G., Campbell, M., Ebeling, C. (1990). **Measuring the performance potential of chess programs**. Artificial Intelligence, 43(1):7–21, April.
- BILALIC M., Kiesel A., Pohl C., Erb M., Grodd W. (2011). **It Takes Two–Skilled Recognition of Objects Engages Lateral Areas in Both Hemispheres**. Revista PLoS ONE. 24 de janeiro.
- BINET, A. (1894). **Psychologie des Grands Calculateurs et Joueurs d’Echecs**. Paris: Hachette.
- BOTVINNIK, M. M. (1982). **Meine neuen Ideen zur Schachprogrammierung** (traduzido por Alfred Zimmermann). Springer Verlag, Berlin.
- BRADY, F. (2011). **ENDGAME – Bobby Fischer’s Remarkable Rise and Fall – from America’s Brightest Prodigy to the Edge of Madness**. 402 páginas. Editora: Crown. Primeira impressão em 1 de fevereiro de 2011.

- BRATKO, I., Mozeitie, I., Lavrae, N. (1990). **Kardio: a study in deep and qualitative knowledge for expert systems**, MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- BUENO, L. (2008). **Conceitos e ferramentas de apoio ao aperfeiçoamento do desempenho de heurísticas de jogos**. 88 f. Dissertação de Mestrado em Informática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/16086>>.
- BUENO, L., Direne, A., Guedes A., Silva, F., Bona, L., Garcia, L., Castilho, M., Sunye, M. (2008). **Visualização de táticas para apoiar a aquisição de habilidades em jogos educacionais**. Anais do XXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – SBC, Workshop sobre Informática na Escola.
- BURMEISTER, J. M. (2000). “**Studies in Human and Computer Go: Assessing the Game of Go as a Research Domain for Cognitive Science**”. Tese de Doutorado, Universidade de Queensland.
- BURNS, B. D. (2004). **The Effects of Speed on Skilled Chess Performance**. Michigan State University.
- CAMPBELL, M. (1999). **Knowledge discovery in Deep Blue**. Communications of the ACM, vol. 42, no. 11, pp. 65–67. 132, 137.
- CAMPBELL, M., Hoane Jr., A. J. Hsu, F-H. (2002). **Deep Blue**. Artificial Intelligence, 134(1{2}):57{83,.

CAMPITELLIL, G., Gobet, F., Parker, A. (2005). **Struture and Stimulus Familiarity: A Study of Memory in Chess-Players with Functional Magnetic Resonance Imaging.** The Spanish Journal of Psychology. Vol. 8, No. 2, 238-245.

CARROLL, A. (2010). Site Angus Carroll Writings. **O Jogo Real.** Publicado em: 11 de junho de 2010. Disponível em: <<http://anguscarroll.wordpress.com/2010/06/11/the-royal-game>>. Acessado em: 6 de outubro de 2011.

CASTELLANO, G., Leite, I., Pereira, A., Martinho, C., Paiva, A., McOwan, P. (2009). **It's all in the game: Towards an affect sensitive and context aware game companion.** In Proceedings of ACII 2009, p. 29{36. IEEE.

CAVANNA A. E. , TRIMBLE M. R. (2006). **The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates.** Revista Brain, 129, 564–583.

CHESSBASE. (2006). **Topalov threatens to abandon the World Championship Match.** Publicado em: 28 de setembro de 2006. Acesso em: 12 de outubro de 2011. Disponível em: <www.chessbase.com/newsdetail.asp?newsid=3370>.

CHESSBASE. (2011a). **Site ChessBase Shop.** Acessado em: 21 de outubro de 2011. Disponível em: <www.chessbase-shop.com>.

CHESSBASE. (2011b). **Fritz and Chesster - Part 1.** Site ChessBase Shop. Acessado em: 22 de outubro de 2011. Disponível em: <www.chessbase-shop.com/en/products/fritz_and_chesster>.

CHESSCENTRAL. (2010). **Fritz 12 - Truly Great Chess Playing Software**. Publicado em: 2010.

Disponível em: <www.chesscentral.com/Fritz_12_p/fritz-12.htm>. Acessado em: 20 de outubro de 2011.

CHURCH, A. (1956). **Introduction to Mathematical Logic**, Princeton, New Jersey:Princeton University Press.

CLEVELAND, A. (1907). **The psychology of chess and of learning to play it**. The American Journal of Psychology, v. 3, p. 269-308.

CLUA, E. W. G., BITTENCOURT, J. R. (2004). **Uma nova concepção para a criação de jogos educativos**. XV SBIE - Simpósio Brasileiro de Informática na Educação.

