

## Trabalho: Xadrez - Parte 1 (Geração de movimentos)

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

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

### 1 Objetivo

Você deverá implementar um programa que seja capaz de inicializar um tabuleiro de xadrez baseado em um FEN (Seção 2.4) e gerar uma lista que contenha todos os movimentos possíveis de serem realizados por um dos jogadores. Essa lista deverá ser impressa utilizando notação algébrica (Seção 2.5).

Este trabalho é a primeira parte de um conjunto de 3 trabalhos sequenciais. A implementação dos trabalhos subsequentes dependerá dos anteriores.

Na Seção 2 são apresentadas algumas das principais regras de um jogo de xadrez e algumas notações utilizadas neste trabalho. Os requisitos do trabalho estão descritos na Seção 3. Exemplos de entrada e saída são dados na Seção 4

### 2 Xadrez

Xadrez é um jogo de tabuleiro de estratégia para dois jogadores que não envolve o elemento sorte, exceto no sorteio das cores no início do jogo, já que as peças brancas sempre fazem o primeiro movimento e, devido a isso, teriam uma pequena vantagem. O xadrez como é conhecido hoje surgiu no sudoeste da Europa na segunda metade do século XV, evoluindo de jogos de origem persa e indiana. Estima-se que cerca de 605 milhões de pessoas em todo o mundo sabem jogar xadrez, sendo, assim, um dos jogos mais populares do mundo.

#### 2.1 Regras básicas

A partida de xadrez é disputada em um tabuleiro, com 8 colunas (*files*) e 8 linhas (*ranks*), composto por casas claras e escuras. No início do jogo, cada enxadrista (jogador) controla 16 peças de 6 diferentes tipos: 8 peões, 2 cavalos, 2 bispos, 2 torres, um rei e uma rainha. As peças de cada jogador são diferenciadas pela sua cor, branca ou preta. O estado inicial do tabuleiro pode ser visto na Figura 1. O objetivo de cada jogador é capturar o rei adversário e, assim, vencer o jogo.

Em turnos intercalados, cada jogador pode mover uma de suas peças, sendo que o jogador com as peças brancas sempre começa. Os movimentos possíveis são definidos conforme o tipo da peça a ser movida. Quando uma peça for movida para uma casa ocupada por uma peça adversária, esta última é considerada capturada. Assim, a peça escolhida move-se para a casa da peça do oponente, que é removida do tabuleiro. Com a exceção dos cavalos, as peças não podem passar por uma casa já ocupada (seja por peças alidas ou inimigas) e cada casa pode conter apenas uma peça. As características de cada uma das peças são:

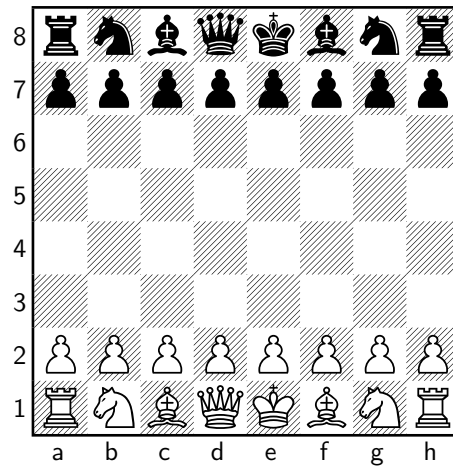


Figura 1: Estado inicial de um tabuleiro de xadrez.

1. Rei (tipicamente simbolizado pelos caracteres “K” (branco) ou “k” (preto)): principal peça do jogo, o jogo termina quando um dos reis for capturado (xeque-mate). O rei pode se mover em todas as direções (vertical, horizontal ou diagonal), mas apenas uma casa por jogada. O rei possui também um movimento especial chamado “roque” (*castling*), que será explicado na Seção 2.2.3;

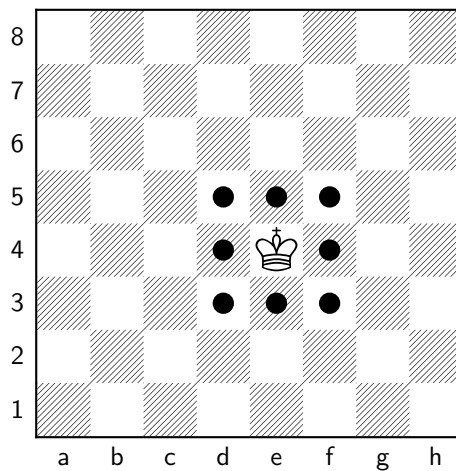


Figura 2: Movimentos possíveis para o rei indicados por bolinhas.

