

Tópicos em Engenharia de Computação da UFRB



Camila Bezerra da Silva
João Carlos Nunes Bittencourt
André Luiz Carvalho Ottoni
José Valentim dos Santos Filho
(Orgs.)



Editora UFRB

Tópicos em Engenharia de Computação da UFRB

REITOR

Fábio Josué Souza dos Santos

VICE-REITOR

José Pereira Mascarenhas Bisneto

SUPERINTENDENTE

Rosineide Pereira Mubarack Garcia

CONSELHO EDITORIAL

Ana Lúcia Moreno Amor

Josival Santos Souza

Luiz Carlos Soares de Carvalho Júnior

Maurício Ferreira da Silva

Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade

Robério Marcelo Rodrigues Ribeiro

Rosineide Pereira Mubarack Garcia (presidente)

Sirlara Donato Assunção Wandenkolk Alves

Walter Emanuel de Carvalho Mariano

SUPLENTE

Carlos Alfredo Lopes de Carvalho

Marcílio Delan Baliza Fernandes

Wilson Rogério Penteadó Júnior

COMITÊ CIENTÍFICO:

(Referente ao Edital nº. 001/2020 EDUFRB – Coleção Sucesso
Acadêmico na Graduação da UFRB)

Camila Bezerra da Silva

João Carlos Nunes Bittencourt

André Luiz Carvalho Ottoni

José Valentim dos Santos Filho

EDITORA FILIADA À



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Camila Bezerra da Silva
João Carlos Nunes Bittencourt
André Luiz Carvalho Ottoni
José Valentim dos Santos Filho
(Orgs.)

Tópicos em Engenharia de Computação da UFRB



Editora UFRB

Cruz das Almas - Bahia /2021

Copyright©2021 by Camila Bezerra da Silva, João Carlos Nunes Bittencourt, André Luiz Carvalho Ottoni, José Valentim dos Santos Filho.

Direitos para esta edição cedidos à EDUFRB.

Projeto gráfico, capa e editoração eletrônica:

Antonio Vagno Santana Cardoso

Imagem de capa

Lúcio José de Souza Barbosa

Revisão e normatização técnica:

José Valentim dos Santos Filho

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

T674

Tópicos em engenharia de computação da UFRB /
Organizadores: Camila Bezerra da Silva... [et al.]...
Cruz das Almas, Bahia: EDUFRB, 2021.
140p.; il.

Esta Obra é parte da Coleção Sucesso Acadêmico
na Graduação da UFRB Volume V.

ISBN: 978-65-87743-24-0.

1.Ciência da computação – Sistema de
gerenciamento. 2.Computação – Informática.
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro
de Ciências Exatas e Tecnológicas. II.Silva, Camila
Bezerra da. III.Bittencourt, João Carlos Nunes.
IV.Ottoni, André Luiz Carvalho. V. Santos Filho, José
Valentim dos. VI.Título.

CDD: 004.414

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).
(os dados para catalogação foram enviados pelos usuários via formulário eletrônico).

Livro publicado em 28 de maio de 2021



Editora UFRB

Rua Rui Barbosa, 710 – Centro
44380-000 Cruz das Almas – Bahia/Brasil

Tel.: (75) 3621-7672

editora@reitoria.ufrb.edu.br

www.ufrb.edu.br/editora

www.facebook.com/editoraufrb

Agradecimentos

A todos os autores que contribuíram com as suas pesquisas para o desenvolvimento desta obra. Também ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, bem como aos docentes que trabalharam no comitê acadêmico. Por fim, ao ilustrador/*designer* Lúcio José de Souza Barbosa, que contribuiu com a estrutura da obra, e na elaboração de imagens para a capa.

Apresentação

Camila Bezerra da Silva
João Carlos Nunes Bittencourt
André Luiz Carvalho Ottoni
José Valentim dos Santos Filho

O livro apresenta uma seleção de Trabalhos de Conclusão de Curso, projetos de pesquisa e de inovação tecnológica realizados por discentes e docentes do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no curso de Engenharia de Computação.

A Engenharia de Computação integra conhecimentos da Ciência da Computação e da Engenharia Elétrica, como desenvolvimento de sistemas de *software* e *hardware*, implementação de arquiteturas de computadores, aplicações na área de robótica, inteligência artificial, redes de computadores, dentre outros.

A demanda no mercado profissional por Engenheiros(as) de Computação é alta e crescente, tanto no Brasil como em outros países. Diversos artigos jornalísticos e canais da mídia destacam a necessidade de um número maior de profissionais de Engenharia de Computação para a geração de produtos tecnológicos e inovadores na indústria, bem como em outros segmentos da sociedade.

Na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, o curso de Engenharia de Computação foi criado em 2012. Desde então, projetos de pesquisa, de extensão, de inovação e empresajúnior foram criados e desenvolvidos por discentes e docentes do curso. Os trabalhos oriundos de tais iniciativas resultaram em trabalhos de relevância para o desenvolvimento tecnológico da região do Recôncavo da Bahia, além de artigos científicos publicados em conferências e revistas, nacionais e internacionais.

De maneira mais específica, a seleção de capítulos deste livro apresenta trabalhos alocados em importantes áreas de aplicação, tais como inteligência artificial aplicada à educação, controle de processos agrícolas, análise da usabilidade de dispositivos móveis e sistemas de comunicação inteligentes.

No primeiro capítulo *Um sistema de gerenciamento de dados em RSSF* é apresentado o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de dados em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) aplicado ao controle de processos agrícolas. O protótipo desenvolvido foi utilizado para monitoramento de dados em estufas mantidas pelo Núcleo de Engenharia de Solos da UFRB.

No segundo capítulo *Avaliação de usabilidade de aplicativos de doações: uma abordagem híbrida* os autores propõem uma abordagem híbrida para avaliação de aplicativos. Para isso, foram analisados os principais aplicativos de doação com base em diretrizes de usabilidade a partir de *guidelines* elaborados pelas empresas Apple e Google, assim como também por recomendações de usuários.

No terceiro capítulo *Sistema tutor inteligente baseado em teorias pedagógicas* é apresentado o desenvolvimento de um sistema tutor inteligente baseado em teorias pedagógicas de aprendizagem e sistemas multiagentes. Os autores propõem um módulo tutor capaz de definir estratégias de ensino personalizadas a um indivíduo, sem auxílio de um agente humano.

No quarto capítulo *Sensoriamento espectral em redes cognitivas* apresenta uma avaliação de desempenho entre técnicas de sensoriamento espectral cooperativo em redes cognitivas, voltadas para o padrão WRAN IEEE 802.22. Os resultados obtidos mostraram que a adoção de métodos de cooperação entre rádios cognitivos proporciona aumento de eficiência e robustez dos métodos avaliados.

Desejamos a todos uma ótima leitura!

Sumário

Um sistema de gerenciamento de dados em RSSF

Alex S. Santos, José Valentim dos Santos Filho..... 13

Avaliação de usabilidade de aplicativos de doações: uma abordagem híbrida

Tiago Almeida Santos, João Soares de Oliveira Neto..... 35

Sistema tutor inteligente baseado em teorias pedagógicas

Eliabe Nascimento Silva, Camila Bezerra da Silva 65

Sensoriamento espectral em redes cognitivas

Joel Eugênio Cordeiro Júnior, José Valentim dos Santos Filho 99

Sobre os autores 137

Um sistema de gerenciamento de dados em RSSF

Alex S. Santos
José Valentim dos S. Filho

Introdução

A comunicação sem fio possui grande importância para a troca de informação entre pessoas e por dispositivos eletrônicos (ROCHOL, 2018). Sua popularização ocorreu a partir da evolução da tecnologia empregada e também devido à redução de custos dos equipamentos necessários para este tipo de comunicação. Apesar das dificuldades enfrentadas no uso de estas redes, tais como interferências eletromagnéticas e ocorrências de redes ocultas, as redes sem fio apresentam um futuro promissor, pois garantem uma maior flexibilidade se comparadas com as redes cabeadas (TEIXEIRA, 2008).

