



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE BACHARELADO EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

ERNILDO PORFIRIO NEVES FILHO

**ARQUITETURA DE UM SISTEMA ROBÓTICO APLICADO À
PRÁTICA DO JOGO DE XADREZ**

PAU DOS FERROS - RN

2021

ERNILDO PORFIRIO NEVES FILHO

**ARQUITETURA DE UM SISTEMA ROBÓTICO APLICADO À
PRÁTICA DO JOGO DE XADREZ**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Tecnologia da Informação.

Orientador: Prof. Wallace Duarte de Holanda

PAU DOS FERROS - RN

2021

ERNILDO PORFIRIO NEVES FILHO

**ARQUITETURA DE UM SISTEMA ROBÓTICO APLICADO À
PRÁTICA DO JOGO DE XADREZ**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Tecnologia da Informação.

Defendida em: **25 / 05 / 2021**.

BANCA EXAMINADORA

WALLACE DUARTE DE
HOLANDA:701294984
83

Assinado de forma digital por
WALLACE DUARTE DE
HOLANDA:70129498483
Dados: 2021.06.11 20:26:58 -03'00'

Prof. Bel. Wallace Duarte de Holanda - UFERSA
Presidente

REUDISMAM ROLIM DE
SOUSA:08392843495

Assinado de forma digital por
REUDISMAM ROLIM DE
SOUSA:08392843495
Dados: 2021.06.11 20:12:17 -03'00'

Prof. Dr. Reudismam Rolim de Sousa - UFERSA
Membro Examinador

VERONICA MARIA LIMA
SILVA:02558212397

Assinado de forma digital por
VERONICA MARIA LIMA
SILVA:02558212397
Dados: 2021.06.11 19:54:55 -03'00'

Profª. Dra. Verônica Maria Lima Silva - UFERSA
Membro Examinador

DYEGO MAGNO OLIVEIRA
SOUZA:23068496845

Assinado de forma digital por DYEGO
MAGNO OLIVEIRA SOUZA:23068496845
Dados: 2021.06.11 20:14:50 -03'00'

Prof. Bel. Dyego Magno Oliveira Souza - UFERSA
Membro Examinador

Dedico este trabalho aos meus pais, Ernildo e Elisia, e ao meu irmão Mateus, que sempre me apoiaram nas decisões mais importantes e estiveram comigo nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Início esta seção agradecendo a Deus por ter guiado os meus passos em todos os momentos dessa caminhada. Como diz o Salmo 136:1 - “Rendei graças ao Senhor porque ele é bom, porquanto seu amor leal dura para sempre.”

Agradeço aos meus pais Ernildo e Elisia por todo esforço e dedicação desempenhados no meu processo de criação. Agradeço pelo amor, carinho e confiança depositada em mim durante todos esses anos. Sem isso, jamais teria chegado até aqui. Amo vocês. Obrigado!

Agradeço ao meu irmão e também meu melhor amigo: Mateus. Por ser a pessoa que sempre esteve do meu lado nas encrencas e nos momentos de felicidade. Agradeço pela paciência e pelo ombro todas as vezes que precisei chorar. Te admiro muito, cara. Obrigado!

Agradeço a minha tia Carolina por ter acreditado e investido no meu potencial. Obrigado pela atenção e pelos ensinamentos. Sem você, esse momento não seria possível. Obrigado!

Agradeço aos meus primos Junior e Hellen por terem me dado todo o apoio necessário nos primeiros anos de graduação. Suas contribuições direta e indireta foram imprescindíveis para que eu pudesse chegar até aqui. Obrigado!

Agradeço a todos os meus parentes que me apoiaram e contribuíram de alguma forma para que esse momento fosse possível. Em nome de todos, eu cito a minha querida tia Luzia. Obrigado!

Agradeço a todos os meus amigos e colegas que estiveram comigo durante essa jornada. Em nome de quem eu cito: Ruan, Gyovanne, Wallace, Igor, Emmanuel, Welles, Lucas, Chaguinha, Ivys, Melissa, Stefany e minha cunhada Cida. Muito obrigado, galera!

Agradeço a minha namorada Monalise por todo amor e companheirismo durante todos esses anos juntos. Poder contar com seu carinho e apoio foi fundamental para mais uma realização. Te amo, princesa. Obrigado!

Agradeço aos sócios Talles e Ivonzelio, fundadores da SIASP. Fica aqui registrado o meu muitíssimo obrigado por abrirem as portas da empresa para que eu pudesse ter o primeiro emprego formal na área de desenvolvimento de software. Vocês são incríveis!

Agradeço a todo corpo docente da UFERSA campus Pau dos Ferros. Obrigado!

Agradeço ao meu orientador Prof. Wallace. Vou sempre te ter como uma referência de profissional e amigo. Serei eternamente grato por ter entrado nesse projeto comigo. Sem você, seria bem mais difícil terminar esse trabalho com sucesso. Obrigado!

Por fim, agradeço a minha banca examinadora formada pelo meu estimado Prof. O Dr. Reudisman, pela minha querida Profª. A Dra. Verônica e pelo meu nobre Prof. Bel. Diego. Vocês realizam um trabalho fantástico na instituição. Obrigado!

“A ausência de evidência não é evidência de ausência.”

Carl Sagan.

RESUMO

Os jogos físicos de tabuleiro possuem importância fundamental no desenvolvimento cognitivo do ser humano. Diversas pesquisas mostram que a prática do esporte não desenvolve somente o raciocínio lógico-matemático, como também aperfeiçoa características ligadas ao comportamento do indivíduo na sociedade pois melhora aspectos ligados à comunicação e interação. Porém, com o advento dos jogos eletrônicos, os jogos físicos estão, aos poucos, caindo em desuso. Sendo assim, este trabalho visa propor o desenvolvimento de uma arquitetura de um sistema robótico capaz de possibilitar a prática e o ensino de xadrez com um jogador humano. Para isso, inicialmente, um estudo bibliográfico foi realizado, buscando entender as principais técnicas, ferramentas e linguagens utilizadas na construção de dispositivos robóticos. Por meio deste estudo, foi possível definir quais ferramentas seriam utilizadas para a criação da arquitetura do sistema robótico. Com isso, foi desenvolvido o modelo arquitetural, que é baseado em três módulos principais: módulo de controle, módulo de atuação e módulo de mapeamento. Em seguida, através de uma pesquisa realizada com 32 participantes, foi possível validar a aceitação da proposta do trabalho. Ao analisar as respostas obtidas, foi observado que a grande maioria dos participantes demonstraram entusiasmo na utilização de um robô voltado ao processo de prática e ensino do jogo de xadrez.

Palavras-chave: Robótica. Aprendizagem de Xadrez. Braço Robótico. Interação Humano-Robô.

ABSTRACT

Physical board games are of fundamental importance in the cognitive development of human beings. Several researches show that the practice of sport not only develops logical-mathematical reasoning, but also improves characteristics related to the individual's behavior in society, as it improves aspects related to communication and interaction. However, with the advent of electronic games, physical games are gradually falling into disuse. Therefore, this work aims to propose the development of an architecture for a robotic system capable of enabling the practice and teaching of chess with a human player. For this, initially, a bibliographical study was carried out, seeking to understand the main techniques, tools and languages used in the construction of robotic devices. Through this study, it was possible to define which tools would be used to create the robotic system architecture. With this, the architectural model was developed, which is based on three main modules: control module, actuation module and mapping module. Then, through a survey conducted with 32 participants, it was possible to validate the acceptance of the work proposal. When analyzing the responses obtained, it was observed that the vast majority of participants showed enthusiasm in using a robot aimed at the process of practicing and teaching the game of chess.

Keywords: Robotics. Chess Learning. Robotic arm. Human-Robot Interaction.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Constância na prática de algum jogo.....	44
Gráfico 2 - Familiaridade com jogos de xadrez.....	45
Gráfico 3 - Formato de jogo de xadrez.....	45
Gráfico 4 - Dificuldade na prática do xadrez.....	46
Gráfico 5 - Interatividade com robôs.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama em blocos geral do dispositivo.....	31
Figura 2 - Diagrama da arquitetura completa do sistema.....	33
Figura 3 - Ligação entre os módulos.....	35
Figura 4 - Camada de comunicação entre os módulos.....	36
Figura 5 - Arquitetura do módulo de atuação.....	37
Figura 6 - Arquitetura do módulo de mapeamento.....	38
Figura 7 - Camadas do módulo de controle.....	40
Figura 8 - Árvore de processos.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise comparativa das <i>chess engines</i>	29
Quadro 2 - Relação de cores, blocos e nichos tecnológicos.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FIDE	<i>International Chess Federation</i>
ISO	<i>International Organization Standardization</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
AGC	<i>Apollo Guidance Computer</i>
GCC	<i>GNU Compiler Collection</i>
UCI	<i>Universal Chess Interface</i>
GPIO	<i>General Purpose Input and Output</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>
SoC	<i>System On-Chip</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPC	<i>Inter-Process Communication</i>
SO	Sistema Operacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 JOGOS FÍSICOS DE TABULEIRO	16
2.2 JOGO DE XADREZ	17
2.3 ROBÓTICA	18
2.3.1 APLICAÇÃO	19
2.3.1.1 ROBÔS INDUSTRIAIS	19
2.3.1.2 ROBÔS NÃO INDUSTRIAIS	20
2.3.2 CADEIA CINEMÁTICA	20
2.3.4 GRAU DE INTERATIVIDADE	21
2.4 SISTEMAS EMBARCADOS	22
2.5 CHESS ENGINE	23
2.6 ARQUITETURA	24
2.7 TRABALHOS RELACIONADOS	24
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	25
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.2 CHESS ENGINE UTILIZADA	26
3.3 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO DE VALIDAÇÃO	28
4. RESULTADOS	28
4.1 ARQUITETURA	29
4.1.1 ESTRUTURA GERAL	29
4.1.2 COMUNICAÇÃO DOS MÓDULOS	33
4.1.3 MÓDULO DE ATUAÇÃO	35
4.1.4 MÓDULO DE MAPEAMENTO	37
4.1.5 MÓDULO DE CONTROLE	38
4.1.6 ÁRVORE DE PROCESSOS	39
4.1.7 MAPEAMENTO DO TABULEIRO	42
4.2 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO	44
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXO A - QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO	51

1. INTRODUÇÃO

Todas as espécies catalogadas no planeta terra evoluíram com base no meio que estavam inseridas. Aqueles que melhor usavam suas habilidades, conseguiam se reproduzir e repassar para as gerações subsequentes todas as características que os mantiveram vivos em ambiente hostil (RIDLEY, 2007). Com a humanidade, não foi diferente. A espécie humana é considerada extremamente frágil, frente a outras espécies que possuem meios defensivos mais sofisticados. Todavia, a capacidade cognitiva possibilitou ao homem não somente sobreviver, como também modificar, de maneira significativa, o espaço a sua volta (CORTEZ, 2011).

No decorrer do tempo, essa característica intrínseca possibilitou ao ser humano o desenvolvimento de técnicas e atividades capazes de estimular o cérebro, em um processo retroalimentado. Ou seja, a inteligência promove a criação de técnicas, e estas, por sua vez, irão estimular a inteligência em processo ciclomático. Nesse contexto, os jogos de tabuleiro se caracterizam como um dos principais mecanismos já produzidos, a citar o jogo de xadrez (PERALTA et al., 2019).

Sendo assim, a inteligência humana evoluiu a um patamar que pudesse permitir o desenvolvimento sólido da ciência e consequentemente da engenharia, possibilitando a criação de computadores de alta performance, dispositivos mecânicos com elevado nível de precisão e a capacidade de juntar ambos os conceitos em robôs que executam tarefas críticas e de importância imprescindível para a sociedade moderna (BARRIENTOS et al., 2007).

Atualmente, graças a esse avanço tecnológico, promovido principalmente pela revolução da informática nos últimos 60 anos e o surgimento de computadores capazes de executar aplicações altamente complexas, os jogos físicos de tabuleiro perderam um grande número de adeptos. Isso se deve ao fato de que as pessoas estão cada dia mais imersas em um mundo completamente digital e, como consequência, acabam optando por jogos eletrônicos (SOUZA e MARCHI JÚNIOR, 2013).