COMPUTER HISTORY MUSEUM. (2011). **A History of Computer Chess**. Site Computer History Museum. Acessado em: 7 de outubro de 2011. Disponível em: <www.computerhistory.org/chess>.

COOKE, N., Atlas, R., Lane, D., Berger, R. (1993). **Role Of High-Level Knowledge In Memory For Chess Positions**. American Journal Of Psychology, 106,32 1-35 1.

COTTON, D. (2013). **Site oficial da ferramenta jChecs**. Acessado em: 24 de julho de 2013. Disponível em: <<http://jchecs.free.fr>>.

DA SILVA, P. A. (2011). **Desenvolvimento de um sistema de jogo de xadrez utilizando JavaFX: estudo dirigido a aplicações ricas para Internet**. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Cornélio Procópio. 2011.

- DAVIS, M. D. (1973). **Teoria dos jogos: uma introdução não-técnica**. São Paulo: Cultrix.
- DAYTON, A. (2010). **You Could Learn a Lot From Deep Blue**. Marketing Strategy and The Law. Publicado em: 6 de abril de 2010. Acessado em: 10 de outubro de 2011. Disponível em: <<http://adriandayton.com/2010/04/you-could-learn-a-lot-from-deep-blue>>.
- DE GROOT, A. (1946). **Thought and choice in chess**. 2. ed. New York: Mouton Publishers, 1978.
- DE LISI, R. (1987). **A cognitive-developmental modelo f planning**. In: Friedman, S; Scholnick, E. K.; Cocking, R. Blueprints for thinking. Cambridge: Cambridge University Press, p. 79-109.
- DIRENE, A. (1993). **Methodology and tools for designing concept tutoring systems**. Brighton: Tese de Doutorado, School of Cognitive and Computing Sciences, Universidade de Sussex.
- DIRENE, A., Bona, L., Silva, F., Dos Santos, G., Guedes, A., Castilho, M., Sunyé, M., Hartmann, C., De Andrade Neto, P., de Mello, S., Sunyé Neto, J. E Silva, W. (2004). **Conceitos e ferramentas de apoio ao ensino de xadrez nas escolas brasileiras**. Em Anais do XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação: WIE – Workshop sobre Informática na Escola, Salvador, Brasil, R. Macedo, Ed., SBC, pp-816-825.
- DIRENE, A.; SCOTT, D. (2001). **Identifying the component features of expertise in domains of complex visual recognition**. Information Technology Research Institute Technical Report Series. University of Brighton, Inglaterra.
- DONNINGER, C., Lorenz, U. (2006). **Innovative Opening-Book Handling**. Advances in Computer Games. Lecture Notes in Computer Science, Volume 4250, p1-10.

DRESCHER, G. (1991). **Made-Up Minds: A Constructivist Approach to Artificial Intelligence.**

Boston: MIT Press.

EDWARDS, S. J. (1994). **Portable Game Notation Specification and Implementation Guide.**

Publicado em: 12 de março de 1994. Acessado em: 25 de outubro de 2011. Disponível em:

<www.chessclub.com/help/PGN-spec>.

FAUBER, R. E. (1992). **Impact of genius: 500 years of grandmasters chess.** Seattle: International

Chess Enterprises.

FEITOSA, A. (2006). **Definição formal de táticas de xadrez por meio da autoria incremental de**

conceitos heurísticos. 112 f. Dissertação de Mestrado em Informática. Universidade Federal do

Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/10983>>.

FEITOSA, A., Direne, A., Silva, F., Bona, L., Guedes, A., Castilho, M., Sunye, M., Garcia, L.

(2007). **Definição formal de táticas de xadrez por meio da autoria incremental de**

conceitos heurísticos. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE),

244-253, São Paulo, SP.

FERREIRA, M. V. R. (2009). **Estudo empírico e aspectos pré-computacionais para a detecção**

automática de capacidades da perícia em aprendizes de xadrez. 102 f. Dissertação de

Mestrado em Informática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FICS. (2011). **Free Internet Chess Server.** Acessado em: 28 de outubro de 2011. Disponível em:

<www.freechess.org>.

FIDE. (2011). **Fédération International Des Échecs** (Federação internacional de xadrez).

Disponível em: <www.fide.com>. Acessado em: 24 de agosto de 2011.

FINO, C. N. (2001). **Vygotsky e a zona de desenvolvimento proximal (zdp): três implicações pedagógicas**. Revista Portuguesa de Educação, p. 273{291.