2. Rainha (simbolizada pelos caracteres “Q” ou “q”): é considerada por muitos a peça mais poderosa do jogo. Assim como o rei, pode se movimentar em todas as direções, porém sem a restrição para a quantidade de casas em que ela pode se mover na direção escolhida;

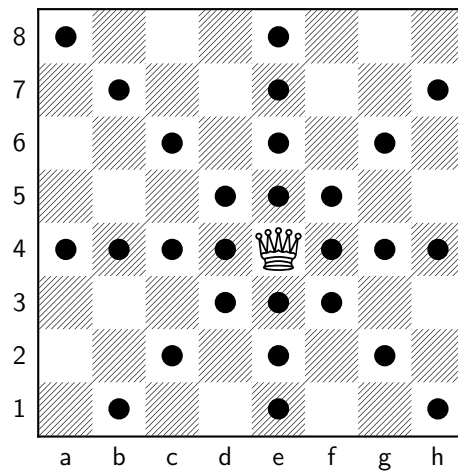


Figura 3: Movimentos possíveis para a rainha indicados por bolinhas.

3. Bispo (simbolizado pelos caracteres “B” ou “b”): move-se qualquer número de casas nas diagonais. Assim, um bispo nunca poderá mudar a cor da casa em que se encontra;

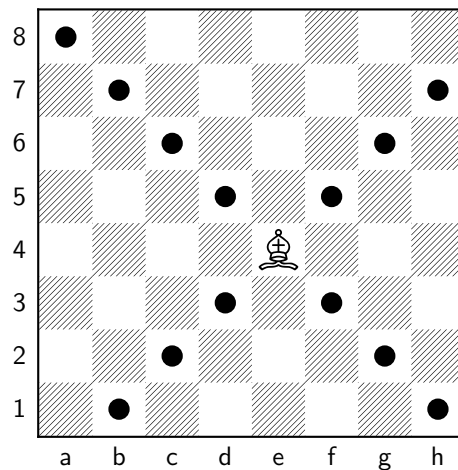


Figura 4: Movimentos possíveis para o bispo indicados por bolinhas.

4. Cavalo (simbolizado pelos caracteres “N” ou “n”): movimenta-se para qualquer uma das casas mais próximas da sua posição atual que não pertençam à linha, coluna ou diagonais referentes a sua posição atual. Esse movimento tem o formato de um “L”. É a única peça que pode passar por casas ocupadas por outras peças para chegar ao seu destino;

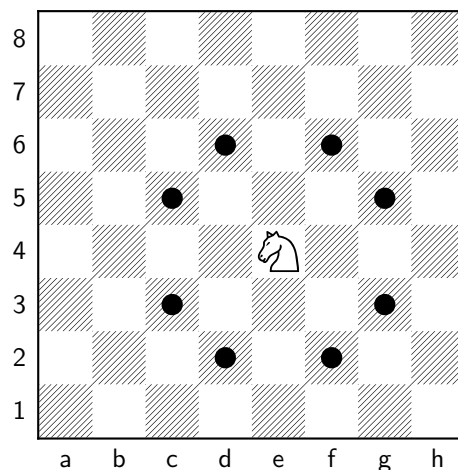


Figura 5: Movimentos possíveis para o cavalo indicados por bolinhas.

