

Trabalho: Xadrez - Parte 3 (Inteligência Artificial)

Professor: Dr. Rodrigo Fernandes de Mello (mello@icmc.usp.br)
Dr. Moacir Antonelli Ponti (moacir@icmc.usp.br)

Estagiário PAE: Felipe Simões Lage Gomes Duarte (fgduarte@icmc.usp.br)
Gabriel de Barros Paranhos da Costa (gbpcosta@icmc.usp.br)
Tiago Santana de Nazaré (tiagosn@usp.br)

1 Objetivo

Você deverá implementar um programa que permita que o usuário jogue uma partida de xadrez contra uma inteligência artificial. Para isso, seu programa deve receber como entrada um código usando a notação FEN e inicializar um tabuleiro. Então, serão passados os movimentos das peças brancas usando notação algébrica simplificada e deve-se definir os movimentos a serem realizados pelas peças pretas. Ao final do jogo, o resultado deve ser exibido. Além disso, deve ser implementada a detecção de empates por tripla repetição.

Este trabalho é a terceira parte de um conjunto de 3 trabalhos sequenciais. Sua implementação depende dos trabalhos anteriores.

Na Seção 2 são apresentados os conceitos utilizados para a criação da inteligência artificial. Os requisitos do trabalho estão descritos na Seção 3. Exemplos de entrada e saída são dados na Seção 4.

2 Xadrez - Parte 2

2.1 Xequê

Quando o rei está sob ataque imediato por uma ou mais peças do oponente, é dito que ele está em xeque. A resposta para um xeque é um movimento legal se, e somente se, o resultado do movimento fizer com que o rei não esteja mais sob ataque direto, ou seja, não esteja mais em xeque. Isso inclui capturar a peça atacante, interceptar o ataque colocando uma peça aliada entre o rei e a peça atacante, e mover o rei para um quadrado em que ele não esteja sob ataque. Não é permitido realizar o roque quando o rei estiver em xeque. O objetivo do jogo é dar xeque-mate no oponente. Isso ocorre quando o rei do oponente está em xeque e não há nenhum movimento legal que o impeça de ser atacado. Não é permitido fazer um movimento que coloque seu rei em xeque.

2.2 Condições para Vitória

O jogo é ganho das seguintes formas:

- **Xequê-mate;**
- **Desistência:** qualquer jogador pode desistir do jogo, declarando, assim, seu oponente como o vencedor;

- **Derrota por tempo:** em algumas partidas de xadrez realiza-se o controle do total de tempo utilizado por cada jogador, caso um dos jogadores ultrapasse o tempo permitido, seu oponente será o vencedor da partida;
- **Punição:** quando um jogador viola alguma regra do jogo ou trapaceia, esse jogador é desclassificado.

2.3 Condições para Empate

O jogo termina empatado quando:

- **Comum acordo:** ambos os jogadores concordam que o jogo deve terminar como um empate;
- **Afogamento:** não há mais movimentos válidos possíveis para o jogador que deve realizar um movimento e seu rei não está em xeque;
- **Tripla repetição:** caso uma mesma posição ocorra três vezes durante um jogo, considera-se que não houve progresso e, portanto, é declarado o empate. No xadrez, uma posição é considerada a mesma quando cada jogador tem o mesmo conjunto de movimentos legais, incluindo roque e capturas por *en passant*;
- **Regra dos 50 movimentos:** se ocorrerem 50 movimentos consecutivos sem que ocorram movimentos de peões ou capturas;
- **Falta de material:** os jogadores não tem peças o suficiente para realizar um xeque-mate. Isso ocorre nas seguintes situações: rei contra rei, rei e cavalo contra rei e rei e bispo contra rei.

2.4 Inteligência Artificial

Inteligência artificial (*Artificial Intelligence* - AI) é a inteligência pertencente a máquinas ou softwares. Esse também é o nome dado a uma área de pesquisa que busca formas de criar computadores e programas de computadores capazes de apresentar comportamento inteligente.

Nesse trabalho propõe-se uma inteligência artificial simples, capaz de decidir qual o melhor movimento a ser realizado dado um tabuleiro de xadrez. Para essa IA, serão atribuídas pontuações ($S(\text{mov})$) para todos os movimentos possíveis e o movimento que apresentar maior pontuação será escolhido como o melhor movimento a ser realizado.