FIPA. (2011). **Foundation for Intelligent Physical Agents**. Acessado em: 1 de novembro de 2011.

Disponível em: <www.fipa.org>.

FOGEL, D. B., Hays, T. J., Hahn, S. L., and Quon, J. (2005). **Further evolution of a self-learning chess program**. In Proceedings of the IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games. Piscataway, NJ: IEEE.

FUKS, H. (2000). **Aprendizagem e trabalho cooperativo no ambiente Aulanet**. Revista Brasileira de Informática na Educação, SBC, N6, pp 53-73, Abril, 2000.

GADWAL, D., Greer, J. E., McCalla, G. I. (1991). **Umrao: A chess endgame tutor**. Proceedings of the 12th international joint conference on Artificial intelligence. Publisher: Morgan Kaufmann Publishers Inc., p. 1081-1086.

GADWAL, D., Greer, J. E., McCalla, G. I. (1993). **Tutoring bishop-pawn endgames: An experiment in using knowledge-based chess as a domain for intelligent tutoring**. Applied Intelligence, 3(3) : 207–224.

GAGNÉ, R. M. (1985) **The Conditions of Learning and Theory of Instruction**. Fourth Edition Holt, Rinehart and Winston, New York, NY.

- GARCÍA, F. J.; Moreno, M. N.; García-Bermejo, J. R. (2007). **Collaborative multimedia environment for chess teaching**. Int. J. Computer Applications in Technology, Vol. 29, No. 1.
- GENESERETH, M., LOVE, N. (2005). **General game playing: Overview of the AAAI competition**. AI Magazine, 26.
- GINSBURG, M. WEISBAND, S. (2003). **"What's Inside a Successful Virtual Community Business? The Case of the Internet Chess Club"**. Apresentado em AMCIS, Tampa, FL.
- GLEICH, D. (2003). **Machine Learning in Computer Chess: Genetic Programming and KRK**. Technical Report, Harvey Mudd College, USA.
- GUID M., BRATKO I. (2007). **Factors Affecting Diminishing Returns for Searching Deeper**. In ICGA Journal, Vol. 30, Nr. 2, p. 75-84.
- HAREL, D. (1987). **A Visual Formalism for Complex Systems**. Science of Computer Programming , 231–274.
- HARTMANN, C. M. (2005). **Linguagem e ferramenta de autoria para promover o desenvolvimento de perícias em xadrez**. Dissertação de Mestrado em Informática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- HARTMANN, C. M.; Direne, A. I.; Bona, L. C. E.; Silva, F.; Santos, G.; Castilho, M. A.; Sunye, M. S.; GUEDES, A. L. P. (2005). **Linguagem e ferramenta de autoria para promover o desenvolvimento de perícias em xadrez**. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, v. 1, p. 656-665.
- HAYES, J. R. (1989). **The complete problem solver**. New Jersey, LEA.

- HISTORY OF COMPUTER. (2011). **Leonardo Torres's chess-machine**. Site History of Computer. Disponível em: <www.history-computer.com/Dreamers/Torres_chess.html>. Acessado em: 6 de outubro de 2011.
- HOBMEIR NETO, A.; Direne, A., Silva, F., Bona, L., Garcia, L., Castilho, M., Sunye, M. (2008). **Uma abordagem dialógica alternativa para aquisição de habilidades táticas em jogos educacionais**. Anais do SBIE-2008 – XIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, v. 1, p. 1-10.
- HOFFMAN, M. (2001). **Empathy and moral development: Implications for caring and justice**. Cambridge Univ Press.
- HSU, F. (1998). **Designing a single-chip chess grandmaster while knowing nothing about chess**. Hot Chips 10, Proceedings (Slides da apresentação), pp. 59-69.
- HSU, F. (1999). **IBM's Deep Blue Chess Grandmaster Chips**. IEEE Micro, v.19 n.2, p.70-81.
- HYATT, R., Cozzie, A. (2005). **The Effect of Hash Signature Collisions in a Chess Program**. ICGA Journal, Vol. 28, No. 3.
- HYÖTYNIEMI, H., SAARILUOMA, P. (1999). **Chess – Beyond the Rules**. Control Engineering Laboratory. Helsinki Univ. of Tech.
- ICC. (2011). **Internet Chess Club**. Acessado em: 28 de outubro de 2011. Disponível em: <www.chessclub.com>.
- IIDA, H., Sakuta, M., Rollason, J. (2002). **Computer Shogi**. Artificial Intelligence, Vol. 134, pp. 121-144.