5. Torre (simbolizado pelos caracteres “R” ou “r”): pode se mover qualquer número de casas na vertical ou na horizontal. Juntamente com o rei, pode executar o movimento especial “roque” (Seção 2.2.3);

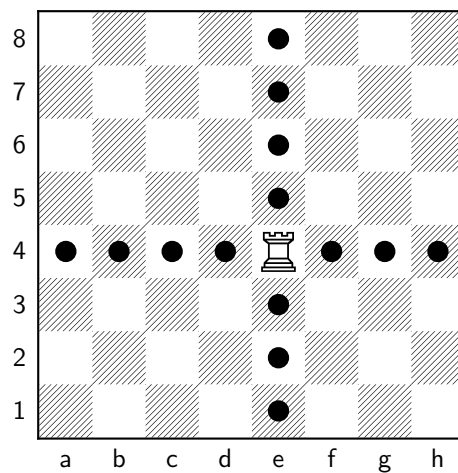


Figura 6: Movimentos possíveis para a torre indicados por bolinhas.

6. Peão (simbolizado pelos caracteres “P” ou “p”): move-se apenas para a casa imediatamente a sua frente e somente se não estiver ocupada por outra peça (aliada ou inimiga). Em seu primeiro movimento, pode avançar duas casas em apenas um movimento. O peão é a única peça cujo movimento de ataque é diferente do seu movimento tradicional. Seu ataque ocorre nas casas diagonais imediatamente a sua frente.

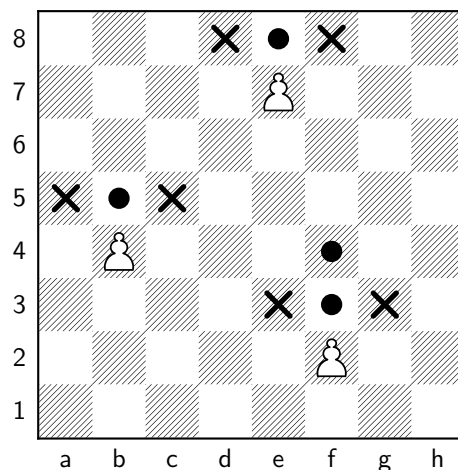


Figura 7: Movimentos possíveis para o peão. Os movimentos comuns (para casas vazias) são indicados por bolinhas. Movimentos que podem ocorrer somente através de uma captura são indicados por um “x”.

Um jogador não pode fazer nenhum movimento que coloque o seu rei em perigo (em cheque, sob ataque de uma peça adversária). Além disso, não é permitido que um jogador passe o turno, sendo ele obrigado a mover uma de suas peças todo turno. Caso um jogador não possua nenhum movimento possível e o seu rei esteja em perigo, o jogo termina com um xeque-mate, e o jogador cujo rei está em perigo perde o jogo. Caso um jogador não possua nenhum movimento possível e o seu rei esteja a salvo, o jogo é declarado um empate.

## 2.2 Movimentos especiais

No xadrez existem três movimentos especiais, o *en passant* e a promoção, executado por peões, e o roque, realizado pelo rei e por uma torre.

### 2.2.1 *En Passant*

Quando um peão avança duas casas a partir de sua posição inicial e há um peão inimigo em uma coluna adjacente ao lado de sua casa de destino, o peão do oponente pode capturá-lo *en passant* (de passagem), movendo-se para a casa por onde o peão inimigo passou. Entretanto, isso só pode ser feito no movimento seguinte, perdendo o direito de fazê-lo logo em seguida. Por exemplo, se um peão preto acabou de avançar dois quadrados da posição g7 para g6, então o peão branco posicionado em f5 pode capturá-lo por *en passant* em g6 como o próximo movimento das peças brancas.