Portanto, diante da importância do jogo de xadrez no auxílio do desenvolvimento da capacidade cognitiva do ser humano, do avanço tecnológico atual e da preferência das pessoas por jogos de computador, este trabalho investiga o seguinte questionamento: A ideia de praticar o jogo de xadrez com um oponente robótico chama a atenção das pessoas?

Desse modo, é proposto neste trabalho o desenvolvimento de um modelo arquitetural de um sistema robótico jogador de xadrez (braço robótico, mapeamento do tabuleiro e controle e automatização das jogadas) com o objetivo de disseminar a modalidade, visando assim, aproximar as pessoas imersas em um mundo completamente digital, na prática de jogos físicos de tabuleiro.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consiste no desenvolvimento de uma arquitetura de um sistema robótico voltado à prática e aprendizado de xadrez, a fim de atrair o público para a modalidade e, como consequência, promover o estímulo da capacidade cognitiva dos praticantes. Para alcançar o objetivo geral descrito anteriormente, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar, com base em pesquisas, os benefícios dos jogos de tabuleiro, em especial o xadrez, para a capacidade cognitiva do ser humano;
- Compreender a dinâmica do jogo de xadrez;
- Introduzir o conceito de robótica, componentes e possíveis aplicações;
- Validar a proposta do trabalho através de um formulário;
- Desenvolver um modelo de arquitetura de um sistema robótico, aplicado ao jogo de xadrez.

1.2 JUSTIFICATIVA

O jogo de xadrez, assim como qualquer outro artefato antigo, possui uma data de origem controversa. Porém, a tese mais aceita é de que o jogo teria surgido na Índia em algum momento no século VI, passando por muitas alterações no decorrer do tempo e somente em meados do século VIII, o xadrez adquiriu a forma que se conhece atualmente. Esse fato se deve, principalmente, mediante o lançamento do livro "*L'analyse du jeu des échecs*" (Análise do jogo de xadrez) que registrou formalmente as regras, definições e termos padrões (ALMEIDA, 2010).

Com isso, de modo a avaliar o impacto dos jogos de tabuleiro, a citar o xadrez, pesquisas realizadas mostram que a prática do esporte estimula as áreas do cérebro

responsáveis pelo aprendizado, lógica, matemática, artes, locomoção e até mesmo na socialização dos indivíduos (MARQUES et al., 2008).

Em Marques et al. (2008), foi realizada uma pesquisa no interior do estado de São Paulo, com o objetivo de verificar a possibilidade de se utilizar o jogo de xadrez como ferramenta pedagógica. Quatro escolas foram escolhidas, sendo três do setor privado e uma escola do setor público, oferecendo diferentes estruturas para a correta prática do esporte.

O resultado da pesquisa apontou que independentemente das condições estruturais das escolas, 100% dos alunos que desenvolveram a prática do xadrez, durante o período do estudo, apresentaram melhorias significativas nas disciplinas convencionais, bem como em aspectos ligados à memória, raciocínio, concentração e vontade de vencer.

Segundo Kohn e Moraes (2007), nos dias atuais, com o advento da tecnologia, os computadores e processos automatizados estão fortemente ligados ao “novo” conceito de sociedade, tornando impraticável imaginar uma estrutura política, educacional, comercial e de interação social sem a presença destes. Tendo em vista esse contexto, os jogos físicos de tabuleiro, como o xadrez, têm perdido espaço para os jogos eletrônicos modernos (SANTOS et al., 2016).

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2, é apresentado o embasamento teórico e alguns trabalhos relacionados a esta pesquisa; no Capítulo 3, é definida e descrita a metodologia utilizada; no Capítulo 4, os resultados obtidos são ilustrados; no Capítulo 5, são discutidos os resultados obtidos através do formulário de validação da proposta do projeto; e, por fim, no Capítulo 6, são expostas as conclusões obtidas e os trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão discutidos alguns conceitos e termos importantes para o entendimento deste trabalho, sendo organizado da seguinte forma: Na Seção 2.1, é apresentada uma contextualização sobre os jogos físicos de tabuleiro; na Seção 2.2 são descritos aspectos inerentes ao jogo de xadrez; na Seção 2.3, os conceitos de robótica são apresentados; na Seção 2.4, são ilustradas as características dos sistemas embarcados; na Seção 2.5 é caracterizado o conceito de uma *chess engine*; e, por último, na Seção 2.6, são ilustrados os trabalhos relacionados com a temática desta pesquisa.

2.1 JOGOS FÍSICOS DE TABULEIRO

Os jogos fazem parte da civilização humana desde muito tempo. Acredita-se que os primeiros jogos de tabuleiro tiveram sua origem nas regiões do Egito e Mesopotâmia, sempre fortemente ligados a questões religiosas (CUSTÓDIO, AFIUNE, 2019). Mediante fatores naturais, não é possível afirmar qual foi o primeiro jogo de tabuleiro da história. No entanto, pesquisas arqueológicas apontam que o Mancala é o jogo de tabuleiro mais antigo já encontrado, tendo em vista a sua idade média, calculada em aproximadamente 7000 anos (ALMEIDA, 2010).

No Brasil, pesquisas descobriram que os índios praticavam um jogo de tabuleiro denominado “onça”. A mecânica (regras, componentes e estruturas) deste jogo consiste de 5 pedras que representam cachorros e 1 pedra que representa a onça, cujo objetivo dos jogadores com os “cachorros” é de encurralar a “onça”, enquanto o jogador, representado pela onça, visa derrotar os “cachorros” (GEHLEN, 2013).

Para Gehlen (2013), os jogos físicos de tabuleiro podem ser definidos como sendo aqueles praticados por uma ou mais pessoas em torno de um tabuleiro feito de materiais diversos (papel, plásticos, madeira, argila e etc), grafados com símbolos dotados de significados e que seguem regras bem estipuladas.

Devido sua antiga existência, os jogos de tabuleiro possuem grande variedade de tipos e categorias. Possuindo, em muitos casos, um escopo puramente abstrato e simples, ligado à

jogabilidade, como é o caso do “jogo da velha”, até complexas simulações de contextos da vida real, como acontecem nos jogos de estratégia militar (GEHLEN, 2013).

De acordo com Teixeira e Figueiredo (1970), baseando-se em um aspecto generalista, os jogos físicos podem ser divididos em 5 categorias distintas, separadas pela capacidade de atuar, estimulando diferentes áreas do cérebro, sendo definidas em:

- **Sensoriais:** estimulam a utilização dos aparelhos sensitivos, tais como o olfato, paladar, tato, visão e audição.
- **Psíquicos:** estimulam a capacidade elevada dos jogadores, tais como a serenidade, seriedade e alegria.
- **Motores:** estimulam a atuação muscular e a movimentação, tais como correr, chutar e arremessar.
- **Afetivos:** estimulam o desenvolvimento de sentimentos, tais como a cultura, música e artes.
- **Intelectuais:** estimulam a capacidade de raciocínio lógico, paciência e estratégia.

Mediante a conceituação de Teixeira e Figueiredo (1970), os jogos físicos de tabuleiro se enquadram na categoria de jogos intelectuais, tendo em vista sua natureza de atuação na inteligência de seus praticantes.

2.2 JOGO DE XADREZ

O xadrez é um jogo de tabuleiro que, segundo a teoria mais aceita, teria surgido na Índia por volta de 2000 anos atrás. Ao longo do tempo, o jogo se difundiu principalmente entre a região da Ásia central e países do oriente médio até chegar na Europa em meados do final do século XVII. Segundo Kasparov (2002), foi justamente por sofrer influência de várias culturas, que o jogo passou por modificações significativas em sua mecânica (regras, componentes e estruturas) até chegar na formulação atual.

Hoje, o xadrez é considerado um esporte praticado em todo o mundo, contando com diversas competições regionais e mundiais. O padrão de jogo do xadrez moderno, com todas as suas regras, foi definido a partir do lançamento do livro “*L’analyse du jeu des échecs*” de 1749 por *François-André Danican Philidor* que, mesmo tendo um pouco mais de 300 anos desde sua primeira publicação, é a principal referência para as regras adotadas pela FIDE (*International Chess Federation*) (ALMEIDA, 2010).

Tendo como premissa simular uma situação de combate entre dois reinos, o jogo de xadrez possui uma característica fundamental: estimular a capacidade de raciocínio dos jogadores. Isso acontece porque o jogo tem como objetivo principal capturar a peça “rei” do oponente, ocasionando, assim, um xeque mate, que só é possível mediante jogadas de movimentação e capturas previamente calculadas (D'AGOSTINI, 2002).

D'Agostini (2002) define os elementos básicos do jogo de xadrez em duas partes: tabuleiro e as peças. O tabuleiro caracteriza-se como a área, delimitada por tamanhos fixos de largura e comprimento, na qual a partida irá se desenrolar. Por fazer alusão a um combate antigo entre reinos, o tabuleiro abstrai a ideia de um campo de batalha.

As peças são os elementos que podem ser movimentados pelo jogador no tabuleiro. As peças seguem padrões pré-definidos de movimentação. Dessa forma, os jogadores devem se basear em uma estratégia, para conseguir capturar as peças adversárias. (D'AGOSTINI, 2002).

2.3 ROBÓTICA

Segundo Saha (2008), os primeiros registros históricos daquilo que se conhece atualmente como robótica, são datados de aproximadamente 3000 anos atrás. Todavia, foi na Grécia antiga que surgiu o termo "*automatos*", tendo como tradução literal: máquina capaz de realizar a cinesia de seres animados. Este termo grego atenua o antigo fascínio do imaginário humano em objetos que tivessem a capacidade de reproduzir o movimento de organismos vivos (BARRIENTOS et al., 2007).

O termo *robot* (traduzido do inglês para “robô”), derivado da palavra checa “*robota*”, que significa “trabalho forçado”, foi criado através da peça teatral "*Rossum 's Universal Robots*" (Robôs Universais de Rossum) de Karel Capek. Seu intuito era basicamente contar a história de um fabricante de máquinas mecânicas que substituem o trabalho humano de forma eficiente com o “benefício” de não possuírem emoções (SAHA, 2008).

Sendo assim, por conta da temática amplamente explorada pela indústria cinematográfica após os anos 40 e pela admiração natural provocada pelo assunto, as pesquisas se aprofundaram muito nessa área, acarretando no desenvolvimento real de robôs. Com o advento da computação moderna, a ideia de fazer um robô “pensar” e agir como um

ser humano se torna viável. Todavia, o propósito principal da criação desse tipo de dispositivo é a realização de trabalhos pesados (SAHA, 2008).

Para Barrientos (2007), não existe um consenso para o que seria a definição correta de robô. Em suma, dizer que um robô é uma máquina capaz de simular a forma humana é tão correto quanto caracterizar um robô como sendo um dispositivo manipulador programável. Isso acontece porque a construção, tipo e finalidade desses aparelhos variam conforme o tempo, demanda e tecnologias vigentes.

Atualmente, de forma genérica, um robô pode ser considerado como todo dispositivo construído tendo como bases fundamentais a computação, eletroeletrônica e mecânica. Além disso, devem desempenhar suas atividades de forma a exigir o mínimo de interferência humana possível. (BARRIENTOS et al., 2007).

Carrara (2015) afirma que devido possuírem uma definição extremamente ampla, os mecanismos robóticos podem ser dispostos em diferentes categorias, estando relacionadas às suas características físicas, a citar: i) Aplicação; ii) Cadeia cinemática e iii) Grau de interatividade, que são definidos nas subseções a seguir.

2.3.1 APLICAÇÃO

A aplicação de um robô diz respeito ao tipo de atividade que será empregada. Sendo assim, Saha (2008) infere a existência de apenas dois tipos de robôs mediante a sua aplicação: industriais e não industriais. Esta divisão é fundamental ao tomar como base a importância da indústria na economia da sociedade moderna.

2.3.1.1 ROBÔS INDUSTRIAIS

Robô industrial pode ser considerado como sendo todo manipulador mecânico que atua no chão de fábrica, ou seja, atuam diretamente na linha de produção, controlado através de um computador e que executa uma tarefa ditada por meio de um software. Em geral, estes dispositivos possuem grande versatilidade, pois um mesmo modelo de um mesmo fabricante, pode ser empregado em diversos pontos de uma linha de produção (SAHA, 2008).