Caso haja empate entre dois ou mais movimentos, o primeiro movimento que apresentar a maior pontuação deve ser o movimento realizado. Note que a lista deve estar ordenada conforme pedido nos trabalhos anteriores.

2.4.1 Métrica de decisão

Toda a análise é feita após realizar o movimento em questão.

A função que define a pontuação de cada movimento pode ser dividida em duas partes, uma referente ao posicionamento das peças aliadas (numerador) e outra das peças inimigas (denominador). Soma-se 1 no denominador para evitar divisões por 0.

$$S(\text{mov}) = \frac{\sum_{i=1}^{64} (\alpha_{i,c} \nu_{i,c})}{\sum_{i=1}^{64} (\alpha_{i,\bar{c}} \nu_{i,\bar{c}}) + 1}$$

onde:

$$\alpha_{i,c} = \begin{cases} 1, & \text{se a casa } i \text{ é ameaçada por uma peça da cor } c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\nu_{i,c} = \begin{cases} 50, & \text{se a casa } i \text{ está vazia} \\ \rho_j, & \text{se a casa } i \text{ contém uma peça } j \text{ da cor } \bar{c} \text{ (oposta a } c) \\ \frac{\rho_j}{2}, & \text{se a casa } i \text{ contém uma peça } j \text{ da cor } c \end{cases}$$

ρ_j = valor do tipo de peça j (definido na Tabela 2.5)

c = cor que pode realizar o movimento em questão

\bar{c} = cor oposta a c

2.5 Pontuação

No xadrez, é comum atribuir a cada tipo de peça um valor que demonstra o quão influente ela é no jogo. Uma das pontuações utilizadas é:

Peão	100
Cavalo	325
Bispo	325
Torre	550
Rainha	1000
Rei	50000

2.6 Notação Forsyth-Edwards (FEN)

A notação mais comum utilizada para programas de computador é a notação Forsyth-Edwards ou FEN (*Forsyth-Edwards Notation*). Nela, define-se as posições das peças no tabuleiro e outras variáveis importantes para um jogo de xadrez, através de uma linha de texto usando apenas caracteres ASCII.

A FEN define 6 campos separados por espaços. Esses campos são:

1. Posições das peças (sob a perspectiva do lado branco): cada linha é descrita, começando pela última (8) e terminando na primeira (1); dentro de cada linha, o conteúdo de cada casa é descrito começando pela coluna 'a' até a coluna 'h'. Seguindo a Notação Algébrica, cada peça é identificada por uma única letra retirada dos nomes das peças em inglês (peão = "P", cavalo = "N", bispo = "B", torre = "R", rainha = "Q" e rei = "K"). As peças brancas são identificadas por letras maiúsculas ("PNBRQK"), enquanto letras minúsculas simbolizam as peças pretas ("pnbrqk"). Casas vazias são indicadas por números entre 1 e 8 (o número de casas vazias que aparecem em sequência naquela linha), e o símbolo '/' separa as linhas.
2. Turno (cor): 'w' indica que é a vez das peças brancas realizarem um movimento e 'b' indica que as peças pretas devem realizar o próximo movimento.
3. Disponibilidade de roque: Se nenhum dos lados puder realizar um roque, então usa-se '-'. Senão, utiliza-se de 1 a 4 letras para indicar quais os possíveis movimentos roque para cada lado: 'K' (Peças brancas podem realizar o roque para o lado do rei), 'Q' (Peças brancas podem realizar o roque para o lado da rainha), 'k' (Peças pretas podem realizar o roque para o lado do rei) e/ou 'q' (Peças pretas podem realizar o roque para o lado da rainha).
4. Casa alvo para realizar um *en passant* (em notação algébrica): Se não há uma casa para realizar um *en passant*, usa-se '-'. Se um peão acabou de realizar um movimento de duas casas, esse campo assume o valor da casa imediatamente atrás deste peão em notação algébrica. Essa anotação deve ser realizada mesmo quando não há um peão que possa realizar o movimento *en passant*.

5. Número de meios-turnos: Número de meios-turnos desde a última captura ou o último movimento de um peão. Usado para determinar o empate pela regra dos 50 movimentos.
6. Número de turnos: Número de turnos completos. Começa em 1 e é incrementado após cada movimento das peças pretas.