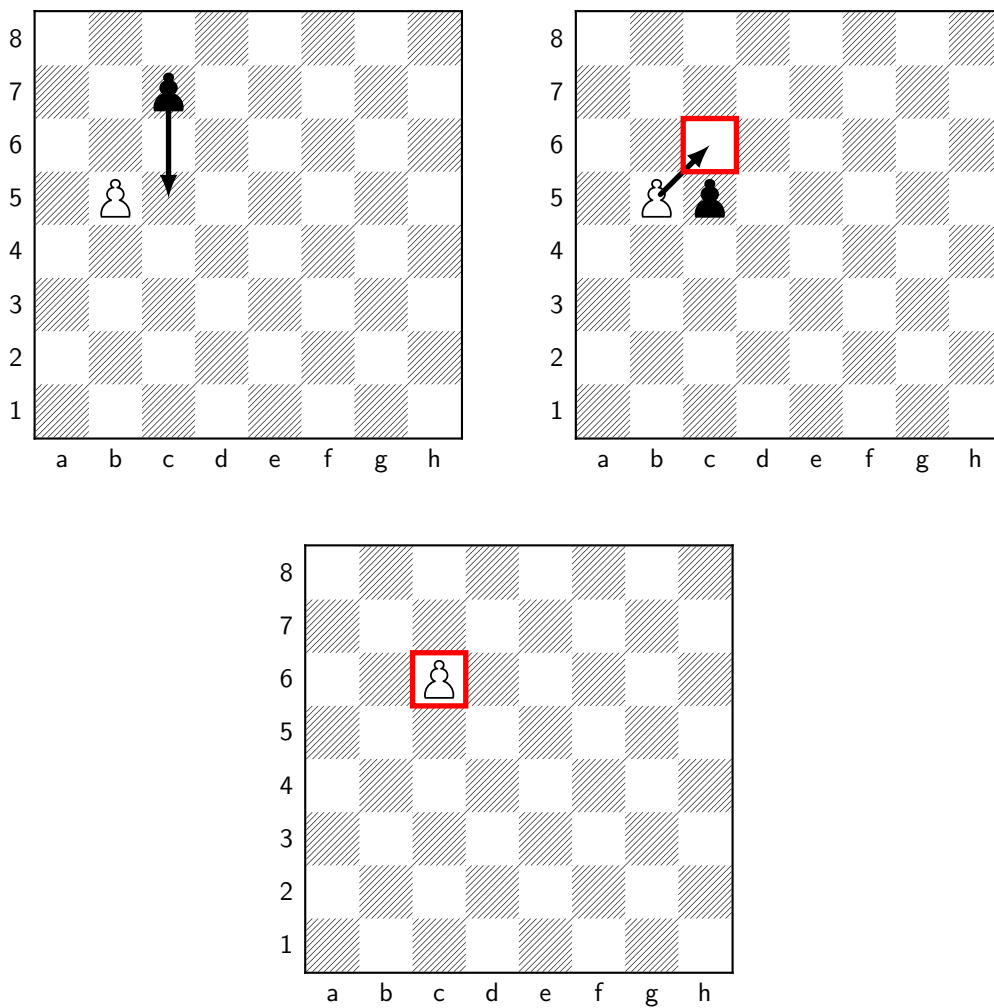


Figura 8: Captura de um peão por *en passant*. A casa de captura *en passant* está destacada em vermelho.

### 2.2.2 Promoção

Quando um peão alcança a última linha do lado oposto do tabuleiro ele é promovido como parte do movimento e deve ser trocado pela peça de escolha do jogador (rainha, torre, bispo ou cavalo). Não há restrições sobre qual peça pode ser escolhida, ou seja, é possível ter mais peças de um mesmo tipo do que no começo do jogo (por exemplo, duas rainhas).

### 2.2.3 Roque

Uma vez por jogo, é permitido que o rei realize um movimento especial chamado roque, em inglês *castling*. O roque consiste em mover o rei duas casas ao longo de sua linha inicial, em direção a uma torre, e então posicionar a torre na última casa por onde o rei passou. O roque é permitido somente sob algumas condições:

- O rei e a torre não podem ter se movido anteriormente durante o jogo;
- Não pode haver peças entre o rei e a torre;
- O rei não pode estar em cheque, além de não poder passar por quadrados que estejam sob ataque por peças inimigas, nem pode terminar em um quadrado que o deixe em cheque.

Deve-se destacar que é permitido que a torre esteja sob ataque ou passe por quadrados que estão sendo atacados.