Além disso, robôs industriais atuam em cooperação. Ou seja, tendo em vista o processo de fabricação de um determinado objeto, cada unidade robótica, separadamente,

desempenha uma rotina bem definida na linha de montagem. Esses dispositivos trocam informações entre si por meio de uma intranet (infraestrutura de rede interna), com protocolos e padrões especializados (CARRARA, 2015).

Para tanto, além de prover o compartilhamento de dados, esse ecossistema também possibilita que técnicos, como engenheiros e controladores, analisem o comportamento dinâmico, em conjunto e individual, de cada robô. Isso acontece a fim de garantir melhorias no processo de produção, com intuito de auxiliar na tomada de decisão durante atualizações de sistema e agir de forma efetiva em caso de eventuais problemas (CARRARA, 2015).

2.3.1.2 ROBÔS NÃO INDUSTRIAIS

Os dispositivos robóticos não industriais são aparelhos que possuem a mesma definição geral de robô. Porém, ao invés de possuírem grande versatilidade para serem usados em fábricas, são projetados e concebidos a fim de que realizem um único objetivo bem especificado em outros locais. Na prática, qualquer robô que não esteja trabalhando em uma linha de produção, pode ser chamado de robô não industrial ou de uso específico (SAHA, 2008).

As aplicações de robôs não industriais são amplas, abrangendo desde a atuação em faxinas domésticas, onde os dispositivos contam com um modesto conjunto mecânico, configurações de hardware e software simplistas, até modernas sondas interplanetárias com sofisticados sistemas de controle, localização e capacidade de atuação no ambiente (BARRIENTOS et al., 2007).

Segundo Saha (2008), os robôs não industriais podem ser classificados em muitas outras subcategorias de aplicabilidade ainda mais específicas, a citar: i) Exploração espacial, ii) Medicina, iii) Domésticos, iv) Militar e v) Humanoides.

2.3.2 CADEIA CINEMÁTICA

A palavra cinemática deriva do termo grego *kinema* que, em tradução direta, significa movimento. Na física clássica, o termo é usado justamente para descrever as leis que regem o movimento dos corpos. Portanto, a cadeia cinemática de um robô está diretamente relacionada

com os mais variados tipos de movimentos que o aparelho pode realizar (BARRIENTOS et al., 2007).

Para Barrientos et al. (2007), os dispositivos robóticos estacionários, ou seja, manipuladores robóticos com base fixa em um único local, podem ser dispostos em 7 subcategorias relacionados aos movimentos que podem realizar. A saber, são elas:

- **Cartesiano:** dispositivos robóticos que têm sua movimentação baseada em coordenadas cartesianas.
- **Cilíndrico:** dispositivos que possuem seus movimentos baseados em coordenadas cilíndricas.
- **Polar/Esférico:** robôs que utilizam as coordenadas esféricas para alcançar algum ponto do seu espaço de trabalho.
- **Articular:** esse tipo de dispositivo possui um maior dinamismo, pois pode realizar movimentos baseados em mais de um tipo de coordenada.
- **SCARA:** possui todos os seus elos (braços) dispostos em um único plano de coordenado.
- **Paralelo:** dispositivo robótico composto por barras lineares conectadas em paralelo a uma mesma base em um sistema fechado.

2.3.3 GRAU DE INTERATIVIDADE

Para se construir um dispositivo robótico, engenheiros e projetistas levam em consideração três aspectos fundamentais: cinemática, dinâmica e controle. Como visto na Seção 2.3.2, a cinemática diz respeito à movimentação que o robô fará para alcançar um determinado ponto em seu espaço de trabalho. A dinâmica diz respeito aos cálculos de forças envolvidas no movimento e capacidade de carga. O controle, por sua vez, diz respeito a como o dispositivo será comandado no acionamento dos atuadores para realizar o trabalho desejado (CARRARA, 2015).

Dessa forma, o grau de interatividade de um robô está diretamente relacionado ao controle do dispositivo. Em suma, quanto menos interferência humana para comandar o aparelho, a fim de que ele execute uma função estabelecida, mais inteligente e complexo tendem a ser os seus computadores embarcados. Por isso, Barrientos et al (2007), baseado em

definições ISO (Organização Internacional de Normas), afirma que os robôs podem ser classificados em 4 categorias relacionadas ao grau de interatividade. Sendo elas:

- **Sequenciais:** robôs com sistema de controle baseado em modelos padronizados de movimentos que, em geral, são executados eixo a eixo em uma sequência de atuação finita e bem definida.
- **Controle por Trajetória:** dispositivos controlados com base em instruções que especificam o tempo e o caminho necessário para chegar na próxima posição.
- **Adaptativos:** robôs baseados em algoritmos de inteligência artificial para controlar seus atuadores, adaptando seu movimento sempre que necessário.
- **Teleoperados:** robôs que são controlados diretamente por um agente humano.

2.4 SISTEMAS EMBARCADOS

Segundo Cunha *et al.* (2007), o termo “sistema embarcado” tornou-se popular nos laboratórios da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) durante o período do programa Apollo, que tinha como objetivo levar astronautas à lua entre os anos 1961 e 1972. O computador em questão tratava-se do AGC (*Apollo Guidance Computer*) que ficava embarcado nas espaçonaves e tinha como objetivo o controle completo do voo.

Ainda segundo Cunha (2010), além de seu legado histórico, uma das principais características do AGC está no fato de que, devido à natureza de execução de tarefas dedicadas exclusivamente ao controle de voo e os recursos tecnológicos da época, o circuito eletrônico do mesmo era constituído por componentes discretos e portas lógicas dispostas em encapsulamentos separados.

Sendo assim, atualmente, mesmo com o avanço dos sistemas digitais modernos, há consenso entre engenheiros e projetistas que os sistemas embarcados podem ser entendidos como computadores construídos única e exclusivamente para atuarem na execução da aplicação para qual foram propostos. Por isso, mesmo podendo ser classificados pela sua construção, características como a capacidade de processamento e armazenamento não são fatores determinantes para definir um sistema como sendo de uso geral (computadores pessoais) ou de uso específico (sistema embarcado) (PANNAIN *et al.*, 2012).

Em uma época completamente informatizada, os computadores estão presentes em diversas aplicações. Com isso, os sistemas embarcados podem ser encontrados desde chaves presenciais de automóveis, com um poder de processamento relativamente baixo, até a atuação em modernas aeronaves militares, exigindo, dessa forma, sistemas de processamento dedicados extremamente capazes (PANNAIN et al., 2012).

Mediante isso, na robótica, os sistemas embarcados são amplamente utilizados. Isso acontece, pois, pela própria definição de robô, não existe dispositivo robótico sem o uso de algum sistema computacional. Independentemente da aplicação, os sistemas embarcados são desenvolvidos com a potência necessária para atuar na coleta de dados do ambiente externo por meio dos sensores (câmeras e sensor de distância), processamento das informações para tomada de decisões e ação em atuadores físicos (motores, juntas e frezas) a fim de fazer com que o robô desempenhe o objetivo para qual fora criado (BARRIENTOS et al., 2007).

2.5 CHESS ENGINE

Nos primórdios da computação, os dispositivos eram desenvolvidos e vendidos para grandes corporações com a única finalidade de realizarem cálculos matemáticos para diversos fins na empresa. Por isso, devido às limitações tecnológicas, a implementação prática de jogos digitais não era viável, muito embora, projetistas da época já tivessem imaginado tal possibilidade (LEITE, 2006).

Nesse contexto, para Leite (2006), a era dos jogos digitais teve seu início na década de 1970 com o nascimento da indústria dos jogos eletrônicos, onde Nolan Bushnell, fundador da Atari, criaria os primeiros jogos arcade. Atualmente, chips gráficos mais eficientes conferem às máquinas modernas uma capacidade de processamento de mídia suficiente para executar jogos e simuladores extremamente complexos.

Segundo Oliveira (2013), uma *game engine* pode ser definida como um conjunto de bibliotecas, funções e interfaces de software que têm como objetivo abstrair a implementação da lógica de um determinado jogo. A utilização de uma *game engine* é necessária para garantir uma modularização e reutilização adequada dos componentes de um jogo digital.

Sendo assim, *chess engine* é o nome dado ao módulo de *software* responsável por implementar a lógica de funcionamento do jogo de xadrez em um computador. Seu uso é fundamental, pois permite que os programadores fiquem livres para desenvolverem módulos

de interface gráfica sem se preocupar com questões mais detalhadas da lógica do jogo de xadrez em si (OLIVEIRA, 2013).

Atualmente, existem diversas soluções pagas e *open source* (código aberto) de *chess engines* disponíveis para serem usadas em projetos de terceiros. As *chess engines* são desenvolvidas em diversas linguagens, com isso, em muitas ocasiões, não possuem uma interface acessível para os desenvolvedores. Por esse motivo, o método mais comum de se trabalhar com esses módulos é fazendo-os executar como um subprocesso e redirecionar a sua entrada e saída padrão para a aplicação principal.

2.6 ARQUITETURA

Segundo Pressman (2011) arquitetura é o termo usado para definir o conjunto de técnicas que têm como objetivo agrupar diferentes elementos de forma harmoniosa, que interagem mutuamente e com o ambiente em volta. Esse termo é comumente utilizado na construção civil para descrever o trabalho do profissional que esquematiza uma casa, prédio ou monumento.

Todavia, o termo também é utilizado em outras áreas da engenharia ligadas a tecnologia para descrever a maneira como os objetos e entidades de um sistema devem interagir entre si para desempenhar as funções desejadas. Por isso, para que um projeto complexo seja desenvolvido de forma satisfatória, é necessário que esteja projetado sob uma base arquitetural robusta (PRESSMAN, 2011).

2.7 TRABALHOS RELACIONADOS

Mediante a importância e relevância do tema em questão, alguns autores (González, 1997; Alves, 2019; Sousa, Gonçalves e Leitão, 2004; Matuszek et al., 2011) têm proposto trabalhos e possíveis soluções ligadas ao estudo e desenvolvimento do intelecto humano por meio do jogo de xadrez, assim como tem introduzido a utilização de robótica para o auxílio desta atividade.

Em Gonzalez (1997), foi conduzido um estudo aplicado à análise de viabilidade de uma implementação prática do jogo de xadrez direcionado a disciplina recreativa em escolas do ensino fundamental básico. Para isso, o autor promoveu a aplicação de seções de xadrez

entre os alunos, de modo a ensinar as regras e o funcionamento do jogo. Ao fim, foi averiguado que os alunos que obtiveram bons resultados nos momentos de prática de xadrez, conseguiam assimilar com mais clareza o conteúdo das disciplinas do ciclo básico.

Alves (2019) promove a ideia da utilização de *IoT (Internet of Things)*, voltado especificamente para aplicações da robótica no contexto da educação básica. Objetivamente, o trabalho busca demonstrar que a construção de dispositivos robóticos pode ser usada tanto como recurso educacional, como auxiliar no processo de aprendizagem multidisciplinar. Com isso, os alunos compreendem as atividades envolvidas no processo da construção de robôs, e em seguida, aplicam os conhecimentos adquiridos, de modo que os resultados práticos podem ser constatados em sala de aula por meio das médias dos alunos nas disciplinas regulares.

Sousa, Gonçalves e Leitão (2004) denotam a importância dos sistemas robóticos na indústria moderna a fim de garantir a robustez, produtividade e qualidade nos processos de fabricação. Sendo assim, para demonstrar a dinamicidade de uma plataforma robótica, é construído um sistema baseado no uso desse tipo de dispositivo aplicado ao jogo de xadrez. Com isso, o robô utilizado consegue movimentar as peças no tabuleiro de forma extremamente precisa.

Matuszek et al. (2011) apresentam um sistema manipulador robótico de 6 graus de liberdade que tem como finalidade competir contra jogadores humanos em uma partida de xadrez. O trabalho proposto ressalta a importância da utilização de visão computacional e algoritmos de inteligência artificial para mapear as peças no tabuleiro, calcular a melhor jogada e, com isso, repassar as coordenadas para o braço robótico poder atuar na captura e movimentação.