- INHELDER, B.; PIAGET, J. (1955). **Da lógica da criança à lógica do adolescente**. São Paulo: Pioneira, 1976.
- IQBAL, A., YAACOB, M. (2008). **Advanced computer recognition of aesthetics in the game of chess**. WSEAS Transactions on Computers, v.7, n.5, p.497-510.
- JENNINGS, P. (2011). **Microchess**. Site Belo Park. Acessado em: 18 de outubro de 2011. Disponível em: <www.benlo.com/microchess>.
- JUNGHANNS A., Schaeffer J., Brockington M., Björnsson Y., Marsland T. (1997). **Diminishing Returns for Additional Search in Chess**. Advances in Computer Chess 8.
- JUNGHANNS, A.; SCHAEFFER, J. (1997). **Search versus knowledge in game-playing programs revisited**. In The International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI'97, p. 692–697.
- KASPAROV, G. (2007). **Xeque-mate: a vida é um jogo de xadrez**. Rio de Janeiro: Campus.
- KNUTH, D. E. (2003). Selected Papers on Computer Languages: **Backus Normal Form versus Backus Naur Form**. Ventura Hall, Stanford CA: CSLI-Center for Study of Language and Information. 95-97 p.
- KOHONEN, T. (2001). **SELF-ORGANIZING MAPS**. New York, EUA: Springer.
- KORF, R. E. (1985). **Depth-first iterative-deepening: An optimal admissible tree search**. Artificial Intelligence, Vol. 27, No. 1, pp. 97-109.
- KOTOV, A. (1989). **Juego como un gran maestro**. 3. ed. Madrid: Club de Ajedrez.

- KUSS, F. S. (2009). **Definição de atores e seus papéis em um ambiente virtual para aprendizagem e prática do xadrez escolar.** Dissertação de mestrado em Informática, Universidade Federal do Paraná.
- LASKER, E. (1997). **Manual de ajedrez.** Madrid: Jaque XXI.
- LAZZERI, S. G., HELLER, R. (1996). **ICONCHESS: an Interactive CONSultant for CHESS middlegames.** Proceeding ICLS '96 Proceedings of the international conference on Learning sciences.
- LEITE, I, Pereira A, Castellano G, Mascarenhas S, Martinho C, Paiva. (2011). **A Social Robots in Learning Environments: a Case Study of an Empathic Chess Companion.** Proceedings of The International Workshop on Personalization Approaches in Learning Environments (PALE), CEUR Workshop Proceedings. Girona, Spain.
- LEITE, I, Martinho, C., Pereira, A., Paiva, A. (2008). **iCat: an affective game buddy based on anticipatory mechanisms.** In Proceedings of AAMAS'08, p. 1229{1232. IFAAMAS.
- LEITE, I, Martinho, C., Pereira, A., Paiva, A. (2009). **As Time goes by: Long-term evaluation of social presence in robotic companions.** In Proceedings of RO-MAN 2009, p. 669{674. IEEE.
- LESGOLD, A. M. (1984). **Acquiring expertise.** In Anderson, J. R. and Kosslyn, S. M., editors, *Tutorials in Learning and Memory: Essays in Honor of Gordon Bower.* W. H. Freeman.
- LESGOLD, A. M., Rubinson, H., Glasser, P. F. R., Klopfer, D., and Wang, Y. (1989). **Expertise in a complex skill: Diagnosing x-ray pictures.** In Chi, M., Glasser, R., and Farr, M., editors, *The Nature of Expertise.* Lawrence Erlbaum.

LESTER, J. C., Converse, S. A., Kahler, S. E., Barlow, S. T., Stone, B. A., Bhogal, R. S.. (1997).

The persona effect: affective impact of animated pedagogical agents. In Proceedings of CHI '97, p. 359-366, NY, USA, 1997. ACM.

LOPEZ, S. (2005). **Chess Software Buying Guide.** Site Chesscentral. Publicado em: 2005.

Disponível em: <www.chesscentral.com/Chess%20Knowledge%20Base_a/275.htm>.

Acessado em: 20 de outubro de 2011.

MACEDO, L. (1997). **Quatro cores, senha e dominó: oficinas de jogos em uma perspectiva construtivista e psicopedagógica.** 3. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. (1999). **Técnicas de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas.

MARTINESCHEN, D., Direne, A., Bona, L., Silva, F., Castilho, M., Guedes, A., Sunyé, M. (2006)

Alternância entre competição e colaboração para promover o aprendizado por meio de heurísticas de jogos. Anais do WIE2006 - Workshop sobre Informática na Escola, p. 1-10.