Exemplo de FEN para a posição inicial do tabuleiro:

`rnbqkbnr/pppppppp/8/8/8/8/PPPPPPPP/RNBQKBNR w KQkq - 0 1`

2.7 Notação Algébrica

A notação algébrica é um dos métodos mais comuns para realizar anotações em um jogo de xadrez, sendo ela padrão dentre organizações de xadrez e a grande maioria dos livros.

Cada casa de um tabuleiro de xadrez é identificada por um par de coordenadas única – uma letra e um número. As colunas do tabuleiro (em inglês, *files*) são identificadas por letras, começando do lado esquerdo do tabuleiro (lado da rainha branca), a primeira coluna é chamada simbolizada pela letra ‘a’, a segunda pela letra ‘b’, e assim em diante, até a letra ‘h’. As linhas do tabuleiro (em inglês, *ranks*) são representadas por números de 1 a 8, começando pelo lado das peças brancas.

8	a8	b8	c8	d8	e8	f8	g8	h8
7	a7	b7	c7	d7	e7	f7	g7	h7
6	a6	b6	c6	d6	e6	f6	g6	h6
5	a5	b5	c5	d5	e5	f5	g5	h5
4	a4	b4	c4	d4	e4	f4	g4	h4
3	a3	b3	c3	d3	e3	f3	g3	h3
2	a2	b2	c2	d2	e2	f2	g2	h2
1	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1
	a	b	c	d	e	f	g	h

Figura 1: Nomes das casas do tabuleiro segundo a notação algébrica.

Cada peça, com a exceção dos peões, é identificada por uma letra maiúscula, normalmente a primeira letra do nome da peça na linguagem falada pelo jogador que está realizando as anotações. Em inglês usa-se K para rei, Q para rainha, R para torre, B para bispo e N para cavalo.

Cada movimento de uma peça é indicado pela letra maiúscula da peça, seguida pela coordenada do quadrado de destino. Por exemplo, Be5 (mova um bispo para e5), Nf3 (mova um cavalo para f3), c5 (mova um peão para c5 – ou seja, não utiliza-se nenhuma letra de identificação de peça quando o movimento é realizado por um peão).

Quando a peça realiza uma captura, um ‘x’ é inserido imediatamente antes da casa de destino. Quando um peão realiza uma captura, a coluna de onde o peão saiu é usada para identificá-lo. Por exemplo, exd5 (peão na coluna e captura peça em d5). Capturas realizadas por *en passant* são identificadas utilizando a coluna de origem do peão que realizou a captura, o ‘x’ que simboliza que houve uma captura, a casa de destino (e não a casa da peça capturada pelo peão), e, opcionalmente, o sufixo “e.p.” indicando que a captura foi realizada por *en passant*. Por exemplo, exd6e.p.

Quando um peão se move para uma casa da última linha (lado oposto do tabuleiro) e é promovido, a peça para a qual foi promovido é indicada ao final da notação, por exemplo: e8Q (promovido para rainha).

Caso haja duas ou mais peças do mesmo tipo que possam se mover para a mesma casa, usa-se sua coluna da casa de origem logo após a identificação do tipo da peça para diferenciar os

movimentos. Caso as colunas sejam iguais, troca-se a coluna pela linha da casa de origem. Se ainda assim não for suficiente (fato que ocorre em pouquíssimos casos), coloca-se ambos (coluna e linha) após o caractere de identificação do tipo da peça.

3 Tarefa

Seu programa deverá possibilitar que o usuário jogue um partida de xadrez contra uma inteligência artificial. Assim, após inicializar um tabuleiro de xadrez, seu programa deverá receber o movimento realizado pelo usuário utilizando a notação algébrica simplificada e, caso o movimento seja válido, realizar o movimento no tabuleiro. Se o movimento passado não for um movimento válido, deve-se imprimir a mensagem ‘‘Movimento invalido. Tente novamente.\n’’ e permitir que o usuário entre um novo movimento. O usuário jogará sempre com as peças brancas. Para o movimento das peças pretas, você irá programar uma inteligência artificial capaz de identificar, a partir de uma métrica, qual o melhor movimento a ser realizado naquele instante. Mais detalhes sobre a IA são apresentados na Seção 2.4.

A notação algébrica simplificada será formada por 4 caracteres principais, sendo que os dois primeiros indicam a posição de origem da peça a ser movimentada e os dois seguintes a posição de destino. Para os casos de movimentos que resultem na promoção de uma peça, um caractere extra será usado para identificar qual a peça para a qual o peão será promovido, por exemplo: b7b8Q (promoção para rainha).