Tendo em vista os trabalhos anteriores, este trabalho se diferencia pois, ao invés de focar na construção ou apresentação de uma tecnologia específica, propõe um modelo arquitetural genérico para um sistema robótico capaz de jogar xadrez. Sendo assim, ao propor apenas o modelo, os materiais para uma eventual construção do sistema ficam a critério dos projetistas e das especificações tecnológicas que estejam se baseando.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste capítulo é descrita a metodologia utilizada neste trabalho. A Seção 3.1 descreve a etapa de revisão bibliográfica sobre trabalhos que utilizam a robótica para fins atrelados ao xadrez. Na Seção 3.2 são definidas as *chess engines* analisadas e qual foi a escolhida para ser utilizada neste trabalho. A Seção 3.3 detalha o planejamento do estudo de validação da proposta do trabalho.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os trabalhos utilizados na elaboração desta pesquisa foram resultantes de uma breve revisão bibliográfica baseada na busca e coleta de artigos em bases internacionais, como: *IEEE Xplore Digital Library*¹ e *ACM Digital Library*². Para a pesquisa, foi adotada uma *string* de busca simples, com base nos principais termos desta área de pesquisa. Desta forma, foi definida a seguinte *string* de busca: “(Chess OR Board Game) AND (Robot OR Robotic) OR (Design OR Implementation)”.

Portanto, ao finalizar este processo, foram feitas análises nos trabalhos resultantes com o objetivo de prover esclarecimentos sobre: i) utilização de dispositivos robóticos em aplicações de jogos físicos; ii) quais as principais tecnologias envolvidas no desenvolvimento de robôs voltados a prática de jogos de tabuleiro; iii) como funcionam os motores de xadrez; iv) quais as principais *chess engines* utilizadas. Além disso, os trabalhos analisados contribuíram para a discussão vista no Capítulo 2 deste estudo.

3.2 CHESS ENGINE UTILIZADA

Como discorrido na Seção 2.5 deste trabalho, as chamadas *chess engines* são *game engines* voltadas à abstração da lógica de um jogo de xadrez em um computador. No momento do desenvolvimento de um novo jogo de xadrez, os projetistas podem optar em construir o motor (*chess engine*) ou usar um módulo já testado e amplamente difundido. Na maioria dos casos, a segunda opção é mais viável por fatores ligados a reaproveitamento de código e tempo de codificação reduzido.

¹ <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

² <https://dl.acm.org/>

Sendo assim, levando em conta a demasiada quantidade de *chess engines* disponíveis, algumas se destacam por possuírem atributos como: linguagem de programação utilizada na construção, tempo de resposta e consumo de recursos (CPU e memória principal) mais competitivas do que outras de um ponto de vista técnico. Contudo, o presente trabalho aborda sobre quatro *chess engines*, sendo elas: Stockfish³, GNU Chess⁴, Komodo⁵ e Houdini⁶.

O Stockfish é uma chess engine que surgiu no ano de 2004 com o nome de *Glaurung*. O projeto passou por diversas atualizações e melhorias ao longo do tempo e hoje é utilizado em muitas plataformas e mecanismos de xadrez virtual. O Stockfish é feito na linguagem C++ utilizando com o compilador GCC (*GNU Compiler Collection*) e pode ser executado nos sistemas operacionais *Linux*, *Windows* e *MacOS*.

O Komodo é uma chess engine que surgiu em 2010. O motor de xadrez recebe melhorias constantes, tendo a sua *release* estável (versão pronta para uso) lançada em novembro de 2020. O Komodo, em suas versões mais recentes, é escrito com base em C/C++ 11. Além disso, é um software de código aberto e pode ser executado em *Windows*, *Linux* e *MacOS*.

O GNU Chess é uma *chess engine* desenvolvida inicialmente para sistemas operacionais com base em UNIX e, por esse motivo, é considerada um dos motores mais antigos, com o sua primeira versão estável tendo sido lançada no ano de 1984. Atualmente, a versão mais atual do GNU Chess ficou disponível em abril de 2020. Assim como os anteriores, o GNU Chess é suportado pelos sistemas operacionais *Linux*, *Windows* e *MacOS*.

O Houdini é uma *chess engine* que teve origem no ano de 2010. Este motor foi baseado em outros mecanismos consolidados como o próprio Stockfish. Todavia, diferentemente de seus antecessores, o Houdini não possui código aberto e, com isso, se faz necessário adquirir uma licença para poder utilizá-lo. Foi escrito em C++ e está disponível apenas para *Windows*.

Ao realizar a análise das quatro *chess engines* descritas anteriormente e ilustradas no Quadro 1, foi decidido que o presente trabalho irá se basear na Stockfish. O motor foi escolhido por ser um sistema com um tamanho leve, capacidade de ser compilado e executado em arquiteturas ARM, mediante o uso de sistemas operacionais com núcleo *Linux*, faz uso de

³ <https://stockfishchess.org/>

⁴ <https://www.gnu.org/software/chess/>

⁵ <https://komodochess.com/>

⁶ <https://www.cruxis.com/chess/houdini.htm>

algoritmos otimizados e capacidade de se adequar bem sua entrada e saída padrão aos mecanismo de *stream* (fluxo de dados) de outras linguagem de programação.

Quadro 1 - Análise comparativa das *chess engines*.

<i>Chess Engine</i>	Linguagem de Programação	Sistema Operacional	Licença
Stockfish	C++	Linux, Windows e Mac Os	Livre
Komodo	C++	Linux, Windows e Mac Os	Livre
GNU Chess	C e C++	Linux, Windows e Mac Os	Livre
Houdini	C++	Windows	Proprietário

Fonte: Autoria Própria

3.3 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO DE VALIDAÇÃO

Com intuito de validar a proposta deste trabalho, foi elaborado um formulário eletrônico⁷ (consultar Anexo A) visando identificar as impressões fornecidas pelos participantes. O formulário em questão foi elaborado com 16 perguntas, com intuito de identificar os participantes quanto o: i) contato com jogos eletrônicos e de tabuleiro, ii) contato com o jogo de xadrez, iii) a utilização de robôs, e iv) o funcionamento das principais características do robô jogador de xadrez.

O questionário foi disponibilizado ao público geral e registrou 32 respostas. Ao final, os participantes forneceram sugestões e melhorias com relação à ideia proposta, de modo a contribuir com o andamento do projeto.

⁷<https://forms.gle/BQiJXT8TYKbdUQsW7>

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os principais resultados obtidos neste trabalho. Na Seção 4.1, são apresentados os resultados alcançados mediante o desenvolvimento da arquitetura do robô jogador de xadrez. Na Seção 4.2, são descritos os resultados obtidos mediante a aplicação do questionário de validação da ideia de projeto do referido trabalho.

4.1 ARQUITETURA

Nesta seção é descrita a arquitetura geral do sistema. Na Seção 4.1.1 é caracterizada a estrutura geral da arquitetura. Na Seção 4.1.2 é descrito o processo de comunicação dos módulos. Na Seção 4.1.3 é apresentado o módulo de atuação. Na Seção 4.1.4 é detalhado o módulo de mapeamento. Na Seção 4.1.5 é descrito o módulo de controle. Na Seção 4.1.6 é apresentado a estrutura referente à árvore de processos. Por fim, na Seção 4.1.7 é caracterizado processo de mapeamento do tabuleiro.

4.1.1 ESTRUTURA GERAL

Este trabalho tem por finalidade desenvolver uma arquitetura de um sistema robótico cujo objetivo principal seja a prática de xadrez com um oponente humano. Para que isso seja possível, o robô precisa ser dotado de alguns artifícios de engenharia que lhe possibilite: i) mapear o tabuleiro físico, ii) processar informações sobre a disposição das peças, iii) calcular a melhor jogada e iv) atuar na manipulação das peças em campo.

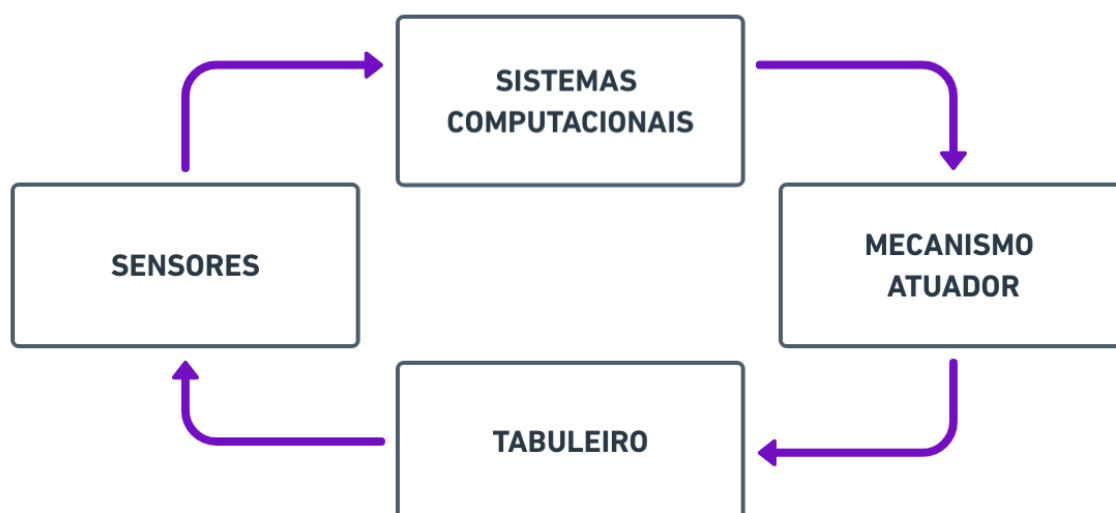
Para tanto, o projeto deve ser desenvolvido levando em conta três áreas associadas aos dispositivos robóticos:

- **Eletrônica:** drivers de interface com sensores e atuadores, processamento embarcado e conexões mediante protocolos físicos de comunicação.
- **Mecânica:** mecanismos, estruturas e cálculos de coordenadas para atuação no espaço de trabalho.
- **Software:** *firmwares* para os microcontroladores, *chess engine* para os cálculos das jogadas, *softwares* de controle e conceitos como comunicação entre processos e abstração do protocolo UCI (*Universal Chess Interface*).

Na Figura 1 é apresentada uma visão geral dos blocos que compõem a ideia central do sistema. Toda a interação entre estes blocos se viabiliza da seguinte forma:

- **Sistemas computacionais:** são responsáveis por toda a parte de processamento de dados, controle e tomada de decisão. Os sistemas computacionais são baseados em microcontroladores embarcados em módulos que realizam a interface entre sensores e atuadores e também no mini computador (*Orange Pi, Raspberry Pi, Banana Pi*). Além de todo o aparato de *hardware* eletrônico, também faz parte deste bloco toda a camada de *software* como os programas que irão realizar o controle da plataforma, *chess engine* embarcada no mini computador e os *firmwares* que serão gravados nos microcontroladores dos módulos de interface com o ambiente externo;
- **Mecanismo atuador:** bloco responsável por englobar todos os sistemas de mecanismos, cálculos de coordenada para alcance das peças no tabuleiro, além de outros atributos físicos ligados ao braço robótico em si.
- **Sensores:** bloco responsável por abstrair o sistema de mapeamento de campo de forma a localizar as peças durante uma partida.
- **Tabuleiro:** espaço de trabalho útil para o mecanismo atuador e que deve ter toda sua área mapeada por sensores.

Figura 1 - Diagrama em blocos geral do dispositivo.