Campo Grande.

McCLAIN D. L. (2011). **Harnessing the Brain's Right Hemisphere to Capture Many Kings.**

Matéria do The New York Times. 25 de Janeiro 2011, página D3. Disponível em:

<www.nytimes.com/2011/01/25/science/25chess.html>.

McGREW, T. (1997). **Collaborative Intelligence: The Internet Chess Club on Game 2 of**

Kasparov vs. Deep Blue. Journal IEEE Internet Computing archive Volume 1, Issue 3, maio de 1997. IEEE Educational Activities Department Piscataway, NJ, USA.

MICHIE, D. (1977). **A theory of advice.** Machine Intelligence 8, p. 151-170.

- MORA, M. A., MORIYÓN, R. (2000). **Guided collaborative chess tutoring through game history analysis**. 2º Simpósio Internacional de Informática Educativa. Puertollano.
- MORA, M. A., MORIYÓN, R. (2001). **Guided collaborative tutoring through learning history analysis: The FACT Framework**. Proceedings of the First European Conference on Computer-Supported Collaborative Learning, março de 2001, Maastricht, Holanda. Poster, pp. 680-681.
- MORAN, P. (1972). **“Bobby” Fischer: su vida y partidas**. Martinez Roca, Barcelona, Espanha.
- MTELMASTERS. (2007). **Ivan Cheparinov: we Bulgarians will be a decisive factor in the chess world**. Publicado em: 2007. Acessado em: 28 de outubro de 2011. Disponível em: [<www.mtelmasters.bg/2007/en/interviews&article_id=14.html>](http://www.mtelmasters.bg/2007/en/interviews&article_id=14.html).
- MÜLLER, M. (2002). **Computer Go**. Artificial Intelligence, 134(1-2):145{179.
- MURRAY, T., Winship, L., Bellin, R., Cornell, M. (2001). **Toward Glass Box Educational Simulations: Reifying Models for Inspection and Design**, Workshop External representations in AIED, San Antonio, Texas.
- NETTO, J. F. M. (2005). **Um Tutor Inteligente para o Ensino de xadrez**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação. COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- NETTO, J. F. M. (2006). **Uma arquitetura para ambientes virtuais de convivência - uma proposta baseada em sistemas multiagentes**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo.

- NETTO, J. F. M., Tavares, O. L., Menezes, C. S. (2005a). **Um Ambiente Virtual para Aprendizagem de xadrez**. Workshop - Jogos Digitais na Educação, Anais do XVI SBIE (versão digital), Juiz de Fora, MG.
- NETTO, J. F. M.; Tavares, O. L.; Menezes, C. S. (2005b). **Xadrez, do Real ao Virtual**. VI Ciclo de Palestras Novas Tecnologias na Educação. CINTED/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Revista Novas Tecnologias na Educação (RENOTE), Volume 3, Fascículo 2, ISBN 1679-1916. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/renote>>. Acessado em: 1 de novembro de 2011.
- NEUMANN, J. V.; MORGENSTERN, O. (1944). **Theory of games and economic behavior**. 6. ed. New Jersey: Princeton University Press, 1990.
- NEWBORN, M. M. (1985). **A Hypothesis Concerning the Strength of Chess Programs**. ICCA Journal, Vol. 8, No. 4, pp. 209-215.
- NEWBORN, M. M. (1989). **Computer Chess: Ten Years of Significant Progress**. In Advances in Computers 29, M. Yovits (ed.), Academic Press, pp. 197-250.
- NWANA, H. S. (1990). **Intelligent tutoring systems: an overview**. Artificial Intelligence Review, 4(4) : 251–277, Publicado em dezembro de 1990.
- PACHMAN, L. (1967). **Estratégia moderna do xadrez**. São Paulo: Bestseller.
- PACHMAN, L. (1972). **Táctica moderna en ajedrez**. v. 1 e 2. Barcelona: Ediciones Martínez Roca S. A.