No ano de 2003 as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) foram eleitas pela *National Science Foundation* (NSF) dos Estados Unidos como uma das seis principais áreas de pesquisa em redes. Em 2006 as RSSF foram identificadas pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC) como um dos principais desafios em computação para o período de 2006-2016. Tais acontecimentos comprovam que sistemas compostos por esta tecnologia apresentam características presentes nas principais tendências de pesquisas da atualidade (CARVALHO, 2012). É possível encontrar na literatura, diversas aplicações das RSSF. Dentre eles temos um sistema de Monitoramento Ambiental através de RSSF de Baixo Custo (SILVA; FRUETT, 2013), dentre outros.

Aliando estes cenários, este capítulo tem por objetivo propor um software de gestão para o monitoramento de dados obtidos através de RSSF. Dentre os dados monitorados destacam-se a temperatura, umidade e luminosidade. Para a construção da rede foi utilizado o protocolo de comunicação Zigbee, o qual especifica um conjunto de padrões para a comunicação sem fio entre dispositivos eletrônicos (Zigbee, 2020). Este padrão foi adotado devido ao seu baixo custo facilitando assim a sua utilização em aplicações de monitoramento.

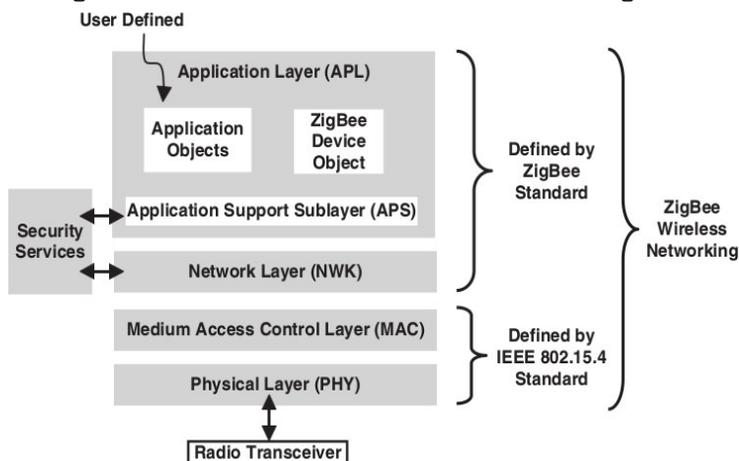
A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho proposto consistiu numa revisão bibliográfica para levantar os trabalhos relacionados e os principais conceitos das RSSF. Após a revisão, foram realizadas entrevistas com os pesquisadores responsáveis pela utilização do sistema visando levantar os requisitos do sistema proposto. De posse dos requisitos, foram desenvolvidos protótipos de interface para tornar o sistema mais agradável para o usuário. Após a etapa de prototipação, iniciou-se a etapa de desenvolvimento do software, que culminou na primeira versão de teste do sistema que foi utilizada para monitoramento de dados no Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS).

Redes de Sensores sem Fio

Uma rede de sensores é formada por elementos de sensoriamento, processamento computacional e de comunicação que permitem medir, monitorar e reagir a fenômenos de interesse. O fenômeno pode ser classificado como sistemas físicos, químicos ou biológicos (LOPES, 2011). Tais redes se diferem das utilizadas por computadores normais pois, possuem uma grande quantidade de nós distribuídos, limitação de energia e devem ter a capacidade de autoconfiguração e adaptação, devido às dificuldades relacionadas à falha e perda de nós (LOUREIRO et al., 2003).

O padrão Zigbee (IEEE 802.15.4) surgiu da união entre a *Zigbee Alliance* e a *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Tal padrão especifica um conjunto de regras para a comunicação sem fio entre dispositivos eletrônicos, visando baixo consumo de energia, baixo custo e infraestrutura reduzida. A Figura 1 apresenta as camadas pertencentes a este protocolo.

Figura 1 – Camadas de Protocolo de Rede sem Fio Zigbee.



Fonte: Farahani (2008).

O padrão Zigbee opera na faixa não licenciada de 2,4 Ghz *Industrial, Scientific and Medical* (ISM), também sendo possível observar redes operando na faixa de 868 MHz na Europa e 915 MHz nos EUA (CARVALHO, 2012). Em uma RSSF ZigBee, cada dispositivo tem sua função bem estabelecida, para que a rede possa funcionar de maneira satisfatória. Os dispositivos possuem classificações lógicas e físicas. A classificação lógica está relacionada à função que um determinado dispositivo desempenha na rede, que pode ser: coordenador, roteador ou um dispositivo final. A classificação física está relacionada às características de hardware do dispositivo. Os dispositivos de Funções Completas (do inglês *Full Function Device*

– FFD) são aqueles que possuem maior robustez e consumo de energia, sendo mais utilizados como dispositivos coordenadores ou roteadores.

Já os Dispositivos de Funções Reduzidas (do inglês *Reduced Function Device* – RFD) são mais simples e de baixa complexidade, sendo geralmente utilizados como dispositivos finais (TEIXEIRA, 2008).

As funções de cada um destes dispositivos são resumidas como:

Coordenador: Tem a função de inicializar a rede a partir do reconhecimento de nós, distribuir endereços e manter o funcionamento da rede caso um dos nós pare de funcionar. Geralmente, são implementados a partir de FFD's;

Roteador: Tem a função de encaminhar pacotes a partir da seleção do caminho. Tais dispositivos possuem a capacidade de aumentar a área de abrangência e alcance da rede, a partir da amplificação do sinal durante o envio de dados. Geralmente, também são implementados a partir de FFD's;

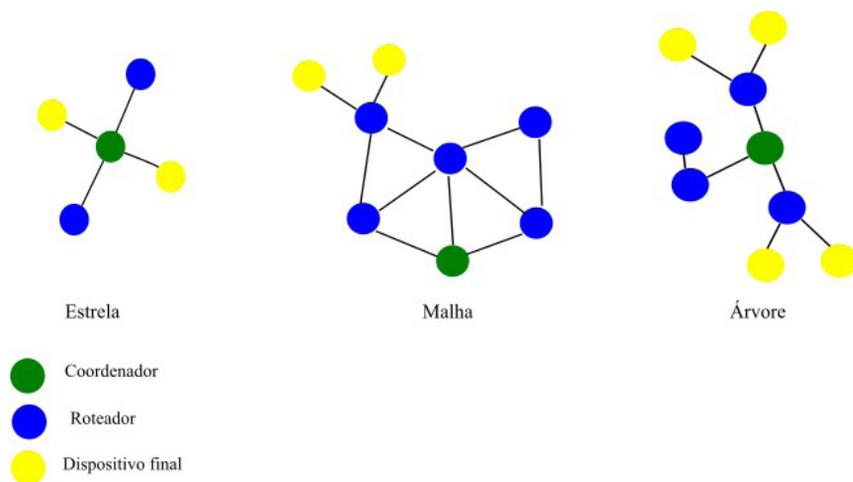
Dispositivo Final: Dispositivos que estão ligados aos sensores que monitoram o fenômeno em questão. Por serem mais simples, podem ser implementados em qualquer dispositivo.