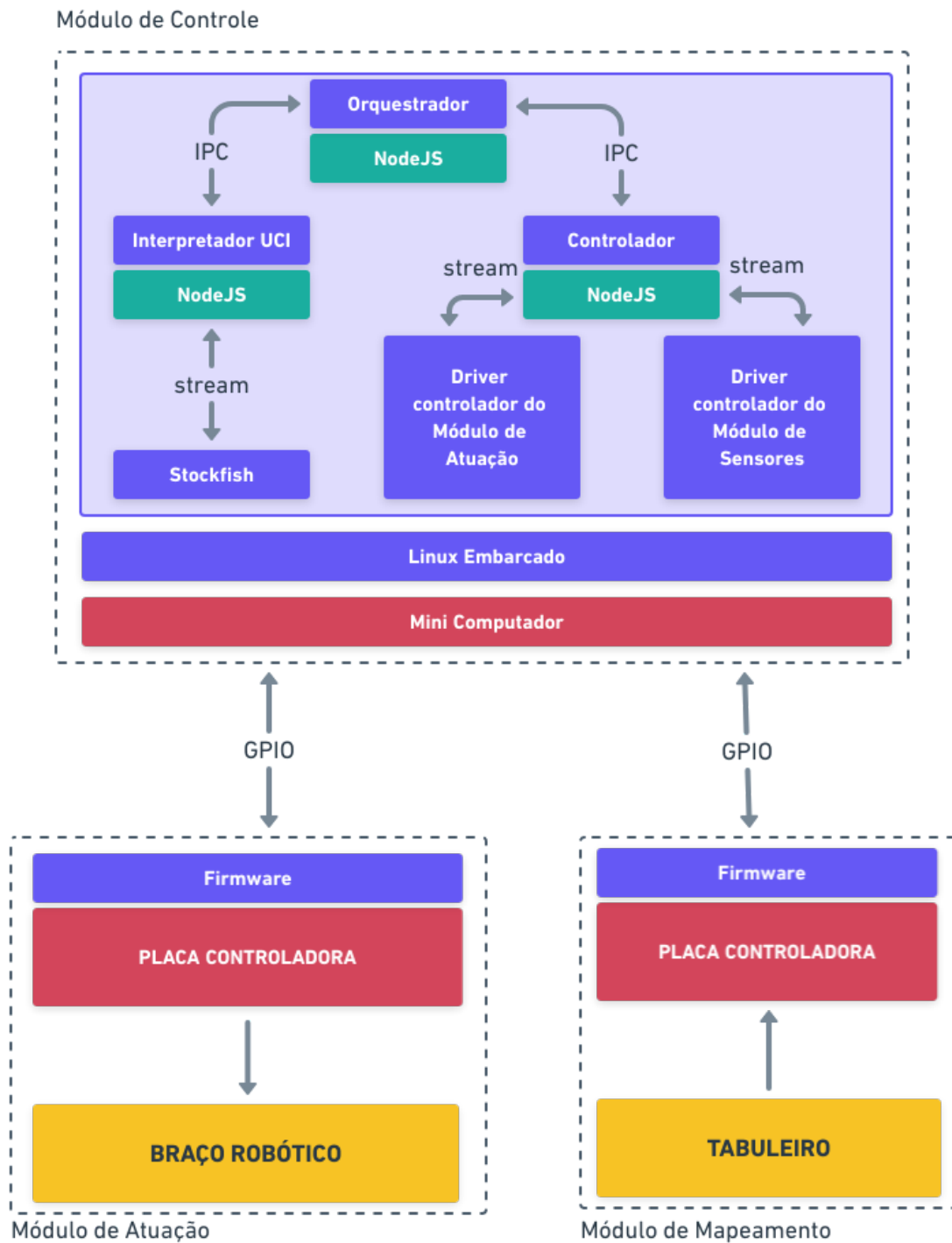
Fonte: Autoria Própria

Sendo assim, o fluxo do diagrama em blocos, apresentado pela Figura 1, pode ser compreendido mediante a descrição de cada um destes blocos. Em suma, a direção das setas indica que o sistema é arquitetado em uma topologia de malha fechada, onde o **mecanismo atuador** realizará a movimentação das peças no **tabuleiro**. O mapeamento do tabuleiro será feito por meio dos **sensores**, no qual, repassarão as informações aos **sistemas computacionais**, para a realização do cálculo de melhor jogada. Esse processo se repete durante toda a interação de uma partida.

Em seguida, o esquema geral da arquitetura do sistema é apresentado na Figura 2. A imagem em questão representa graficamente as entidades que irão interagir entre si em forma de blocos. Estes blocos além de possuírem funções e fluxos bem definidos, indicam os modos de comunicação, direção das informações, sentido de atuação e hierarquia. O Quadro 2 apresenta o significado das cores utilizadas em cada um dos blocos.

Além disso, na Figura 2 também é apresentado, por meio de linhas tracejadas de cor preta, os três principais módulos que devem compor o sistema. O primeiro módulo (bloco tracejado no topo) é responsável pelo processamento pesado de dados, controle geral e cálculo de jogadas. O segundo módulo (bloco tracejado na parte inferior esquerda) tem a finalidade de controlar motores e demais atuadores embutidos no braço robótico. O terceiro módulo (bloco tracejado na parte inferior direita) tem como objetivo mapear o tabuleiro e identificar o movimento das peças.

Figura 2 - Diagrama da arquitetura completa do sistema.



Fonte: Autoria Própria

Todos os três módulos apresentados na Figura 2 possuem projetos e construções independentes, ou seja, são desenvolvidos de maneira separada, em placas de circuito diferentes e fazem uso de processadores dedicados. Portanto, a troca de mensagens entre os

três módulos se dá por meio da conexão física entre eles através dos pinos de GPIO (*General Purpose Input and Output*), presentes nos processadores de cada um dos módulos e do protocolo de comunicação.

Além disso, a fim de garantir uma padronização e um melhor entendimento da arquitetura do sistema, os módulos 1 (Controle), módulo 2 (Atuação) e módulo 3 (Mapeamento), foram respectivamente denominados de: i) Módulo de Controle, ii) Módulo de Atuação e iii) Módulo de mapeamento.

Quadro 2 - Relação de cores, blocos e nichos tecnológicos.

COR	NICHO TECNOLÓGICO	BLOCOS
Amarelo	Mecânica	Braço robótico, Tabuleiro
Vermelho	Eletrônica	Placas controladoras do Módulo de Sensores e do módulo de Atuadores, Mini Computador
Azul	Software	Firmwares, Linux Embarcado, Stockfish, Drivers, Interpretador UCI, Controlador e Orquestrador
Verde	Software	Instância da <i>runtime</i> Nodejs

Fonte: Autoria Própria

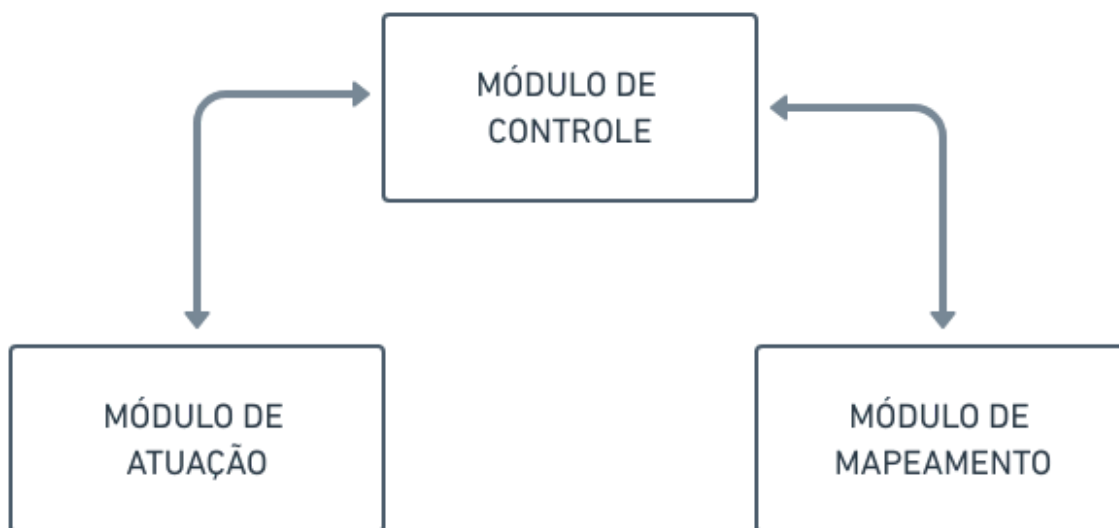
4.1.2 COMUNICAÇÃO DOS MÓDULOS

Tendo em vista que a arquitetura do sistema possui uma natureza distribuída, com as responsabilidades sendo divididas entre os três módulos principais (controle, atuação e mapeamento), a fim de garantir o funcionamento adequado, será de grande importância que estes módulos se comuniquem de forma eficaz.

Com isso, como observado na Figura 3, os módulos de **atuação** e de **mapeamento** não se comunicam diretamente. Isso acontece porque não é da natureza da aplicação que estes dois módulos troquem mensagens entre si. O módulo de controle funciona, além de tudo, como uma ponte, pois consegue informar ao módulo de atuação a posição de uma determinada peça no tabuleiro para que este consiga calcular as coordenadas, e

consequentemente, possa atuar na movimentação desejada. Do mesmo modo, o módulo de controle se comunica com o módulo de mapeamento a fim de obter informações sobre as posições das peças, com o objetivo de realizar o cálculo da melhor jogada.

Figura 3 - Ligação entre os módulos.



Autor: Autoria Própria

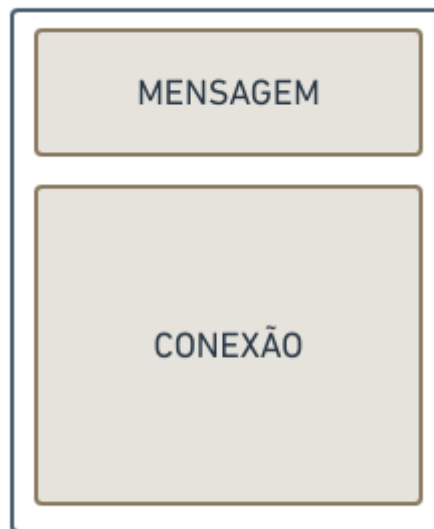
Além disso, a comunicação entre o módulo de controle e os módulos de atuação e de mapeamento possui mensagens padronizadas com significados específicos que podem realizar ações, validações e testes de funcionamento.

Sendo assim, na Figura 4 são apresentadas as camadas do modelo de comunicação entre os módulos. A compreensão deste modelo é semelhante ao que acontece com os modelos TCP/IP e OSI, que possuem camadas que apresentam diferentes funções no processo de comunicação entre dispositivos conectados. O modelo de comunicação representado na Figura 4 apresenta duas camadas, sendo elas:

- **Camada de Conexão:** Responsável pela ligação física entre os módulos, ou seja, esta camada irá padronizar as características relacionadas ao tipo do barramento (serial ou paralelo), bem como o protocolo de comunicação utilizado para realizar a troca de dados (UART, I2C, SPI e etc). A escolha do protocolo a ser adotado fica a critério do projetista mediante características técnicas dos processadores embarcados nos módulos.
- **Camada de Mensagem:** Responsável pelo formato dos dados que trafegam no barramento. Esta camada será fundamental para que as aplicações embarcadas nos

módulos (*firmwares*, SO e programas), sejam capazes de receber e enviar informações e, com isso, consigam desempenhar suas tarefas de maneira adequada. Esta camada possui independência total da camada de conexão, ou seja, mediante qualquer protocolo físico e tipo de barramento utilizado para fazer a conectividade dos módulos, o formato do pacote de dados seguirá sempre o mesmo padrão.

Figura 4 - Camadas da comunicação entre os módulos.