- PEÑALVO, F. J. G.; De La Torre, F. J. G.; Carrasco, J. G.; Alonso, F. J. S. (2005). **Ajedrez Tutor. Software Colaborativo para el Proceso de Enseñanza/Aprendizaje del Ajedrez.** Interacción 2005. VI Congreso Interacción Persona Ordenador. Universidade de Granada, Espanha.
- PEREIRA A., Martinho, C., Leite, I.; Paiva, A. (2008). **iCat, the chess player: the influence of embodiment in the enjoyment of a game.** Proceedings of 7th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2008). Portugal, pp. 1253-1256.
- PEREIRA, K.; Ulbricht, V. R.; Vanzin, T.; Maia, L. F. J. (2008). **A internet e a dimensão criativa no jogo de xadrez.** In: Conferência IADIS 359. Ibero- Americana WWW/Internet 2008, Lisboa. Atas da Conferência. Lisboa: IADIS Press, p. 121-128.
- PIAGET, J. (1976). **O possível, o impossível e o necessário: as pesquisas em andamento ou projetadas no Centro Internacional de Epistemologia Genética.** In: LEITE, L. B. (Org.); Medeiros, A. A. (Colab.). Piaget e a escola de genebra. 3. ed. São Paulo: Cortez, 1995.
- PICUSSA, J.; Ferreira, M. V. R.; Garcia, L. S.; Direne, A. I.; Bueno, J.; Halberg, G. B. (2007). **A User-Interface Environment for an Online Educational Chess Server.** Proceedings of the IADIS International Conference WWW/Internet 2007. Vila Real, p. 252-257.
- POLGAR, S. (2005). **The New Age of Internet Chess.** Site ChessCafe.com. Publicado em: 1 de fevereiro de 2005. Acessado em: 29 de outubro de 2011. Disponível em: <http://www.chesscafe.com/text/polgar32.pdf>.
- POSTGRESQL. (2013). **Site oficial da ferramenta PostgreSQL.** Acessado em: 24 de julho de 2013. Disponível em: <http://www.postgresql.org>.

PRESSMAN, R. S. (1995). **Engenharia de Software**, Makron Books, São Paulo.

QIN, Z., Jhonson, D. W e Jhonson, T. J. (1995). **Cooperative versus competitive efforts and problem solving**. *Reviews of Educational Research*, 65, 129-143.

RAMOS, E. M. F. (1999). **O papel da avaliação educacional nos processos de aprendizados autônomos e cooperativos**. Capítulo do Livro LINSINGEN *et alli* (editores) *A Formação do Engenheiro*. Editora da UFSC, Florianópolis.

ROBINSON, A. L. (1979). **Tournament Competition Fuels Computer Chess**. *Science* 29 June 1979. Vol. 204, no. 4400, pp. 1396-1398.

ROSATELLI, M. C. (2000). **Novas tendências da pesquisa em Inteligência Artificial na educação**. In R. C. Nunes (Ed.), *VIII Escola de Informática da SBC Sul*, pp. 179-210. Porto Alegre: Editora da UFRGS.

SALVADOR, A. **O garoto de meio milhão de jogadas**. *Revista Veja*. Edição 2149, Publicada em: 27 de janeiro de 2010. Acessado em: 21 de outubro de 2011. Disponível em: www.veja.abril.com.br/270110/garoto-meio-milhao-jogadas-p-106.shtml.

SCHAEFFER J. , Burch, N., Björnsson, Y., Kishimoto A., Müuller M., Lake R., Lu P., Sutphen S. (2007). **Checkers is Solved**. *Science*, 317(5844):1518-1522. Best Publication award from the International Computer Games Association.

SCHÄFER, H. (2000). **Conceitos e ferramentas para apoiar o ensino de xadrez através de computadores**. Dissertação de Mestrado em Informática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHANK, R C. (1989). **Inside Case Based Reasoning**. NJ: Erlbaum.

SCHANK, R. C., Kaas, A., Riesbeck, C. K. (1994). **Inside Case Based Explanation**. NJ: Erlbaum.

SCHOLNICK E. K.; FRIEDMAN S. L. (1987). **The planning construct in the psychological literature**. In: Friedman, S; Scholnick, E. K.; Cocking, R. Blueprints for thinking. Cambridge: Cambridge University Press, p. 3-38.

SCHONBERG, H. C. (1988). **For First Time, a Chess Computer Outwits Grandmaster in Tournament**. The New York Times. Publicado em: 26 de setembro de 1988. Acessado em: 11 de outubro de 2011. Disponível em: <www.nytimes.com/1988/09/26/nyregion/for-first-time-a-chess-computer-outwits-grandmaster-in-tournament.html>.

SHANNON, C. E. (1950). **XXII. Programming a computer for playing chess**. Philosophical Magazine (Series 7), 41(314):256{275.

SHOGI EM PORTUGAL. (2011). **Site que apóia a difusão do jogo Shogi em Portugal**. Publicado em: 1 de abril de 2009. Acessado em: 30 de agosto de 2011. Disponível em: <http://shogiemp Portugal.blogspot.com/2009_04_01_archive.html>.