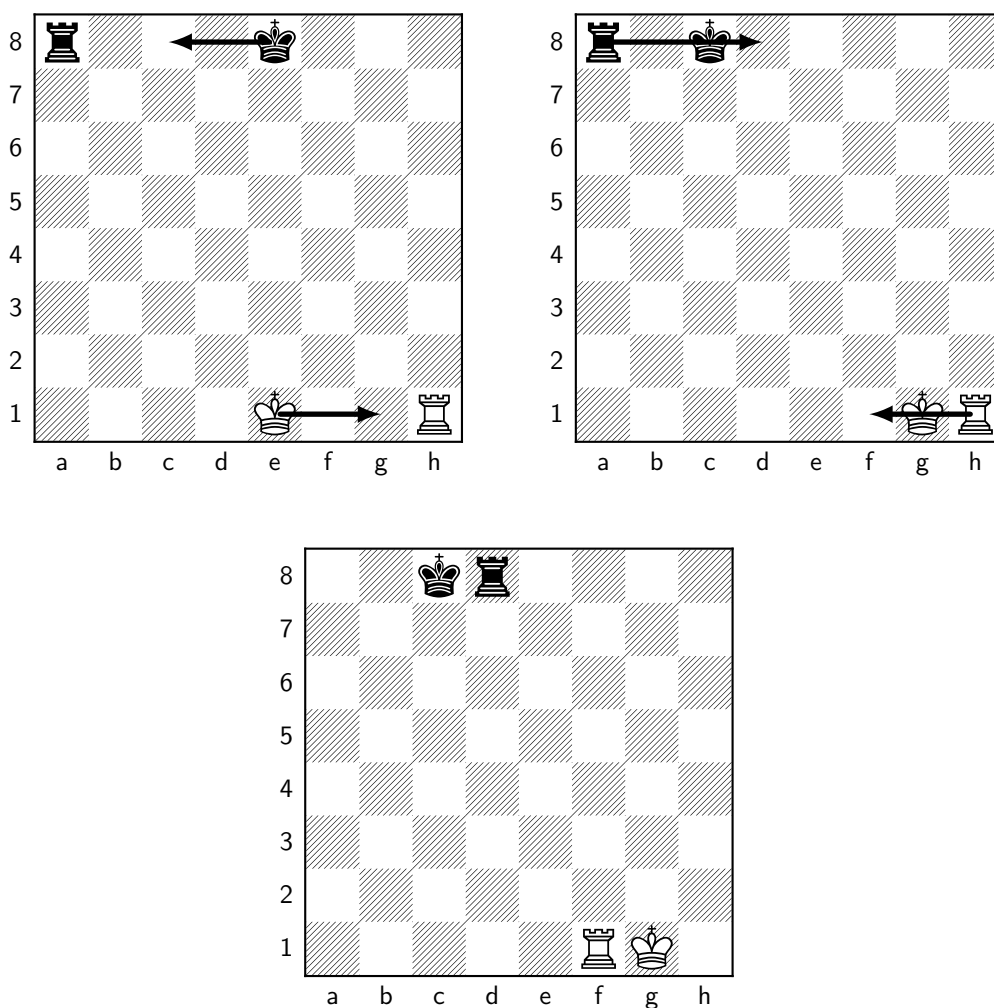


Figura 9: Movimento roque feito para o lado do rei (branco) e para o lado da rainha (preto). Ambas as cores podem realizar o roque para os dois lados, contanto que cumpram as condições necessárias.