A cada movimento realizado, seu programa deverá imprimir o estado atual do tabuleiro utilizando FEN. O jogo terminará quando algum dos critérios para término do jogo de xadrez (Xeque-mate, Empate por Tripla Repetição, Regra dos 50 Movimentos, Falta de Material ou Afogamento) for alcançado.

Ao detectar uma das condições que finalizam o jogo, seu programa deverá imprimir uma das seguintes mensagens, conforme a condição disparada:

```
Xeque-mate -- Vitoria: BRANCO
Xeque-mate -- Vitoria: PRETO
Empate -- Afogamento
Empate -- Regra dos 50 movimentos
Empate -- Falta de Material
Empate -- Tripla Repeticao
```

A condição de empate por Tripla Repetição deverá ser implementada utilizando uma tabela *hash*. Nessa tabela, devem ser armazenados **códigos únicos** que representem cada posição/condição do tabuleiro, juntamente com o **número de vezes que este ocorreu**. Lembre-se que no xadrez, uma posição é considerada a mesma quando cada jogador tem o mesmo conjunto de movimentos legais, incluindo roque e capturas por *en passant*. Ou seja, para criação do código único para o tabuleiro devem ser levados em consideração:

- As peças presentes no tabuleiro e suas posições;
- A possibilidade de se realizar movimentos especiais (roque, *en passant*) e onde (quadrado para *en passant* e lados em que o roque é possível - assim como representando na FEN);
- Qual jogador deve realizar o próximo movimento.

4 Ejemplos

4.1 Ejemplo 1

4.1.1 Entrada

```
rnbqkbnr/pppppppp/8/8/8/8/PPPPPPPP/RNBQKBNR w KQkq - 0 1\n
e2e3\n
d1f3\n
f3e4\n
b1c3\n
c3d5\n
e4d4\n
g1h3\n
d4d3\n
d3c4\n
h3f4\n
f4d5\n
c4f4\n
f4f5\n
d2d3\n
c2c3\n
b2c3\n
f5e6\n
d3d4\n
c3d4\n
c1d2\n
e1d2\n
e6e7\n
```