SILVA, N. (2010). **Xadrez - A vantagem do domínio do centro**. Site Fatos e Ângulos - Blog Info. Disponível em: <<http://fatoseangulosbloginfo.blogspot.com/2010/11/xadrez-vantagem-do-dominio-do-centro.html>>. Publicado em: 28 de novembro de 2010. Acessado em: 12 de novembro de 2011.

SILVA, W. (2004). **Processos cognitivos no jogo de xadrez**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Educação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- SILVA, W. (2010). **Raciocínio lógico e o jogo de xadrez: em busca de relações**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.
- SIMON, H. A., SCHAEFFER, J. (1992). **The Game of Chess**. In R. J. Aumann and S. Hart (eds.), Handbook of game theory. Amsterdam: Elsevier, 1: 1-17.
- SIMON, H. A.; CHASE, W. G. (1973). **Skill in chess**. American Scientist, v. 61, p. 394-403.
- SKINNER, B. F. (1958) **Teaching Machines**. Science, 128.
- SPORTSTARS. (2007). **I see a bright future for India**. SportStars, [S.L.], Vol. 30, No. 21. Disponível em: <www.hindu.com/tss/tss3021/stories/20070526005702200.htm>. Acessado em: 28 de outubro de 2011.
- STEENHUISEN J. R. (2005). **New results in deep-search behaviour**. ICGA Journal, Vol. 28, No. 4, p. 203-213.
- STONE, B. (2011). **Members of the Internet Chess Server rebel against fees. A short History of FICS and ICC**. Disponível em: <www.edcollins.com/chess/fics-icc.htm>. Acessado em: 28 de outubro de 2011.
- SWIDERSK, Z., Parkes, A., (2001). **A Volume Mechanism for Content-Based Control of Multimedia**, Workshop External representations in AIED, San Antonio, Texas.
- TERRA. (2006). **Campeão mundial de xadrez é derrotado por computador**. Site de Tecnologia do Portal Terra. Disponível em: <<http://tecnologia.terra.com.br/noticias/0,,OI1286568-EI15607,00-Campeonato+mundial+de+xadrez+e+derrotado+por+computador.html>>. Publicado em: 6 de dezembro de 2006. Acessado em: 20 de outubro de 2011.

TERRA. (2011). **Criação da IBM, primeiro computador pessoal completa 30 anos**. Site de Tecnologia do Portal Terra. Publicado em: 12 de agosto de 2011. Acessado em: 21 de outubro de 2011. Disponível em: <<http://tecnologia.terra.com.br/noticias/0,,OI5293120-EI15607,00-Criacao+da+IBM+primeiro+computador+pessoal+completa+anos.html>>.

TIRADO, A.; SILVA, W. (2003). **Meu primeiro livro de xadrez: curso para escolares**. 5. Ed. Curitiba: Expoente.

TURING, A. (1953). **Digital Computers Applied to Games**. In B. V. Bowden (editor), *Faster Than Thought, a symposium on digital computing machines*.

UBISOFT. (2007). **PC FEATURES**. Site Chessmaster XI: The Art of Learning. Publicado em: 2007. Disponível em: <<http://chessmaster.uk.ubi.com/xi/pcFeatures.php>>. Acessado em: 20 de outubro de 2011.

VALENTE, T. S. (1997). **Pesquisa em psicologia genética: o método clínico**. Campinas.

van BREEMEN, A. (2005). **icat: Experimenting with animabotics**. In Dautenhahn, K., Nehaniv, C., te Boekhorst, R., Caamero, L., Polani, D., Hewitt, J., eds.: AISB, Universidade de Hertfordshire, Hatfield, UK, AISB (2005) 27{32.

VIGOTSKY, Lev. (1998). **A Formação Social da Mente**. São Paulo: Livraria Martins Fontes.

WALDROP, M. (1989). **Humanity 2, computers 0**. *Science* 3 November 1989: Vol. 246, no. 4930, pp. 572-573.

WALKER, T. (2002). **Chessmaster 9000 announced.** Site GameSpot. Publicado em: 12 de setembro de 2002. Disponível em: <www.gamespot.com/news/2874204.html>. Acessado em: 20 de outubro de 2011.

WAN X., Nakatani, H., Ueno, K., Asamizuya, T., Cheng, K., Tanaka, K. (2011). **The Neural Basis of Intuitive Best Next-Move Generation in Board.** Science 21, January: Vol. 331, no. 6015, pp. 341-346.