## 2.3 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

## 2.4 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
```

## 2.5 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.

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



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 10: Nomes das casas do tabuleiro segundo a notação algébrica.

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 (promovida 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 deve ser capaz de:

1. **inicializar** um tabuleiro de xadrez a partir de um código utilizando notação Forsyth-Edwards e, então;
2. **listar todos os movimentos possíveis** para o jogador que deve realizar o próximo movimento. A listagem de movimentos deve ser feita utilizando notação algébrica.

Para isso, deve-se criar (**obrigatoriamente**):

- **uma estrutura que represente cada peça;**
- em cada estrutura deve existir **um ponteiro para uma função** capaz de gerar todos os movimentos possíveis para o tipo da peça em questão. Essa função de movimento deve ser específica para o tipo da peça, ou seja, deve existir uma função de movimento para cada um dos tipos de peças existentes (rei, rainha, bispo, cavalo, torre e peão);

- funções específicas para criar (alocar e inicializar) essa estrutura.

Dada uma situação atual do tabuleiro, deve-se listar todos os movimentos possíveis para o jogador que realizará a próxima jogada. A listagem deve ser feita utilizando notação algébrica e seguirá a ordem de pontuação crescente das peças (peão, cavalo, bispo, torre, rainha, rei). Caso haja mais de uma peça do mesmo tipo, o desempate será realizado utilizando o valor das colunas e linhas (respectivamente) em que a peça se encontra atualmente, ou seja, peças que estiverem posicionadas em colunas com valores menores terão prioridade e, caso haja um novo empate, priorizar-se-á peças em linhas de menor valor.

Os movimentos de uma mesma peça devem ser impressos seguindo os seguintes critérios de ordenação: coluna da casa de destino, linha da casa de destino. Para os movimentos que permitem a promoção de um peão (nos quais haverá empate para os critérios citados anteriormente), deve-se respeitar a ordem de valores das peças, como explicado anteriormente.

## 4 Exemplos

### 4.1 Exemplo 1

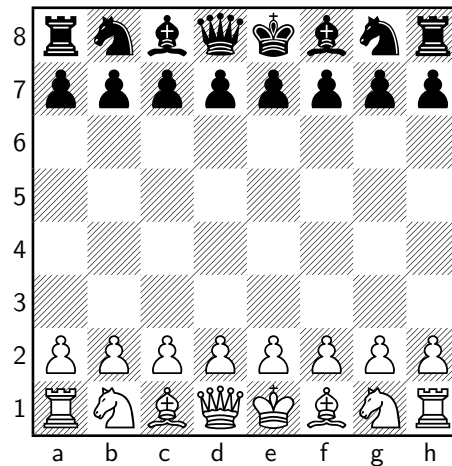


Figura 11: Exemplo 1.

#### 4.1.1 Entrada

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

### 4.1.2 Saída

aa3\ [n](#)  
aa4\ [n](#)  
bb3\ [n](#)  
bb4\ [n](#)  
cc3\ [n](#)  
cc4\ [n](#)  
dd3\ [n](#)  
dd4\ [n](#)  
ee3\ [n](#)  
ee4\ [n](#)  
ff3\ [n](#)  
ff4\ [n](#)  
gg3\ [n](#)  
gg4\ [n](#)  
hh3\ [n](#)  
hh4\ [n](#)  
Na3\ [n](#)  
Nc3\ [n](#)  
Nf3\ [n](#)  
Nh3\ [n](#)

## 4.2 Exemplo 2

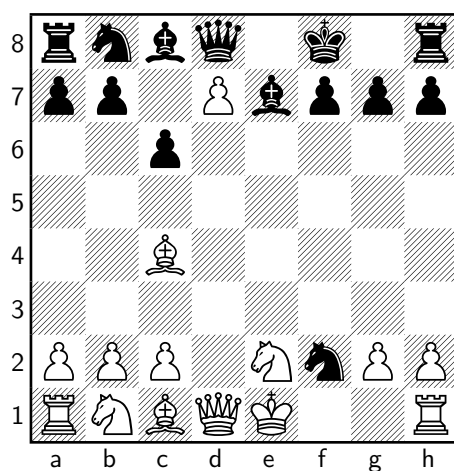


Figura 12: Exemplo 2.

### 4.2.1 Entrada

rnbq1k1r/pp1Pbppp/2p5/8/2B5/8/PPP1NnPP/RNBQK2R w KQ - 1 8

#### 4.2.2 Saída

aa3\n  
aa4\n  
bb3\n  
bb4\n  
cc3\n  
dxc8N\n  
dxc8B\n  
dxc8R\n  
dxc8Q\n  
gg3\n  
gg4\n  
hh3\n  
hh4\n  
Na3\n  
Nbc3\n  
Nd2\n  
Nec3\n  
Nd4\n  
Nf4\n  
Ng1\n  
Ng3\n  
Bd2\n  
Be3\n  
Bf4\n  
Bg5\n  
Bh6\n  
Ba6\n  
Bb3\n  
Bb5\n  
Bd3\n  
Bd5\n  
Be6\n  
Bxf7\n  
Rf1\n  
Rg1\n  
Qd2\n  
Qd3\n  
Qd4\n  
Qd5\n  
Qd6\n  
Kd2\n  
Kf1\n  
Kxf2\n  
Kg1

## 5 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 modula-

rização do programa será levada em consideração no processo de correção.