Topologias ZigBee

A formação de uma rede ZigBee é gerenciada pela camada de rede. Esta rede se encaixa em uma das duas topologias especificadas pelo padrão IEEE 802.15.4, na forma de Estrela ou Ponto a Ponto. Na topologia Estrela, cada nó da rede pode se comunicar apenas com o coordenador (FARAHANI, 2008). Na topologia Ponto a Ponto, cada dispositivo pertencente à mesma rede pode se comunicar entre si. Nesse tipo de rede, qualquer dispositivo do tipo FFD pode estabelecer a função de coordenador.

A topologia Ponto a ponto pode ser dividida em duas topologias: Malha e a Árvore. Em uma topologia do tipo Malha, o coordenador apenas realiza o registro de entrada e saída dos dispositivos da rede. Assim a rede se organiza de maneira a otimizar a transferência de dados uma vez que os roteadores têm liberdade para transmitir as informações necessárias. Na topologia Árvore tem-se um aglomerado de topologias Malha que tem um coordenador como responsável pela rede como apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Topologia Zigbee.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Trabalhos relacionados

Na pesquisa sobre trabalhos relacionados foram encontradas implementações de sistemas para monitoramento de parâmetros agrícolas semelhantes ao proposto neste trabalho. Dentre eles, citaremos os que mais se assemelham ao trabalho proposto. André e Ghini (2014) propõe redes de sensores sem fio para o monitoramento e controle de processos agrícolas. O principal objetivo do trabalho

proposto por eles é controlar os impactos do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre as plantações. Para isso, o autor realiza um experimento chamado *Free Air Carbon-dioxide Enrichment* (FACE).

Para André e Ghini (2014), às redes de sensores conseguem acompanhar as mudanças nas medições de forma satisfatória uma vez que ela não oferece tempos de atrasos significativos na comunicação. Além disso, o autor pretende aplicar os circuitos, interfaces e softwares desenvolvidos para um sistema para um sistema de irrigação.

Outro trabalho que utiliza as RSSF é o proposto por Teixeira (2008). Neste trabalho é empregada uma rede de sensores sem fio para monitorar dados de temperatura. Neste sistema, a rede de sensores envia os dados para um software que por sua vez os armazena em um banco de dados.

Tais dados podem ser acessados por um *Web Service*, permitido assim a gerência por meio de um dispositivo celular.

As principais características que este sistema apresenta são: capacidade de envio de mensagem por SMS caso a temperatura ultrapasse um valor limite, acesso a sistema de informação através da Internet e um sistema de monitoramento remoto desenvolvido para dispositivos móveis que permite a geração de gráfico e relatórios.

Silva (2011) propõe uma aplicação que faz uso das redes de sensores sem fio, com o objetivo de diminuir o tempo de desenvolvimento das aplicações que necessitam de monitoramento remoto. Para isso, ele desenvolve um sistema composto de hardware, firmware e software. O software tem como principal função salvar as informações coletadas em um banco de dados.

Na maioria dos trabalhos citados, observa-se maior ênfase na estrutura da rede de sensores, não ficando evidente a mesma preocupação no desenvolvimento do software, levantamento de requisitos e testes do sistema. Um diferencial do trabalho ora proposto é que além de apresentar as características positivas encontradas na

utilização da rede de sensores sem fio como as citadas nos trabalhos relacionados, ele também está preocupado em desenvolver um software que tenha o engajamento do público-alvo para que a solução possa ser validada de maneira satisfatória.

Requisitos do sistema

Iniciando o desenvolvimento da aplicação, foi realizado um levantamento de requisitos, com o objetivo de colher as principais funcionalidades do sistema e também sua melhor forma de utilização. A busca foi realizada através de entrevistas com pesquisadores que têm a necessidade de realizar medições de dados como temperatura e umidade em casas de vegetação.

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com um pesquisador do NEAS intitulado P1 visando o sigilo do participante e deixando claro a utilização das informações para fins acadêmicos. Este pesquisador realiza experimentos nas casas de vegetação localizada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e tinha a necessidade de melhorar o controle das informações lidas pelos sensores. As entrevistas tiveram duração média de 15 (quinze) minutos e nelas foram apresentadas perguntas que são listadas considerando o seu maior grau de importância a seguir.

- P: O software vai medir várias vezes ou apenas uma vez. Quem executa a medição?
- R: “Dependendo da situação de três a quatro vezes ao dia. O pesquisador realiza a medição”.
- P: Os valores devem ser salvos?
- R: “Sim. Precisamos dos dados salvos para gerar relatório semanal”.

- P: O Software vai medir apenas um local ou pode medir outros locais?
- R: “Sim. É possível medir outros locais”.
- P: O software deve salvar as informações e exibir opções de manipulação de dados?
- R: “O mais interessante seria enviar os dados coletados para uma planilha eletrônica pois ela já oferece os recursos necessários para o tratamento da informação”.
- P: Quais dados devem ser coletados através da rede de sensores sem fio? Temperatura, umidade e luminosidade são importantes?
- R: “São dados importantes, mas também há a necessidade de coletar informações como pH, condutividade elétrica e outros”.

As entrevistas trouxeram aspectos que ajudaram a definir proposta de construção do sistema. Observou-se que o entrevistado manifestou interesses em novas tecnologias que pudessem não só facilitar o processo de coleta de dados, mas também substituir as tecnologias utilizadas. Tal medida ocasionaria uma redução nos gastos envolvidos no processo.

Na Tabela 1 são apresentadas as características consideradas mais importantes para a proposta inicial do sistema. Não são definidas como características fundamentais uma vez que o software pode sofrer um processo de evolução sendo necessário a adoção de novas características.

Tabela 1 – Requisitos levantados na entrevista.

Requisito	Descrição
Frequência de Coleta	A coleta de informação deve ser realizada por uma frequência estipulada pelo pesquisador.
Armazenamento de Dados	A aplicação deve possuir mecanismos de persistência de dados devido a importância dos mesmos e para a geração de relatórios.
Informação de localização	O software deve oferecer mecanismos para a identificação da localização do nó sensor.
Exportar dados	O software deve oferecer mecanismos para que os dados sejam exportados para arquivo de planilha eletrônica. Segundo o entrevistado P1, desta forma ele possui um maior controle sobre os dados, e pode utilizar todos os recursos fornecidos por esta ferramenta.

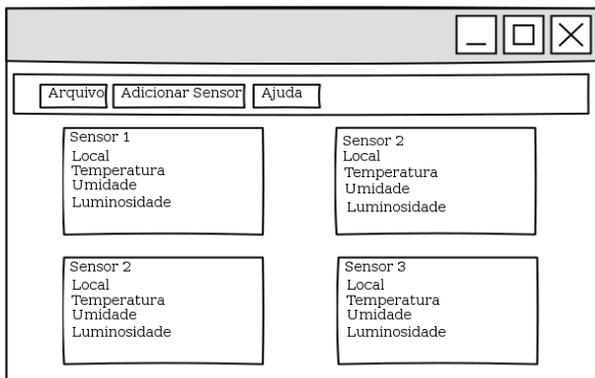
Fonte: Elaboração própria (2020).

Protótipos para a interface do sistema

Para a confecção do sistema foram desenvolvidos protótipos com o objetivo de avaliar a interface proposta. Esses protótipos possibilitaram uma adequação da interface às expectativas do usuário uma vez que ele esteve incluído no processo de construção.