Fonte: Autoria Própria

4.1.3 MÓDULO DE ATUAÇÃO

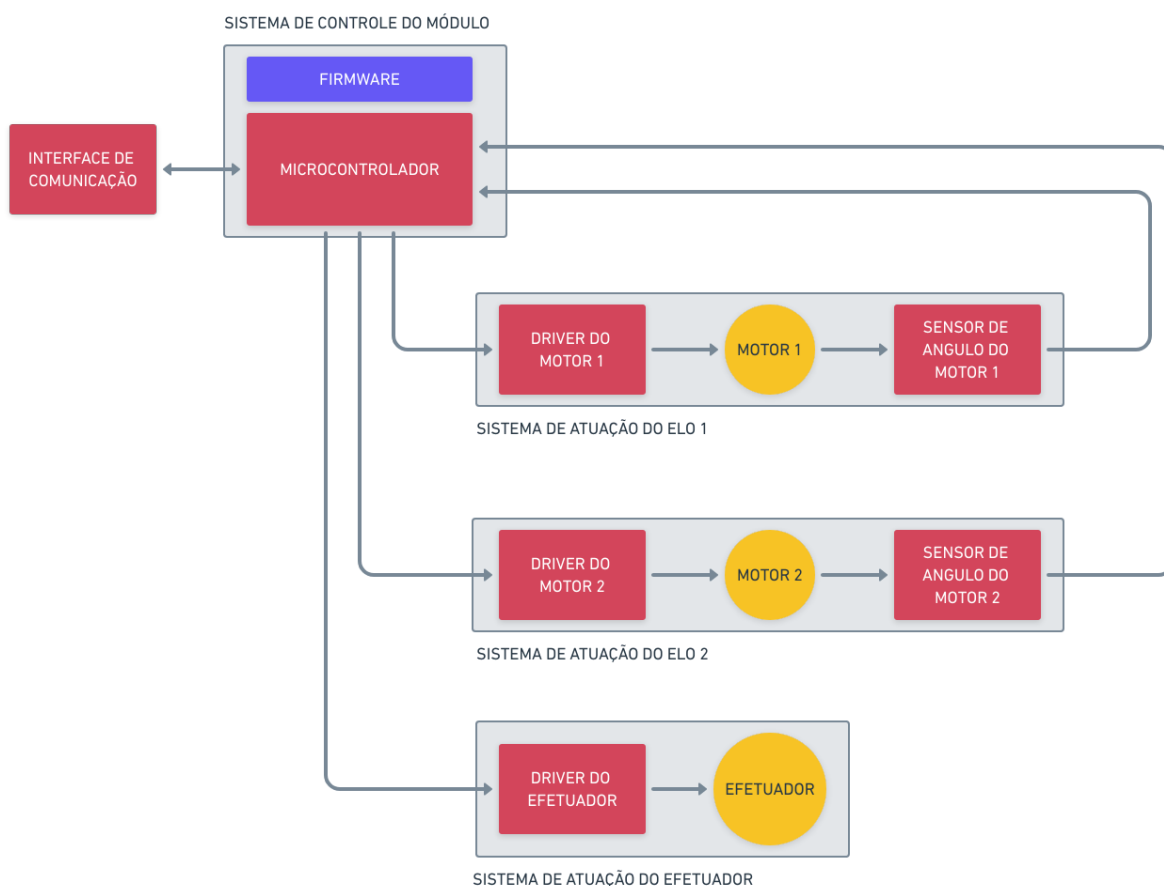
Como visto anteriormente, a arquitetura do sistema robótico jogador de xadrez é subdividida em três módulos com funcionalidades bem definidas. De maneira geral, o módulo de atuação é responsável por comandar todo o mecanismo do braço robótico. Ou seja, é competência deste módulo o controle de:

- **Motores:** estarão instalados nas juntas, a fim de direcionar os elos na posição espacial que se deseja atuar.
- **Sensores:** verificam, com base nos ângulos dos eixos dos motores, se o braço robótico está conseguindo alcançar o ponto espacial especificado.

A arquitetura do módulo de atuação pode ser vista com mais detalhes na Figura 5. A arquitetura será composta por um sistema geral de controle do módulo, pelos sistemas de atuação dos elos 1 e 2, o sistema de atuação do efetuator e a interface de comunicação.

O sistema de controle do módulo é formado por um microcontrolador que possui a quantidade de portas de entradas e saídas necessárias para interagir com os *drivers* e com a interface de comunicação, juntamente com o *firmware* gravado em sua memória *flash*. Portanto, este sistema se caracteriza como o núcleo do módulo, pois a unidade computacional é embarcada na placa de controle.

Figura 5 - Arquitetura do módulo de atuação.



Autor: Autoria Própria

Além disso, o módulo de atuação possui dois sistemas gêmeos que são utilizados para controlar os motores que ficam inseridos nas juntas do mecanismo e formam o braço robótico. Esses dois sistemas se comunicam com o microcontrolador por meio dos pinos de I/O em malha fechada. Em suma, os *drivers* fazem a interface entre o microcontrolador e os motores, fornecendo-lhes a potência necessária para fazer girar os seus eixos e, consequentemente, o respectivo elo da junta a qual o motor pertence.

O sistema de atuação do efetuador é responsável por capturar as peças no tabuleiro. Esse dispositivo pode ser um eletroímã, caso das peças serem movimentadas por meio

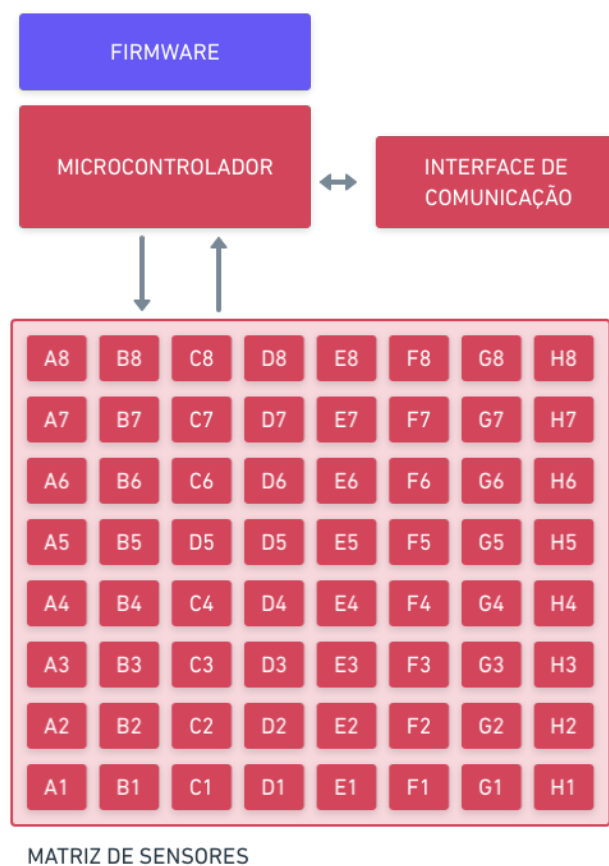
magnético, ou uma garra mecânica. Além disso, esse subsistema (captura das peças) se caracteriza por ser de malha aberta, ou seja, o microcontrolador não recolhe um *feedback* para saber se a ação de captura foi executada.

4.1.4 MÓDULO DE MAPEAMENTO

O mapeamento do tabuleiro é uma tarefa muito importante para que o módulo de controle consiga realizar o processamento das jogadas feitas pelo braço robótico. Dessa maneira, o módulo de mapeamento será responsável por fazer a interface entre o módulo de controle e os sensores presentes no tabuleiro de xadrez.

A arquitetura do módulo de mapeamento pode ser observada na Figura 6. O sistema consiste em uma matriz de sensores localizada embaixo do tabuleiro e se conecta ao microcontrolador, embarcado na placa, por meio dos pinos de GPIO. Além disso, o módulo conterá uma interface de conexão, de modo a possibilitar a troca de mensagens com o módulo de controle.

Figura 6 - Arquitetura do módulo de mapeamento.



Autor: autoria própria

A matriz será composta por 64 sensores magnéticos ligados em uma malha. Cada casa do tabuleiro irá possuir um sensor, ou seja, cada casa poderá ser mapeada pelo endereço do sensor. Todas as peças possuem ímãs em sua base, isso significa que quando uma determinada peça se encontra sobre a casa, o sensor consegue detectar a presença do campo magnético e, com isso, marcar a presença desta peça.

4.1.5 MÓDULO DE CONTROLE

Todos os módulos que compõem a arquitetura do sistema possuem características fundamentais. Todavia, o módulo de controle, quando comparado aos demais, se destaca pela capacidade de processamento superior. Isso acontece porque é neste módulo que serão desempenhadas as tarefas que exigem mais recursos computacionais como, por exemplo, executar um sistema operacional complexo, bem como processar uma *chess engine* completa.

As camadas do módulo de controle são ilustradas na Figura 7. Cada uma dessas camadas podem ser descritas como:

- **Programas:** são as aplicações com finalidades bem definidas e que executam em processos separados. Além disso, os programas, no contexto da arquitetura do sistema, se caracterizam como *softwares*, a citar: i) *chess engine Stockfish*, que será utilizada para calcular as jogadas da partida, ii) *drivers* para fazer a comunicação com os outros módulos e iii) programas auxiliares para invocar e controlar os subprocessos.
- **S.O (Linux Embarcado):** sistema operacional com *kernel* Linux, otimizado para ser executado em arquiteturas ARM (*Advanced RISC Machine*) e que é, por natureza, capaz de gerenciar processos, recursos compartilhados e capaz de abstrair detalhes de implementação de *hardware* para os programas.
- **Mini Computador:** sistema computacional que possui uma capacidade de processamento maior que um microcontrolador, pois possui múltiplos núcleos ARM Cortex. Apesar de ser um SoC (*System On-Chip*), ou seja, a maior parte dos periféricos ficará embutida no *chip* e o processador do Mini Computador fará uso de memórias principais em circuitos integrados distintos.

Figura 7 - Camadas do Módulo de Controle.



Autor: Autoria Própria

4.1.6 ÁRVORE DE PROCESSOS

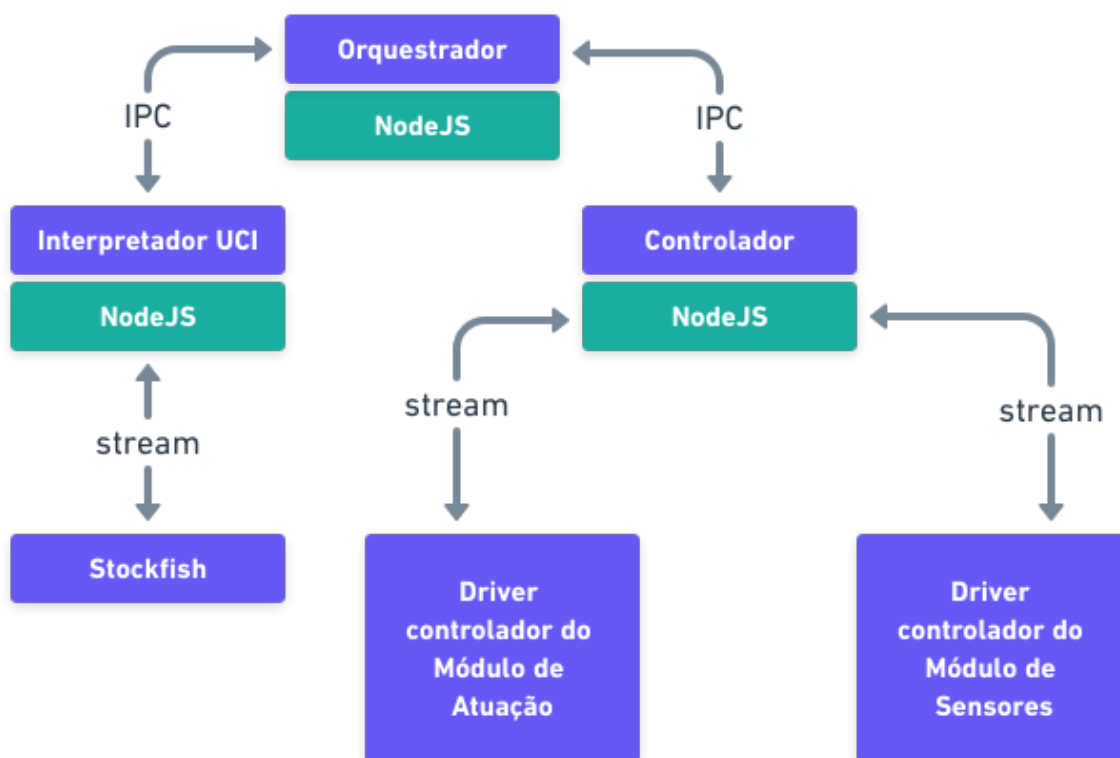
O módulo de controle proposto por esse trabalho possui uma organização complexa, com elevado poder de processamento, se comparado com os módulos anteriores. Esse módulo será capaz de executar uma distribuição *Linux* simplificada, com intuito de funcionar em um processador ARM. Devido a essas características técnicas, o Mini computador foi escolhido como *hardware* base do módulo de controle.

Desenvolver um motor de xadrez razoável, bem como fazer isso em um microcontrolador, exigiria tempo e esforço desnecessários, visto que já existem soluções completas, testadas e que se mostraram eficientes em outras aplicações. Por esse motivo, o módulo de controle utiliza um sistema operacional capaz de executar a *chess engine* desejada e, com isso, adiantar o processo de prototipação.

Por meio da Figura 8, será possível visualizar uma representação detalhada da árvore de processos dos programas que serão executados no módulo de controle, a fim de possibilitar, do ponto de vista computacional: i) o recebimento do status atual do tabuleiro, ii) o cálculo da melhor jogada, e iii) o repasse dessas informações para o módulo de atuação.