WENGER, E. (1987). **Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computacional and Cognitive Appoches to the Communication of Knowledge.** Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, CA.

WILLIAMS, B. (2001). **The Role of External Representations in Intelligent Tutoring System authoring: Supporting localised decision making in a complex and evolving global context.** Workshop External representations in AIED, San Antonio, Texas.

WORLD CHESS LINKS. (2011). **The Automaton Chess-Player - III.** Site World Chess Links. Acessado em: 6 de outubro de 2011. Disponível em: <www.worldchesslinks.net/ezif15.html>.

ZHANG, J. (2001). **External Representations in Complex Information Processing Tasks.** Encyclopedia of Library and Information Science, Marcel Dekker, New York.

GLOSSÁRIO

Abertura: A primeira etapa de uma partida de xadrez, aproximadamente os 12 primeiros lances.

Nesta fase, normalmente o enxadrista utiliza uma sequência de jogadas já estudada e nomeada.

Abertura dos Quatro Cavalos: É uma abertura de xadrez caracterizada pelos seguintes lances em

notação algébrica:

1. e4 e5

2. Cf3 Cc6

3. Cc3 Cf6

Este é o encadeamento de movimentos mais comum, porém os cavalos podem se desenvolver em qualquer ordem.

Afogamento (Rei afogado): Rei afogado ocorre quando o jogador de xadrez deve mover o Rei, não está em xeque, mas não possui nenhuma opção de movimento válida (onde o Rei não fique sobre ataque). Neste caso a partida termina em empate.

Ataque duplo: Consiste na aplicação de um xeque que ataca ao mesmo tempo outra peça.

Cravada: Ocorre quando se ataca uma peça do oponente, e este não pode movê-la, pois caso o faça, irá perder uma peça de maior valor.

Estratégia: Diz respeito à capacidade de estabelecer objetivos e desenvolver planos para atingi-los durante a partida (PACHMAN, 1967, p.15).

Final (finalização): Terceira é última etapa de uma partida de xadrez, normalmente se identifica esta etapa pela pouca quantidade de peças no tabuleiro.

Garfo: É uma tática onde com um ataque bilateral a peças desprotegidas é possível capturar pelo menos uma delas.

Grande Mestre Internacional de xadrez (GMI): É um título vitalício concedido pela FIDE, aos enxadristas profissionais que conseguirem pontuação igual ou superior a 2.600 pontos contra oponentes com média de *rating* igual ou maior que 2.380, em partidas válidas pela federação (FIDE, 2011).

Harmonia de peças (e.g., peões): É uma típica estrutura de peças posicionadas em determinado arranjo, e que garantem certa relação entre as mesmas. Este conceito está relacionado ao ensino posicional do xadrez.

Lance (ou jogada): A ação feita por um jogador de movimentar uma peça de uma casa para outra.

Meio de jogo: Consiste na fase intermediária de uma partida. Sucede a abertura, e antecede a final.

Mestre Internacional de xadrez (MI): É um título vitalício concedido pela FIDE, aos enxadristas profissionais que conseguiram pontuação igual ou superior a 2.450 pontos contra oponentes com média de *rating* igual ou maior que 2.230, em partidas da federação (FIDE, 2011).

Promoção de Peões: Esta ação ocorre quando um Peão chega à última casa do tabuleiro, e torna-se uma Torre, Cavalo, Bispo, ou Dama da mesma cor.

Rating: No xadrez refere-se a um número calculado que identifica a força do jogador. Existem diversas metodologias para se chegar a este valor, quanto maior ele é, mais forte é o jogador.

Roque: É uma jogada especial do xadrez que envolve o Rei e uma Torre, sua função é proteger o Rei. Este lance só pode ser realizado por um mesmo jogador somente uma vez em uma mesma partida.

Tática: Refere-se à manobra de peças, de forças durante o combate do jogo, ou seja, as ações concretas de uma estratégia adotada (PACHMAN 1972, p. 13).

Xeque (+): É um termo que identifica uma ameaça imediata de captura do Rei adversário. Este termo árabe *sheikh* (com origem no persa *shāh*), significa rei ou soberano.

Xeque descoberto: Situação em que o Rei é colocado em xeque pela movimentação de uma peça, que estava obstruindo o ataque de outra do mesmo jogador.

Xeque-mate (++, #, ou mate): É o termo que indica o final da partida no xadrez. Isto ocorre quando o Rei atacado não pode permanecer na casa em que está, e não tem nenhuma opção de saída, ou de defesa por outra peça. Este termo de origem persa *shāh māt*, significa que o **rei está morto**.