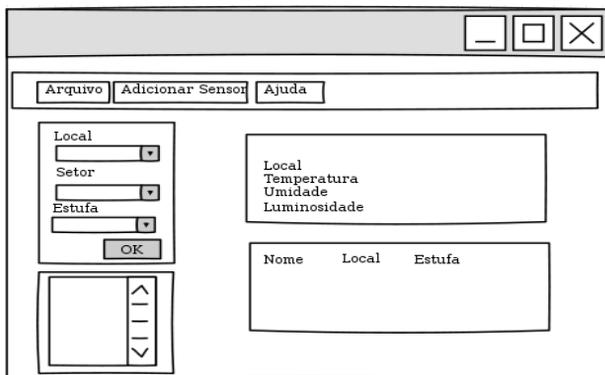
A Figura 3 apresenta o protótipo inicial da interface do sistema. Após discussões, foi evidenciado que este protótipo poderia causar dificuldade de visualização ao usuário, uma vez que informações de vários sensores eram exibidas ao mesmo tempo. Houve um consenso de que era melhor a interface oferecer mecanismo de seleção de sensores por localização reduzindo assim a quantidade de informações na tela. A Figura 4 apresenta a solução adotada.

Figura 3 – Proposta inicial de interface para o sistema de monitoramento com disposição dos menus e localização das informações coletadas dos nós sensores.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Figura 4 – Segunda proposta de interface concebida após sugestões de alteração na primeira proposta de interface.



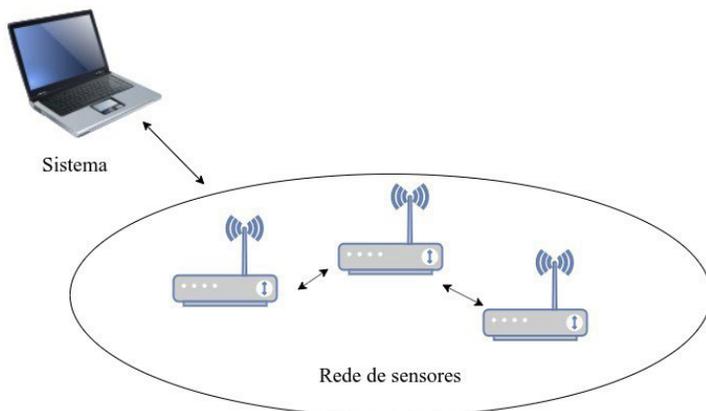
Fonte: Elaboração própria (2020).

Apresentação geral do sistema proposto

O sistema proposto consiste em uma ferramenta para o gerenciamento de dados das redes de sensores sem fio. A partir dele, o usuário pode cadastrar novos nós sensores, armazenar informações dos sensores em um banco de dados, organizar os sensores de

acordo com sua localização dentre outras características. A Figura 5 apresenta o modelo conceitual do sistema. Nas próximas seções são detalhadas as características de cada parte da arquitetura.

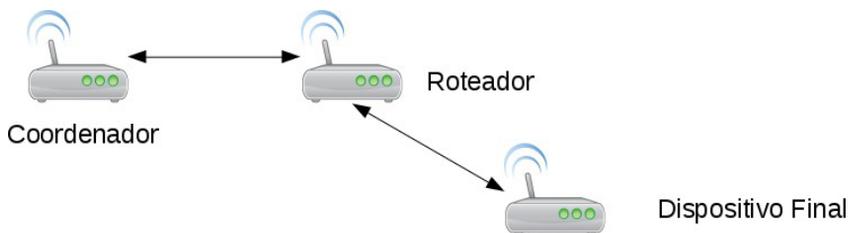
Figura 5 – Modelo conceitual do sistema proposto.



Fonte: Elaboração própria (2020).

A rede de sensores proposta neste trabalho foi implementada através do protocolo de comunicação Zigbee. Nos testes realizados, foram adotados um dispositivo coordenador, um roteador e um dispositivo final. A configuração de rede adotada foi a topologia em Árvore, uma vez que o dispositivo coordenador foi utilizado com o objetivo de estender o alcance da rede, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Disposição dos dispositivos utilizados para compor a rede de sensores sem fio adotado no sistema proposto.



Fonte: Elaboração própria, (2020).

Os dispositivos utilizados na rede de sensores são os desenvolvidos pela empresa *Digi International Inc.* A Figura 7 apresenta o dispositivo XBee™ sensor modelo ZB Bat /L/T/H (DIGI, 2019). Uma importante característica deste dispositivo é que ele vem configurado de fábrica como um dispositivo final e pode coletar informações como temperatura, umidade e luminosidade atendendo às algumas das informações que foram citadas como importantes na etapa de levantamento de requisitos.

Figura 7 – Nó sensor utilizado na coleta dos dados de temperatura, umidade e luminosidade nas casas de vegetação.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Na Tabela 2 são exibidas algumas das características do dispositivo citado acima.

Tabela 2 – Característica do Dispositivo ZB Bat /L/T/H DIGI, 2018.

Faixa de frequência	ISM 2.4 GHz
Faixa interna / urbana	40 m
Faixa de linha de visão externa	120 m

Fonte: Elaboração própria (2020).

A Figura 8 mostra o dispositivo coordenador desenvolvido pela mesma empresa Digi®. Este dispositivo está conectado a um adaptador CON-USBEE desenvolvido pela empresa ROGERCOM que tem a funcionalidade de permitir a comunicação serial entre o dispositivo XBee™ e o computador através da interface USB além de funcionar como uma fonte de alimentação (ROGERCOM, 2008).

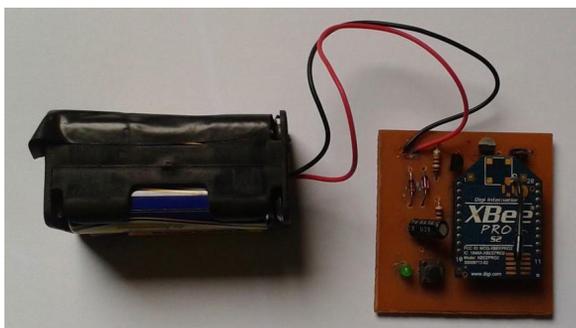
Figura 8 – Dispositivo coordenador conectado a uma placa CON-USBEE.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Por fim, a Figura 9 apresenta o dispositivo XBee™ modelo Pro S2 configurado como dispositivo roteador. Também é possível visualizar o circuito de condicionamento utilizado para alimentar o dispositivo.

Figura 9 – Dispositivo roteador e seu circuito de alimentação.



Fonte: Elaboração própria (2020).

A Tabela 3 apresenta as características do dispositivo XBee™ Pro S2, utilizado como roteador e como coordenador.

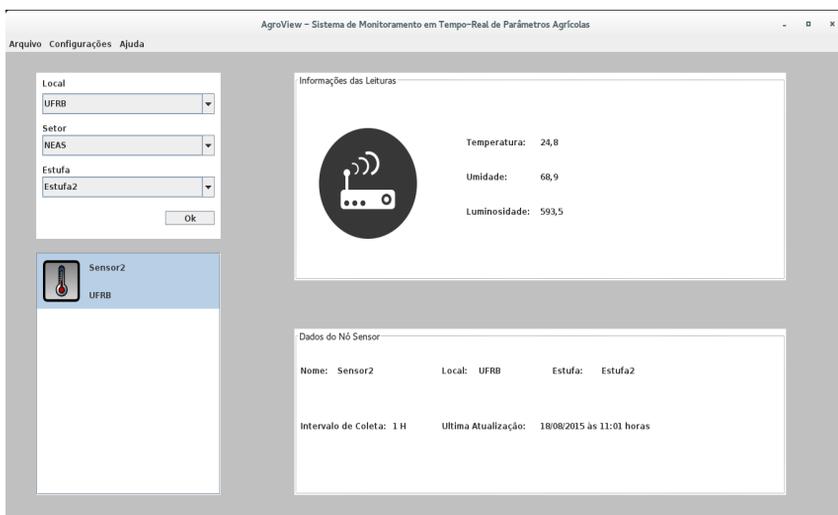
Tabela 3 – Característica do dispositivo XBee™ Pro S2.