A árvore será composta por 6 processos, dos quais, as três primeiras aplicações serão escritas em Javascript e interpretadas pela *runtime Node*. A escolha dessa linguagem se justifica pela simplicidade de se lidar com o gerenciamento de subprocessos, intercomunicação de processos e fluxo de dados serializados.

Figura 8 - Árvore de processos.



Fonte: Autoria Própria

Uma vantagem de se utilizar árvores de processos está em dividir as responsabilidades com vários programas distintos e com a possibilidade de se utilizar diferentes tecnologias para a escrita destes programas. A comunicação entre eles se dá pelo fluxo de dados trocados via IPC (comunicação entre processos com base em eventos) ou fluxo de dados (*stream*). Sendo assim, os processos apresentados podem ser descritos como:

- **Orquestrador**: programa feito em Javascript e interpretado pelo *Node*, cuja responsabilidade se resume em gerenciar os demais processos e fazer um canal de troca de informações entre os *drivers* que realizam a interface entre os módulos de atuação e mapeamento com o *stockfish*.
- **Interpretador UCI**: programa intermediário entre o motor de xadrez e o Orquestrador. Para esse fato seja possível, o interpretador UCI cria uma instância do *stockfish* como subprocesso e direciona suas entrada e saída padrão (*stdin* e *stdout*) para canais de *stream* (recurso *pipe* do javascript) que permitem aplicar filtros (funções) que interpretam (lêem e escrevem) comandos UCI do motor de xadrez.

Além disso, como o próprio Interpretador UCI é um processo filho do Orquestrador, sua comunicação com o processo pai se dá pelo recurso de IPC.

- **Controlador:** programa responsável por fazer a ligação entre o processo orquestrador e os *drivers* dos módulos de atuação e mapeamento. Como os *drivers* são escritos em uma linguagem mais próxima da máquina, não existe o suporte a IPC nativamente. Portanto, ao instanciar os *drivers* como subprocessos, o Controlador direciona as entradas e saídas padrão de seus processos filhos, a fim de viabilizar a comunicação.
- **Stockfish:** programa escrito em C++ projetado para atuar como um motor de xadrez leve, dinâmico e com algoritmos de cálculos de jogadas eficientes. A interação com esse *software* se dá por meio da entrada e saída padrão (teclado e monitor) e tem como base a interpretação de comandos definidos na UCI. No contexto da árvore de processos (ver Figura 8), o Stockfish tem o fluxo de dados da sua entrada e saída padrão desviados para o processo pai.
- **Drivers do Módulo de Atuação:** programa escrito em C com o objetivo de utilizar bibliotecas nativas do sistema operacional, visando abstrair a conexão com os pinos de GPIO do Mini Computador. Com isso, esse *driver* consegue escrever e ler dados em determinados pinos de IO (*Input* e *Output*) que se conectam diretamente com o módulo de atuação.
- **Driver do Módulo de Sensores:** programa que possui as mesmas características do *Driver* de Módulo de Atuação. Todavia, sua utilização está direcionada na abstração e comunicação com o módulo de mapeamento de tabuleiro.

4.1.7 MAPEAMENTO DO TABULEIRO

Para que a partida de xadrez entre o dispositivo robótico e o jogador humano possa ocorrer normalmente, o sistema precisa conseguir identificar, com precisão, a posição das peças dispostas no tabuleiro. Isso pode acontecer de duas formas: i) câmeras e algoritmos de visão computacional ou ii) rede de sensores abrangendo todo o tabuleiro.

Um sistema de mapeamento baseado em visão computacional tem a vantagem principal de não necessitar de uma série de equipamentos sob o tabuleiro para identificar a disposição das peças. Para que o sistema funcione como esperado, será necessário que uma

câmera esteja apontada para o tabuleiro, de forma que este se enquadre perfeitamente em seu campo de visão.

Todavia, um sistema baseado em visão computacional possui algumas dificuldades relacionadas ao seu projeto e desenvolvimento. Quando levado em conta alguns requisitos como custos dos insumos necessários para produção ou a complexidade na implementação de algoritmos baseados em técnicas de inteligência artificial, uma câmera pode não ser a melhor opção. Todavia, vale ressaltar a ideia de que embarcar uma câmera pode deixar o sistema com um aspecto físico mais limpo e até mais preciso.

O sistema de mapeamento de campo utilizado na arquitetura deste trabalho é composta por uma rede de sensores magnéticos situados embaixo do tabuleiro e que detectam as peças. Tendo em vista esse contexto, na medida em que as peças se movem no tabuleiro, os sensores conseguem capturar a presença ou ausência de campo magnético e, com isso, determinar a posição correta.

Sendo assim, a arquitetura proposta por este trabalho descreve o processo de mapeamento nos seguintes passos:

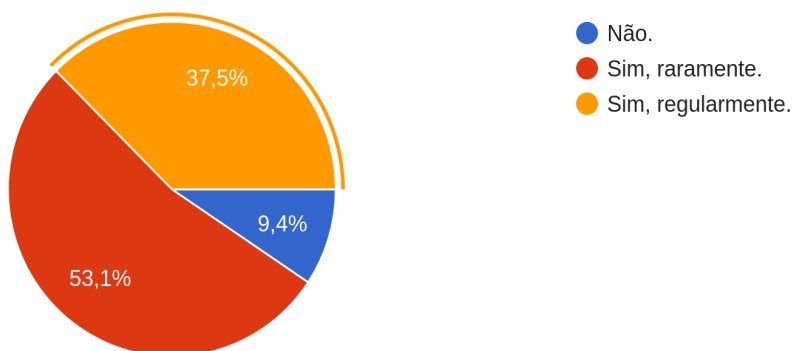
1. Ao iniciar a partida, as peças são depositadas em suas posições originais no tabuleiro.
2. Após isso, o módulo de mapeamento de campo realiza, por meio dos sensores, uma varredura no tabuleiro, a fim de montar uma matriz binária de posição, com base na presença ou ausência de campo magnético causado pelas peças.
3. Com a matriz de posição concluída e refletindo o status do tabuleiro, a partida é autorizada e o processo de leitura dos sensores é repetido todas as vezes que um lance acontecer. Esse procedimento será utilizado na geração de uma nova matriz de posição e comparação com anterior, a fim de verificar em qual casa do tabuleiro aconteceu a movimentação.
4. Quando o módulo de mapeamento, por conta da análise de matrizes posição, detectar uma alteração, essa informação será enviada até o módulo de controle para que este possa processar a melhor jogada.

4.2 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO

Para validar a ideia proposta por esse trabalho, foi realizada uma pesquisa que contou com a participação de 32 voluntários. A execução da pesquisa se deu por meio de um formulário no *Google Forms*, com o objetivo de verificar o contato dos participantes com jogos em geral, medir o conhecimento específico sobre o jogo de xadrez, identificar o grau de interação que têm ou já tiveram com robôs e avaliar a possibilidade do uso de um dispositivo robótico associado a prática do xadrez.

Quando questionados sobre a constância para praticar algum jogo, seja físico ou digital, conforme ilustrado no Gráfico 1, 53,1% dos participantes informaram que raramente jogam, 37,5% informaram que jogam regularmente e 9,4% disseram que não têm costume de praticar algum jogo. Quando questionados sobre a preferência de alguma categoria de jogo, 34,4% afirmaram que preferem jogos digitais, 28,1% optam por jogos de tabuleiro e 37,5% dizem preferir as duas categorias.

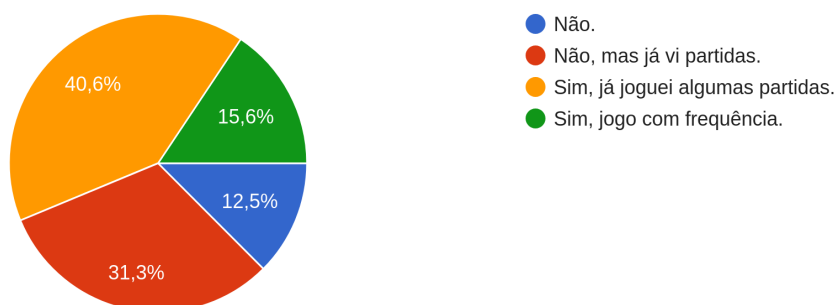
Gráfico 1 - Constância na prática de algum jogo.



Fonte: Autoria Própria

Em seguida, os participantes foram questionados sobre a familiaridade com o jogo de xadrez. Conforme apresentado no Gráfico 2, os números obtidos por esse questionamento refletem que 40,6% já jogaram algumas partidas, 31,3% já assistiram partidas, mas não jogaram, 15,6% jogam com frequência e 12,5% informaram que nunca jogaram.

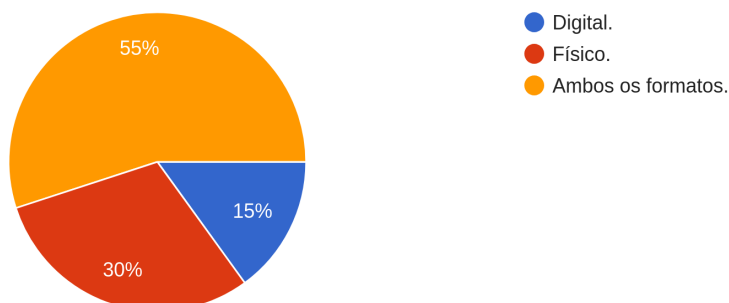
Gráfico 2 - Familiaridade com o jogo de xadrez.



Fonte: Autoria Própria

Quando questionados sobre quais formatos mais lhe agradavam para poder praticar xadrez, como apresentado no Gráfico 3, 30% dos participantes responderam que possuem preferência pelo formato físico, 15% informaram que possuem interesse pelo formato digital e 55% dos voluntários disseram que preferem os dois formatos para poder praticar o jogo de xadrez.

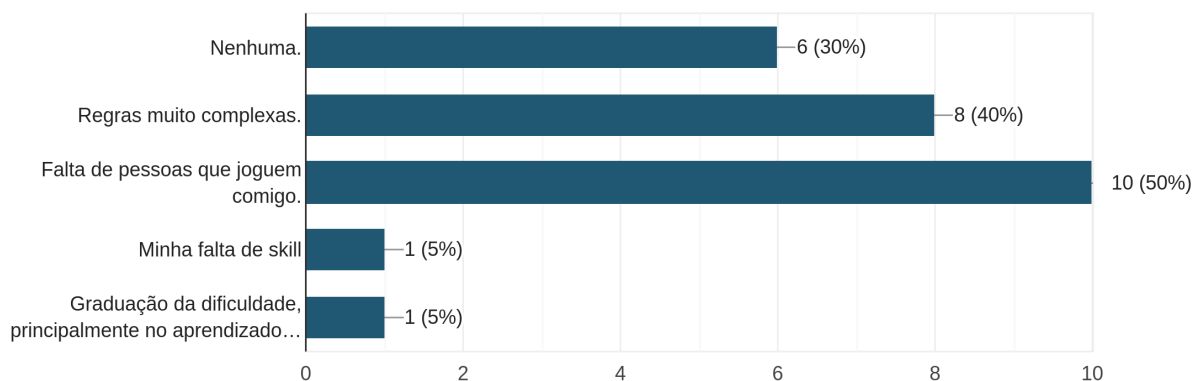
Gráfico 3 - Formato de jogo de xadrez.



Fonte: Autoria Própria

Ao serem questionados sobre as principais dificuldades enfrentadas que os desmotivam na prática do jogo de xadrez, baseando-se no Gráfico 4, 50% responderam que a falta de pessoas para jogar junto é o fator que mais dificulta a prática. Para 40% dos participantes, as regras se caracterizam por serem muito complexas, o que torna a prática difícil. Enquanto isso, 30% informaram que não sentem dificuldade e outros 10% informaram que motivos pessoais justificam essa dificuldade.

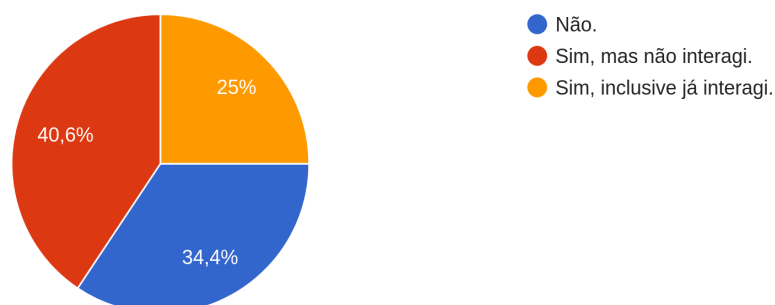
Gráfico 4 - Dificuldades na prática do xadrez.