4.1.2 Saída

```
rnbqkbnr/pppppppp/8/8/8/8/PPPPPPPP/RNBQKBNR w KQkq - 0 1\nrnbqkbnr/pppppppp/8/8/8/4P3/PPPP1PPP/RNBQKBNR b KQkq - 0 1\nrnbqkbnr/pppp1ppp/8/4p3/8/4P3/PPPP1PPP/RNBQKBNR w KQkq e6 0 2\nrnbqkbnr/pppp1ppp/8/4p3/8/4PQ2/PPPP1PPP/RNB1KBNR b KQkq - 1 2\nrnbqkbnr/pppp1ppp/8/8/4p3/4PQ2/PPPP1PPP/RNB1KBNR w KQkq - 0 3\nrnbqkbnr/pppp1ppp/8/8/4Q3/4P3/PPPP1PPP/RNB1KBNR b KQkq - 0 3\nrnbqk1nr/ppppbppp/8/8/4Q3/4P3/PPPP1PPP/RNB1KBNR w KQkq - 1 4\nrnbqk1nr/ppppbppp/8/8/4Q3/2N1P3/PPPP1PPP/R1B1KBNR b KQkq - 2 4\nrnbqk1nr/ppp1bppp/8/3p4/4Q3/2N1P3/PPPP1PPP/R1B1KBNR w KQkq d6 0 5\nrnbqk1nr/ppp1bppp/8/3N4/4Q3/4P3/PPPP1PPP/R1B1KBNR b KQkq - 0 5\nrnbqk1nr/ppp1b1pp/8/3N1p2/4Q3/4P3/PPPP1PPP/R1B1KBNR w KQkq f6 0 6\nrnbqk1nr/ppp1b1pp/8/3N1p2/3Q4/4P3/PPPP1PPP/R1B1KBNR b KQkq - 1 6\nrnbqkbnr/ppp3pp/8/3N1p2/3Q4/4P3/PPPP1PPP/R1B1KBNR w KQkq - 2 7\nrnbqkbnr/ppp3pp/8/3N1p2/3Q4/4P2N/PPPP1PPP/R1B1KB1R b KQkq - 3 7\nrnbqkbnr/pp4pp/8/2pN1p2/3Q4/4P2N/PPPP1PPP/R1B1KB1R w KQkq c6 0 8\nrnbqkbnr/pp4pp/8/2pN1p2/8/3QP2N/PPPP1PPP/R1B1KB1R b KQkq - 1 8\nrnbqkbnr/pp4pp/8/3N1p2/2p5/3QP2N/PPPP1PPP/R1B1KB1R w KQkq - 0 9\nrnbqkbnr/pp4pp/8/3N1p2/2Q5/4P2N/PPPP1PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 9\nrn1qkbnr/pp4pp/4b3/3N1p2/2Q5/4P2N/PPPP1PPP/R1B1KB1R w KQkq - 1 10\nrn1qkbnr/pp4pp/4b3/3N1p2/2Q2N2/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R b KQkq - 2 10\nrn1qkbnr/pp4pp/8/3b1p2/2Q2N2/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R w KQkq - 0 11\nrn1qkbnr/pp4pp/8/3N1p2/2Q5/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 11\nrn1qkbnr/p5pp/8/1p1N1p2/2Q5/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R w KQkq b6 0 12\nrn1qkbnr/p5pp/8/1p1N1p2/5Q2/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R b KQkq - 1 12\nr2qkbnr/p5pp/2n5/1p1N1p2/5Q2/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R w KQkq - 2 13\nr2qkbnr/p5pp/2n5/1p1N1Q2/8/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 13\nr2qk1nr/p5pp/2n5/1pbN1Q2/8/4P3/PPPP1PPP/R1B1KB1R w KQkq - 1 14\nr2qk1nr/p5pp/2n5/1pbN1Q2/8/3PP3/PPP2PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 14\nr3k1nr/p5pp/2n5/qpbN1Q2/8/3PP3/PPP2PPP/R1B1KB1R w KQkq - 1 15\nr3k1nr/p5pp/2n5/qpbN1Q2/8/2PPP3/PP3PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 15\nr3k1nr/p5pp/2n5/1pbN1Q2/8/2qPP3/PP3PPP/R1B1KB1R w KQkq - 0 16\nr3k1nr/p5pp/2n5/1pbN1Q2/8/2PPP3/P4PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 16\nr3k1nr/p6p/2n3p1/1pbN1Q2/8/2PPP3/P4PPP/R1B1KB1R w KQkq - 0 17\nr3k1nr/p6p/2n1Q1p1/1pbN4/8/2PPP3/P4PPP/R1B1KB1R b KQkq - 1 17\nr3k2r/p3n2p/2n1Q1p1/1pbN4/8/2PPP3/P4PPP/R1B1KB1R w KQkq - 2 18\nr3k2r/p3n2p/2n1Q1p1/1pbN4/3P4/2P1P3/P4PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 18\nr3k2r/p3n2p/4Q1p1/1pbN4/3n4/2P1P3/P4PPP/R1B1KB1R w KQkq - 0 19\nr3k2r/p3n2p/4Q1p1/1pbN4/3P4/4P3/P4PPP/R1B1KB1R b KQkq - 0 19\nr3k2r/p3n2p/4Q1p1/1p1N4/1b1P4/4P3/P4PPP/R1B1KB1R w KQkq - 1 20\nr3k2r/p3n2p/4Q1p1/1p1N4/1b1P4/4P3/P2B1PPP/R3KB1R b KQkq - 2 20\nr3k2r/p3n2p/4Q1p1/1p1N4/3P4/4P3/P2b1PPP/R3KB1R w KQkq - 0 21\nr3k2r/p3n2p/4Q1p1/1p1N4/3P4/4P3/P2K1PPP/R4B1R b kq - 0 21\nr3kr2/p3n2p/4Q1p1/1p1N4/3P4/4P3/P2K1PPP/R4B1R w - 1 22\nr3kr2/p3Q2p/6p1/1p1N4/3P4/4P3/P2K1PPP/R4B1R b - 0 22\nXequemate -- Vitoria: BRANCO\n
```

5 Dica

Existem diversos sites que permitem a visualização de códigos FEN como tabuleiros visuais (exemplo: http://www.chess-poster.com/english/fen/fen_epd_viewer.htm).

6 IMPORTANTE

- Utilize alocação dinâmica (memória heap);
- Não esqueça de liberar toda memória alocada antes de encerrar a execução do seu programa;
- Além das funções exigidas na descrição, crie quantas funções achar necessário. A modularização do programa será levada em consideração no processo de correção.