Faixa de frequência	ISM 2.4 GHz
Faixa interna / urbana	90 m
Faixa de linha de visão externa	3200 m

Fonte: Elaboração própria (2020).

O sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java devido ao fato da API de desenvolvimento do XBee™ estar disponibilizada a partir desta linguagem. Para que o sistema funcione de forma adequada é necessário que o dispositivo coordenador esteja conectado à interface USB através da COM-USBEE. Desta forma o software conseguirá enviar e receber informações da rede de sensores. Ao acessar o software, o usuário é levado à tela inicial do sistema, visualizada na Figura 10.

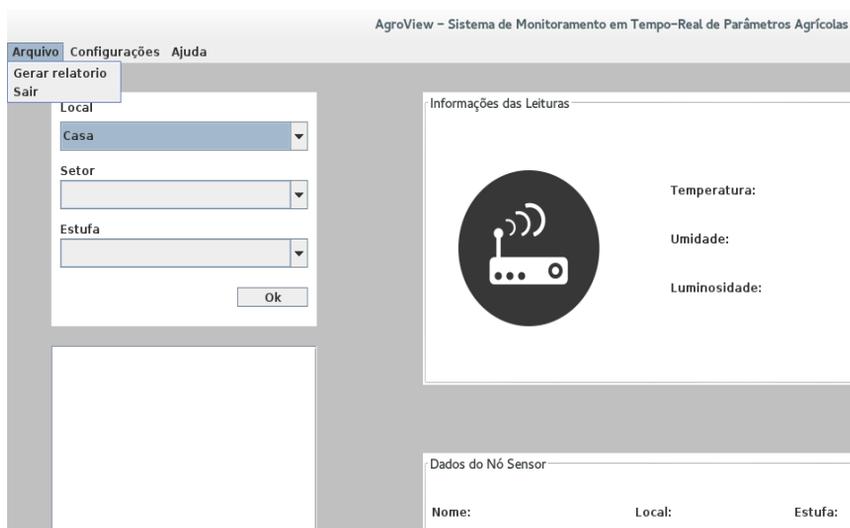
Figura 10 – Tela inicial do sistema.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Na barra de menu temos as opções Arquivo, Configurações e Ajuda. No menu Arquivo, temos os submenus Sair e Gerar relatório, onde é escolhido um sensor específico, e o programa gera uma tabela com os dados que ele coletou, tendo a opção de salvar estes dados em uma planilha.

Figura 11 – Menu arquivo.



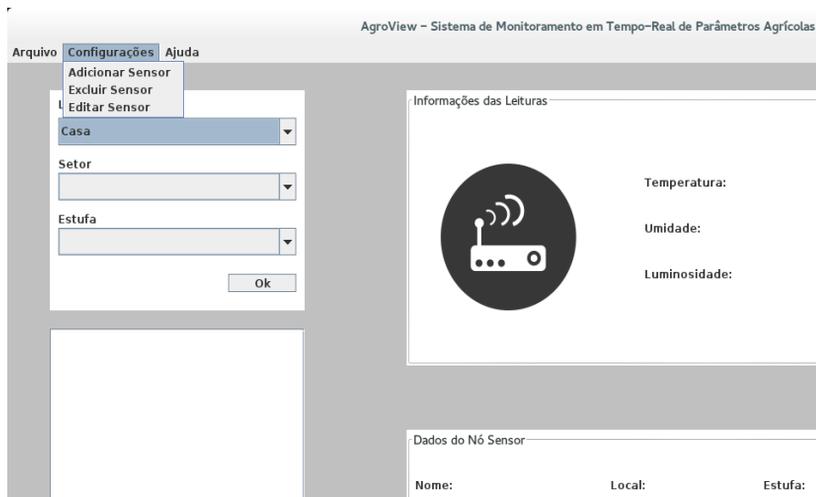
Fonte: Elaboração própria (2020).

No menu configurações, o usuário tem a opção de adicionar (onde se realiza uma busca por nós sensores que não estejam cadastrados à aplicação), Excluir (opção que remove um nó sensor cadastrado no software não o removendo da rede de sensores e fazendo com que suas informações não sejam mais solicitadas) e Editar um Nó sensor onde é possível alterar as suas informações. Ao adicionar um sensor, o usuário lhe atribui um nome, local, setor e tempo de coleta de dados do sensor.

Em Ajuda o usuário tem as opções Sumário e Sobre. Em sumário ele é levado a uma página HTML, onde é possível obter informações

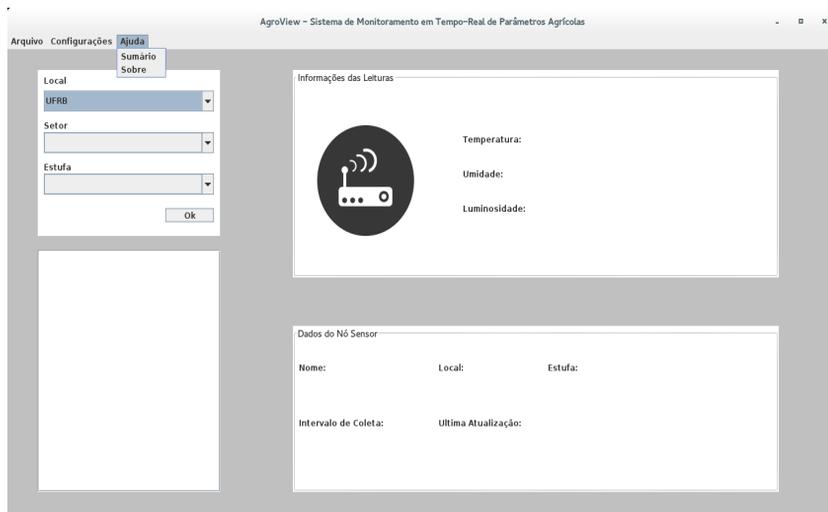
sobre a documentação do software. Em sobre, é exibido informações básicas sobre o desenvolvedor do software e informações de contato.

Figura 12 – Menu configuração.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Figura 13 – Menu ajuda.



Fonte: Elaboração própria (2020).

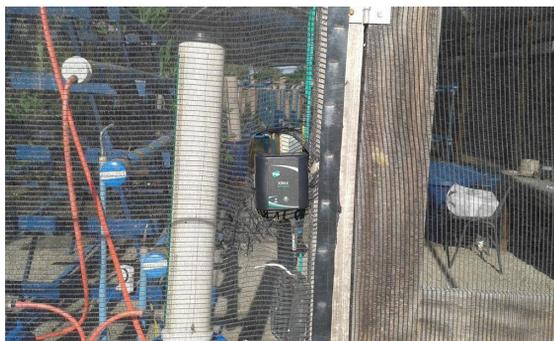
Após a etapa de desenvolvimento, foram realizados testes para verificar o comportamento do sistema, monitorando dados de temperatura, umidade e luminosidade em uma casa de vegetação gerenciado pelo NEAS. As casas de vegetação monitoradas são apresentadas na Figura 14 e Figura 15. O sensor foi posicionado na parte frontal da casa de vegetação, uma vez que essa posição promovia um fácil acesso ao dispositivo e reduzia as chances de perda de comunicação com o dispositivo roteador.

Figura 14 – Casas de vegetação monitoradas através da rede de sensores sem fio.



Fonte: Elaboração própria (2020).