Fonte: Autoria Própria

Quando perguntado sobre o grau de interatividade com robôs, conforme ilustrado no Gráfico 5, 40,6% afirmaram ter tido contato, porém não interagiram. Já 34,4% disseram que nunca tiveram nenhum tipo de contato com algum robô, enquanto os outros 25% informaram que já tiveram contato e que interagiram com dispositivos robóticos.

Gráfico 5 - Interatividade com robôs.



Fonte: Autoria Própria

Quando questionados sobre a ideia de um robô jogador de xadrez chamar sua atenção, 90,6% dos entrevistados afirmaram que sim, uma plataforma robótica que seja capaz de jogar xadrez, chama a atenção. Para 9,4%, um dispositivo como esse não provocaria uma curiosidade para a prática do jogo.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao analisar os resultados, nas perguntas direcionadas aos jogos e sua constância entre os participantes, pode-se perceber que a maioria não possui o hábito de jogar com frequência. Porém, praticam essa atividade de forma esporádica. Todavia, levando em conta os que jogam com frequência, fica claro a preferência por jogos digitais, mesmo que de maneira sutil.

Tendo em vista que a maioria dos participantes tiveram pouco ou nenhum contato com dispositivos robóticos, a ideia de poder interagir com esses elementos enquanto praticam o jogo de xadrez, foi quase um consenso entre eles. Com isso, a maioria dos participantes se mostrou interessado em poder jogar xadrez com um robô.

Por fim, o questionário foi aberto para que os participantes pudessem contribuir com sugestões e melhorias na ideia de poder jogar xadrez com um oponente robótico. Sendo assim, algumas sugestões se destacam como: i) a possibilidade de desafiar um oponente humano em outra localidade, onde, o sistema robótico serviria como ponte para interação dos dois indivíduos e ii) possibilitar que o robô atue como um tutor, corrigindo e sugerindo movimentos, de modo a facilitar o entendimento e prática do jogo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver a proposta de uma arquitetura de um sistema robótico voltado ao ensino e prática do jogo de xadrez. Para que isso fosse possível, foi feito um estudo do funcionamento dos componentes de um robô, bem como a aplicação desses conceitos em um dispositivo que pudesse interagir de forma prática com um jogador humano. Como resultado, foi obtida uma estrutura formada por blocos que representam os três nichos tecnológicos necessários para a construção de um robô e que foram dispostos em três módulos, denominados: i) Módulo de Controle, ii) Módulo de Atuação e iii) Módulo de Mapeamento.

Além disso, foi realizada uma pesquisa para colher informações sobre o interesse do público geral a respeito da prática do jogo de xadrez. A pesquisa foi de fundamental importância para poder validar a aceitação do conceito de uma plataforma robótica capaz de interagir com um ser humano por meio do jogo de xadrez. Com isso, as estatísticas apontaram um nítido interesse pela temática.

Tendo em vista os resultados alcançados, acredita-se que o presente trabalho tenha cumprido com os objetivos propostos nos objetivos específicos e, conseqüentemente, tenha atendido de forma satisfatória o objetivo geral. Apesar deste trabalho não ter gerado com resultado um protótipo funcional, a arquitetura proposta fornece uma boa base para que se construam modelos e protótipos.

Mediante a isso, como trabalhos futuros, pretende-se construir um protótipo funcional para ser aplicado em testes com alunos da rede pública de ensino. Para isso, será desenvolvido cada um dos três módulos propostos na arquitetura. Serão confeccionados os modelos mecânicos do braço robótico, seus elos e juntas, bem como toda a parte estrutural que sustenta o sistema. Além disso, deverá ser projetado as placas de circuito impresso dos módulos de atuação e mapeamento, assim como suas interfaces com sensores e drivers e conexões com o Mini Computador. Por fim, deve ser desenvolvido toda a camada de software necessária para garantir a interação e dinamicidade do sistema.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rita de Cássia. Jogos de Tabuleiro na Escola. **Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor**, [s. l.], 2010.

ALVES, Gabriel James. **Internet das coisas robóticas aplicadas ao ensino de programação**. 2019. Monografia (Licenciatura em Computação) - Universidade Federal do Paraná, [S.l.], 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/68727/GABRIEL%20JAIME%20ALVES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 9 mar. 2021.

BARRIENTOS, Antonio *et al.* **Fundamentos de robótica**. 2. ed. Madrid: McGraw-Hill, 2007.

CARRARA, Vladmir. INTRODUÇÃO A ROBÓTICA INDUSTRIAL. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INEP**, [s. l.], 2015. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3K5JPL8>. Acesso em: 9 mar. 2021.

CORTEZ, A. T. C. O lugar do homem na natureza. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 22, p. 29-44, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47218/50954>. Acesso em: 3 mar. 2021.

CUSTÓDIO, José Antônio Loures; AFIUNE, Pepita. O ETHOS RELIGIOSO NA ANTIGUIDADE: A ORIGEM RITUALÍSTICA DOS JOGOS DE TABULEIRO. **FAP**, [s. l.], v. 20, 2019.

CUNHA, Alessandro *et al.* Sistemas Embarcados. **Saber Eletrônica**, São Paulo, v. 1, n. 414, p. 23-39, jul. 2007.

D'AGOSTINI, Dr. Orfeu Gilberto. **Xadrez Básico**. 5. ed. rev. Santana de Parnaíba: Ediouro, 2002. 614 p.

GEHLEN, Salete Marcoline. Jogos de Tabuleiro: Uma forma lúdica de ensinar e aprender. **Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor**, [s. l.], 2013.

GONZALEZ, Bolivar Ribeiro. **Aplicação do xadrez no processo educacional de 1º grau**. 1997. Trabalho de conclusão (Bacharelado em Licenciatura de Educação Física) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 1997. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/60639/BOLIVAR%20RIBEIRO%20GONZALEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 9 mar. 2021.

KASPAROV, Garry. **Meus grandes predecessores**. 2. ed. Santana de Parnaíba: Solaris, v.1, 2016.

KOHN, K.; MORAES, C. H.. O impacto das novas tecnologias na sociedade: conceitos e características da Sociedade da Informação e da Sociedade Digital. **Intercom – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação**, [s. l.], v. 20, 2007.

LEITE, L. C. **Jogos Eletrônicos Multi-plataforma Compreendendo as Plataformas de Jogo e Seus Jogos Através de uma Análise em Design**. Dissertação (Mestrado em Artes) - Programa de Pós-Graduação em Artes, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 271. 2006.

MARQUES, V. A. *et al.* Xadrez nas Escolas: uma ferramenta pedagógica interdisciplinar para educação física. **Corpo e Movimento: Educação Física**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 36-45, 2008.

MATUSZEK, C.; MAYTON, B.; AIMI, R.; DEISENROTH, M.; BO, L.; CHU, R.; KUNG, M.; LEGRAND, L.; SMITH, J.; FOX, D. Gambit: An autonomous chess-playing robotic system. **IEEE International Conference On Robotics And Automation**, p. 1-7, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ICRA.2011.5980528>. Acesso em: 9 mar. 2021.

OLIVEIRA, E. R. **O Uso de Engines para o Desenvolvimento de Jogos Eletrônicos**. Monografia (Graduação em Ciências da Computação) - Bacharelado em Ciências da Computação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista, p. 68. 2013.

PANNAIN, Ricardo *et al.* **Organização básica de computadores e linguagem de montagem**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 424 p.

PERALTA, D. A. *et al* (org.). **Robótica e processos formativos: da epistemologia aos kits**. Porto Alegre: Fi, 2019.

PRESSMAN, R. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 7ª ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2011. 780p.

RIDLEY, Mark. **Evolução**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. Henrique Ferreira, Luciane Passaglia, Rivo Fischer.

SAHA, Subir Kumar. **Introducción a la Robótica**. Noida: McGraw-Hill, 2008.

SANTOS, M. S. *et al.* Combinação de jogos de tabuleiro com jogos digitais no processo de aprendizagem. **SBC – Proceedings of SBGames**, [s. l.], 2016.

SOUSA, F.; GONÇALVES, J.; LEITÃO, P. Sistema Robotizado de Xadrez. **Instituto Politécnico de Bragança**, p. 1-6, 2004. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/1825/1/SistemaRobotizadoXadrez04_ESTiG_IPB.pdf Acesso em: 3 de mar. 2021.

SOUZA, J.; MARCHI JÚNIOR, W. O "Match do século" e a "História esportiva do xadrez": Uma interpretação sociológica. **Centro de Pesquisa em Esporte, Lazer e Sociedade**, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 399-411, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/motriz/v19n2/17.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2021.

TEIXEIRA, M. S.; FIGUEIREDO, J. S. **Recreação para todos: Manual teórico-prático**. São Paulo: Obelisco, 1970.

ANEXO A - QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO

QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO PARA MECANISMO ROBÓTICO JOGADOR DE XADREZ

1. Informe a sua idade { texto livre }

2. Você costuma jogar?

- a) Não.
- b) Sim, raramente.
- c) Sim, regularmente

3. Sobre as categorias de jogos, qual você prefere?

- a) Jogos digitais (Ex. God of War, Free Fire, Dota).
- b) Jogos de tabuleiro (Ex. Damas, Xadrez, Banco Imobiliário).
- c) Ambas as categorias.

4. Você já ouviu falar do jogo de xadrez?

- a) Sim.
- b) Não.

5. Você sabe jogar xadrez?

- a) Não.
- b) Não, mas já vi partidas.
- c) Sim, já joguei algumas partidas.
- d) Sim, jogo com frequência.

6. Você já jogou algum jogo de tabuleiro (Ex: Dama) no formato digital? Qual foi a sua experiência?

- a) Não.
- b) Sim, mas não gostei.
- c) Sim, jogo com frequência.

7. Você já jogou xadrez em quais formatos?

- a) Digital (Ex: xadrez do windows).
- b) Físico.
- c) Ambos.

8. Qual formato você mais gostou de jogar xadrez?

- a) Nenhum.
- b) Físico.
- c) Digital.

9. O que motivou sua preferência pelo formato físico ou digital? Explique.

10. Caso você jogue, quais as principais dificuldades na prática do jogo de xadrez?

- ☐ Nenhuma.
- ☐ Regras muito complexas.
- ☐ Falta de pessoas para jogar comigo.
- ☐ Dinâmica de jogo não me atrai.
- ☐ Outro { texto livre }

11. Caso não jogue, quais as principais dificuldades desestimulam a prática e aprendizagem do xadrez?

- ☐ Nenhuma.
- ☐ Regras muito complexas.
- ☐ Falta de pessoas para jogar comigo.
- ☐ Dinâmica de jogo não me atrai.
- ☐ Outro { texto livre }

12. Você já teve contato com robôs?

- a) Não.
- b) Sim, mas longe.
- c) Sim, de perto.

12.1 Se SIM, com qual frequência você teve ou tem contato com um robô?

- a) Uma vez.
- b) Poucas vezes.
- c) Muitas vezes.
- d) Sempre.

13. A ideia de ter um componente robô no jogo de xadrez chama a sua atenção?

- a) Sim.
- b) Não.

14. Você se sentiria estimulado ao jogar e/ou aprender a jogar xadrez com um robô?

- a) Sim.
- b) Não.

14.1 Caso SIM, quais características você elenca como fatores principais:

- ☐ Abordagem divertida.
- ☐ Não precisa de outra pessoa.

[] Praticidade por poder jogar a qualquer momento.

[] Outro { texto livre }.

15. Em uma escala de 1 (dispensável) a 5 (Fundamental), como você avalia as funcionalidades do robô jogador de xadrez?

a) Selecionar nível do jogo (Ex: fácil, médio, difícil).

b) Alertas (luminosos, sonoros e etc) que informem os status do jogo (Ex: Jogador entra em xeque, uma luz amarela é acesa).

c) Escolher entre jogar ou não uma partida com tempo.

d) Jogar em modo treino, onde o robô atuaria como um tutor, corrigindo e sugerindo as melhores jogadas.

16. Qual funcionalidade você acha que o robô jogador de xadrez deveria ter e que não foi destacada acima? { texto livre }