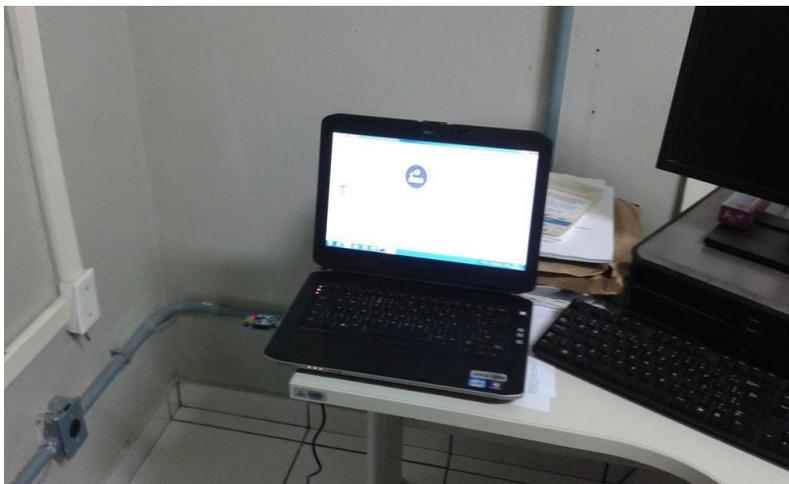
Figura 15 – Dispositivo final utilizado para o monitoramento dos dados de temperatura, umidade e luminosidade posicionado na parte frontal da casa de vegetação.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Na Figura 16 é possível visualizar o dispositivo coordenador conectado ao computador através da CON-USBEE.

Figura 16 – Computador responsável por receber e armazenar os dados coletados através da rede de sensores sem fio.



Fonte: Elaboração própria (2020).

A Tabela 4 mostra um conjunto de informações de temperatura, umidade e luminosidade, obtidas durante o período de testes.

Tabela 4 – Dados coletados pelo sistema durante o período de testes

Temperatura (°C)	Umidade (UR)	Luminosidade (IL) ¹
25	63	1.17302
29	56	1.19296
29	55	2.34604
29	55	2.34604

Fonte: Elaboração própria (2020).

Conclusão

O sistema proposto melhorou significativamente o processo de coleta e monitoramento dos dados obtidos dos sensores localizados

nas estufas de experimentos. Antes da introdução do sistema, os pesquisadores precisavam dirigir-se até o dispositivo sensor, conectar um computador e recuperar as informações monitoradas. O uso do sistema proposto eliminou tal requisito, uma vez que os dados coletados são enviados através da rede de sensores sem fio e salvos em um banco de dados. Além disso, o sistema se mostrou viável economicamente, uma vez que reduz os custos com os equipamentos utilizados. A partir da solução proposta, novas áreas podem ser monitoradas sem que haja um grande impacto econômico.

A maior dificuldade encontrada na realização dos testes esteve relacionada ao posicionamento do nó coordenador. Percebeu-se que o mesmo deveria ficar em um local próximo ao ambiente externo (Ex.: uma janela). Quando um computador estava localizado em um ambiente mais interno, notava-se dificuldades na obtenção de sinal dos demais sensores. Acredita-se que tal dificuldade pode ser contornada como a presença de mais dispositivos roteadores ou nó coordenador intermediário. Sugere-se, portanto, o estudo desta solução em trabalhos futuros.

Pôde-se notar, na condução do trabalho, a necessidade pela busca de novas tecnologias para sanar dificuldades encontradas na realização de experimentos no âmbito do monitoramento de casa de vegetação. A evolução deste sistema pode ajudar a reduzir tais dificuldades, devido ao seu custo reduzido.

A plataforma hardware/software proposta apresenta um grande potencial para evolução com a adoção de novos tipos de sensores e aumento das áreas de monitoramento. Assim, os seguintes itens são apresentados como perspectivas de trabalho futuro:

- Adicionar novos tipos de sensores na aplicação proposta, o que envolve a confecção de circuitos de condicionamento para obter o sinal destes sensores;
- Acrescentar mecanismos que permitam que a aplicação

atue sobre o fenômeno monitorado. Esta característica não foi abordada nas entrevistas realizadas, entretanto pode ser de grande importância em futuras aplicações;

- Oferecer soluções para situações em que um nó sensor deixe de funcionar, como a adoção de novos dispositivos roteadores ou coordenadores;
- Criar versões para smartphone e Web do software do sistema proposto;

Referências

DE CARVALHO, Fabrício Braga S. et al. Aplicações ambientais de redes de sensores sem fio. **Revista de tecnologia da informação e comunicação**, v. 2, n. 1, p. 14-19, 2012.

DIGI. **XBEE Sensors**. Hopkins, 2019. Disponível em: <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001537/references/r_xbee_sensors.htm>. Acesso em 19 de ago. 2020.

DIGI. **ZigBee RF Modules XBEE2, XBEEPRO2, PRO S2B User Guide**. Hopkins, 2018. Disponível em: <<https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FARAHANI, Shahin. **ZigBee wireless networks and transceivers**. Newnes, 2008.

LOUREIRO, Antonio A.F. et al. Redes de Sensores Sem Fio. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores** (SBRC), 2003. p. 179-226.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen. **Design de Interação**. Burlington: Bookman, 2005.

ROCHOL, Juergen. **Sistemas de Comunicação sem Fio: Conceitos e Aplicações**. Bookman Editora, 2018.

ROGERCOM. **Manual da placa CON-USBBEE**. Disponível em: <<https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/multilogica-files/datasheets/ManualUsbBee.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2020.

SILVA, Leandro H. D. S. **Desenvolvimento de uma Rede de Sensores Sem Fio Utilizando ZigBee para Aplicações Diversas**. 96f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

SALVIONI, M. S.; FRUETT, F. Monitoramento Ambiental através de Rede de Sensores Sem Fio de Baixo Custo. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, INPE**, 2013.

SOUSA, Marcelo Portela; LOPES, Waslon Terlizzie A. Desafios em Redes de Sensores sem Fio. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 1, n. 1, p. 41-47, 2011.

TEIXEIRA, Fábio; MIRANDA, Felipe Antônio; ALMEIDA, Charles Eduardo. Sistema de Monitoramento de Temperatura utilizando uma Rede de Sensores Sem Fio Padrão IEEE 802.15. 4. **Engenharia de Computação em Revista**, v. 1, n. 4, 2010.

TORRE-NETO, André; GHINI, Raquel. **Rede de Sensores Sem Fio para Monitoramento e Controle de Processos em Ambiente Agrícola**. Embrapa Instrumentação – Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.

ZIGBEE ALLIANCE. **What is Zigbee?**. Davis, 2020. Disponível em: <<https://zigbeealliance.org/solution/zigbee/>>. Acesso em 19 de ago. 2020.

Avaliação de usabilidade de aplicativos de doações: uma abordagem híbrida

Tiago Almeida Santos
João Soares de Oliveira Neto

Introdução

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) modificaram a maneira como estabelecemos relações pessoais, comerciais e até mesmo de entretenimento. Usando o celular, conseguimos manter contato com familiares e amigos, realizar compras, navegar por ruas e avenidas, encontrar amigos e negócios que estão nas redondezas de onde nos encontramos, efetuar transações financeiras, e fazer doações. O processo de doação foi simplificado e diversificado pela era a informação (GODINHO et al., 2007). Isso abre espaço para milhões de usuários doarem com alguns toques na tela do smartphone e um pouco do seu tempo.

Atualmente, há vários aplicativos que ajudam no processo de doação, esses são os aplicativos de doação que são um ramo específico da tecnologia social. As doações podem ser em dinheiro, objetos ou tempo. Existem aplicativos para *smartphones* (*apps*) que permitem fazer doações de cupons fiscais, quilômetros percorridos que são convertidos em dinheiro por patrocinadores, até mesmo o poder de processamento do seu celular, há também aqueles que exibem anúncios ao usuário e ele pode escolher para qual instituição o dinheiro fornecido pelos patrocinadores irá; exemplos destes são, respectivamente, *Cupong*¹, *Charity Miles*², *HTC Power To Give*³ e *Ribon*⁴.

1 <https://cupong.me/>

2 <https://charitymiles.org/>

3 <https://www.htc.com/us/go/power-to-give/>

4 <https://home.ribon.io/>

Em todos os gêneros de soluções tecnológicas que interajam com o usuário, um baixo nível de usabilidade no universo dos aplicativos *mobile* pode causar sentimentos negativos no usuário, como frustração. Em aplicativos de doações, pode ser que o usuário não retorne ao *app*, não o utilize para efetuar doações, desinstale do celular ou ainda tenha um sentimento negativo quanto à marca, projeto ou instituição (AELA.IO, 2020). Daí, surge a necessidade dos estudos de usabilidade.

Estudos de usabilidade são necessários em todas as etapas do projeto, também como após sua finalização, onde os desenvolvedores podem fazer as correções necessárias e os usuários passarão a ter experiências mais agradáveis com o *app*.

Além da usabilidade, outro conceito importante para sistemas interativos, como os *app*, é o de experiência do usuário (UX), aspecto que é ainda mais amplo que a usabilidade, pois UX compreende todas as questões relacionadas à interação dos usuários com a empresa, seus serviços, e produtos. O essencial para uma boa experiência do usuário é atender, de maneira holísticas, às necessidades dos usuários finais, sem complicações ou problemas. Logo após, deve-se levar em conta a simplicidade e elegância do produto, que devem transmitir satisfação por possuir ou usar (NORMAN; NIELSEN, 2020).

Segundo Nielsen (2012), é importante ter em mente a diferença entre usabilidade e UX. A usabilidade é um atributo da qualidade da UI que cobre:

- facilidade para os usuários realizarem tarefas básicas pela primeira vez;
- rapidez com que os usuários conseguem executar tarefas depois que aprendem como utilizar;
- facilidade com a qual os usuários voltam a desempenhar suas atividades eficientemente quando os usuários levam certo tempo sem usar o produto;

- erros cometidos pelos usuários, suas gravidades e a facilidade para se recuperar deles;
- agradabilidade do *design*.

Uma distinção que se faz necessário é aquela entre a experiência do usuário e a interface do usuário (UI). Apesar da UI ser uma parte extremamente importante para o *design*, ela por si só não é capaz de garantir uma boa UX (NORMAN; NIELSEN, 2020). A UI diz respeito apenas à interface de usuário em si e aos elementos que a compõem, enquanto a UX é muito mais ampla, sendo inclusive a interface de usuário um dos objetos de estudos da experiência do usuário.

A experiência do usuário abrange conteúdo, rotinas, tarefas, eficácia, eficiência, o próprio universo onde os usuários finais estão inseridos e os sentimentos do usuário quanto a aplicação.

Com a transição das doações para o meio virtual surgem duas questões importantes: “Qual o nível de usabilidade dos aplicativos de doação?” e “Quão boa é a experiência do usuário nos aplicativos de doação?”. Essa interação relacionada a usabilidade dá-se da leitura, da navegação, do layout, da disposição dos elementos na tela (e de sua ordem), dos estilos, dos sons e da acessibilidade. O conjunto desses itens é considerado em estudos de usabilidade. As questões relativas à UX dizem respeito à maneira de como o usuário se sente antes, durante e após o uso do *app*. Esse capítulo tem como objetivo fazer um levantamento do nível de usabilidade e da qualidade da experiência do usuário dos aplicativos de doações mais utilizados disponíveis da *Google Play Store* e na *App Store*.

Para análise e interpretação dos dados dos foram utilizadas 59 diretrizes de usabilidade geradas a partir de: *Human Interface Guideline* (APPLE, [21--?]), *Material Design Guidelines* (MATERIAL, [21--?]). Elas são orientações guia para desenvolvedores *iOS* e *Android*, respectivamente e também as 10 *Usability Heuristics for*

User Interface Design (NIELSEN, 1994) que são regras gerais de usabilidade para interfaces de usuário em geral. A partir delas foram geradas 59 diretrizes de usabilidade.

Tecnologia social

As tecnologias sociais são métodos e produtos reaplicáveis que provem soluções de transformação social em conjunto com a comunidade (OLIVIERI, 2013). Os aplicativos sociais são tecnologias sociais que surgem contrariando as intenções do mercado de aplicativos que são produção, consumo e gerenciamento da vida do indivíduo (GODINHO et al, 2007).

A tecnologia social tem o poder de envolver diversos atores sociais, se tornando uma ferramenta de emancipação social e de diminuição do alargamento social, além da produção de conhecimento voltado para sustentabilidade socioeconômica (MANYIKA et al, 2013).

Evidenciando a relevância dos aplicativos solidários, que também são uma tecnologia social, foi feita por Kumar (2016), onde ele faz um estudo do diferencial na vida de usuários que ficam na fila de espera para doação de órgãos. Em seu artigo, ele diz que as pessoas que utilizavam do Facebook para buscar doações tiveram 6.6 vezes mais chances de conseguir doadores em seu nome. O artigo mostra que a tecnologia pode ser usada para o bem comunitário e que o seu uso não é restrito ao comércio, publicidade e vida pessoal.

Usabilidade e aplicativos de doação

Muitos dos projetos sociais financiados por aplicativos de doações sobrevivem quase exclusivamente disso, sendo assim é necessário ter usuários fiéis nesses aplicativos. Oliver (1998) menciona que a chave para a lealdade do consumidor é a satisfação e o uso contínuo do produto ou serviço.

Segundo Nielsen (1993), uma das formas de averiguar a usabilidade de um software é avaliar a satisfação do usuário. Sendo assim, a usabilidade é um fator imprescindível para todo software.

Exemplo de líder em usabilidade é a Apple que antes mesmo do computador ser algo próximo do público lançaram o *Human Interface Guidelines* para Apple II em 1985. Ela não inventou o smartphone, mas consoante Aela, transformou a experiência da telefonia móvel. Sendo a *Apple* a marca mais valiosa do mundo pelo 7º ano seguido em 2019 (PEZZOTTI, 2019), ela é um exemplo a ser seguido.

Pensando na usabilidade, atualmente o desenvolvimento de aplicativos é centrado no usuário. Ou seja, ao invés de esperar que o usuário se adapte as ferramentas do software, ele é produzido pensando no que é comum ao usuário, próximo do seu mundo, intuitivo (AELA, 2020).

UX nos aplicativos de doação

O conceito de UX possui muitas dimensões e inclui várias disciplinas, como Design de Interação, Usabilidade, Arquitetura de Informações, Interação Humano-computador e Design Visual. Não há um conceito amplamente aceito de UX. Até mesmo dentro da comunidade esse conceito é divergente.

Numa perspectiva mais simples, a experiência do usuário refere-se à sensação que os usuários experimentam ao usar um produto, aplicativo, sistema ou serviço (PRODUCTPLAN, [21-?]). Segundo Norman (2016), UX é tudo: é como se vivencia a vida, um serviço, um sistema ou aplicativo. Hassenzahl (2013) afirma que a experiência do usuário é sobre transcender o material, ir além do bom *design* de interfaces *multitouch*; é a experiência através de um dispositivo. De acordo com o Usability Glossary ([21-?]), UX são todos os aspectos da interação do usuário com o produto, serviço ou empresa que compõem as percepções do usuário sobre o todo.

UX se preocupa com todos os elementos que compõem a interface, incluído *layout*, *design* visual, texto, marca, som e interação.

A chave que todos os conceitos acima têm em comum é a interação. A experiência do usuário pode ser conceituada como a interação do usuário com sistemas, serviços, aplicativos e ela estuda tudo que é envolvido nessa interação. Segundo a pesquisa *The Ultimate List Of Charitable Giving Statistics For 2012* da *Nonprofits Source*, em 2012 houve um crescimento de 10,7% das doações *online*. Arrecadando no total 19,2 bilhões em 2012.

Porém, em 2008 apenas 10% das doações das organizações sem fins lucrativos foram obtidas *online* (TARGET ANALYTICS, 2010, apud NIELSEN, 2009). Nielsen (2009), estimou que até 2020 as doações *online* constituiriam a maior parte das doações, se as organizações sem fins lucrativos atualizassem seus sites seguindo recomendações de UX.

Em 2009, Nielsen fez uma pesquisa de UX com usuários reais e sites de doações de organizações sem fins lucrativos. Nesta pesquisa, foi indagado aos usuários quais eram as informações mais importante para que decidam se vão doar ou não, essas são:

1. A missão, a meta, os objetivos e o trabalho da organização.
2. Como a organização usa as doações.

Dos 23 sites testados durante a pesquisa de Nielsen, apenas 43% responderam à primeira questão e apenas 4% responderam a segunda em sua página inicial. Normalmente, as informações estavam em outras páginas do site e os usuários costumam ter problemas para encontrar essas informações cruciais.

Dois anos depois, Nielsen (2011) fez uma pesquisa que contribuía com a pesquisa de 2009 para verificar se havia acontecido mudanças

quanta à UX dos sites das organizações sem fins lucrativos. Eles testaram dessa vez 60 sites e encontraram os mesmos problemas.

Ao final do estudo de 2009, Nielsen percebeu que 47% dos problemas dos sites das organizações eram relacionados a problemas no *design*, como arquitetura de informação não intuitiva, páginas e fluxos de trabalho confusos e 53% relacionados ao conteúdo como informações confusas ou ausentes. Com o estudo de 2011, Nielsen pode atestar que o processo de doação em dinheiro é 7% pior do que as melhores práticas para *e-commerce* da época. As contribuições não-monetárias, como de objetos e móveis, eram ruins. Os sites ofereciam uma baixa usabilidade e os usuários tinham dificuldade de descobrir como fariam esse tipo de doação. Contudo, o processo de voluntariado foi classificado como bom. Os usuários tiveram grande facilidade para descobrir como se tornar voluntário. Nielsen também constatou que os usuários continuavam tendo dificuldade para encontrar informações a respeito da organização.

Quando as expectativas do usuário não são supridas ou quando não encontra as informações que buscava sobre a organização sem fins lucrativos, ele pode simplesmente desistir de doar, buscar outra organização e assim por diante.

Uma boa experiência do usuário nos sites das organizações significa mais recursos financeiros ou a aquisição de diversos tipos de bens para as mesmas.

Método

A princípio foram selecionados os aplicativos de doação das lojas de aplicativos *Google Play Store* e *Apple Store*. Em seguida foram produzidas as diretrizes com base em *guidelines* disponibilizadas pela *Google* e a pela *Apple* e nas Heurísticas de Nielsen. Por último, o nível de usabilidade dos aplicativos selecionados foi medido usando as diretrizes.

Como o título sugere, esse capítulo propõe uma análise híbrida para a avaliação de aplicativos mobile de doações. Sendo assim, além das diretrizes de usabilidade foi produzido um conjunto de recomendações de UX. Esse conjunto foi elaborado a partir da unificação de sete guias de recomendações de UX listados nesta seção.

Seleção dos Apps

A seleção dos aplicativos foi feita pesquisando nas lojas de aplicativos pelos termos: doação, doar, filantropia, *donate*, *donation* e *social app*. Foram encontrados 249 na *Play Store* e na *App Store* 82 apps.

Os aplicativos encontrados na busca inicial tiveram seus títulos e imagens analisados e só foram incluídos neste trabalho os aplicativos que obedeceram aos seguintes critérios de inclusão:

1. Ter o título e descrição em português ou inglês;
2. Ter pelo menos 1 mil avaliações;
3. Ter avaliação mínima de 4 estrelas em suas respectivas lojas.

Como resultado desta fase, a Tabela 1 apresenta os aplicativos selecionados para a análise de usabilidade.

Na Tabela 2 estão detalhados os dados que levaram a seleção dos aplicativos. A *App Store* não disponibiliza a quantidade de *downloads* de cada aplicativo, por isso esse dado está em branco para os aplicativos do *iOS*.

Quadro 1 – Apps selecionados para a análise de usabilidade.

<i>Google Play Store (Android)</i>	<i>App Store (iOS)</i>
<i>ShareTheMeal</i> ⁵	<i>ShareTheMeal</i> ⁶
<i>Joyz Doação</i> ⁷	<i>Joyz Doação</i> ⁸
<i>Ribon</i> ⁹	<i>Ribon</i> ¹⁰
<i>HTC Power to Give</i> ¹¹	

Fonte: Elaboração própria (2020).

Tabela 1 – Dados dos apps em suas lojas.

Aplicativo	Downloads	Nº de avaliações	Avaliação
<i>ShareTheMeal (iOS)</i>	---	2,2 mil	4,9
<i>ShareTheMeal (Android)</i>	500.000+	22.942	4,8
<i>Joyz Doação (iOS)</i>	---	5,9 mil	4,9
<i>Joyz Doação (Android)</i>	100.000+	13.498	4,7
<i>Ribon (iOS)</i>	---	2,2 mil	4,9
<i>Ribon (Android)</i>	100.000+	10.278	4,9
<i>HTC Power to Give</i>	1.000.000+	15.551	4,4

Fonte: Elaboração própria (2020).

O aplicativo *HTC Power to Give* não se trata da doação de dinheiro ou de tempo, mas sim do poder de processamento do seu celular. A ideia é unir o processamento de vários *smartphones* para utilizar em pesquisas que precisam de computadores superpotentes. Atualmente, trabalham em projetos como: busca por uma solução de água limpa, cura do câncer infantil, tratamento do *Schistosoma* (HTC, 2020).

5 <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.sharethemeal.app>

6 <https://apps.apple.com/br/app/sharethemeal-doe-%C3%A0-caridade/id977130010>

7 <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.aioria.joyz>

8 <https://apps.apple.com/br/app/joyz/id882042302>

9 <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.app.ribon>

10 <https://apps.apple.com/br/app/ribon/id1337763424>

11 <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.htc.ptg>

Assim como o aplicativo acima, o *Ribon app* também traz uma proposta atípica: doar sem gastar dinheiro. Com ele, ganha-se *ribons*, a moeda do aplicativo, lendo postagens patrocinadas. Os *ribons* acumulados podem ser doados para um projeto social da escolha do usuário. Segundo a empresa *Ribon*, esses *ribons* puderam ser convertidos em 1 ano de água potável, medicamentos, fortificação alimentar e saúde básica para dezenas de milhares de pessoas.

No *Joyz app* é possível doar de uma forma mais convencional. O usuário faz recargas no aplicativo e ganha *Joyz*, a moeda do *app*. Cada um dos *Joyz* vale 10 centavos. Os usuários podem escolher para quem e quanto de seus *Joyz* doará. O diferencial do *Joyz* é que usuários físicos também podem pedir por doações fazendo postagens comoventes sobre sua causa.

ShareTheMeal é um aplicativo solidário do Programa Alimentar das Nações Unidas (*United Nations World Food Programme*). Nesse *app* o usuário pode escolher um projeto específico, ou mais, e doar uma vez ou mensalmente valores pré-estabelecidos. Segundo o site sharethemeal.org foram compartilhadas 69.653,939 refeições com as doações feitas no *app ShareTheMeal*.

Heurísticas e Guidelines

Foram construídas 59 diretrizes baseando-se nas Heurísticas de Nielsen, nas *guidelines* do Google (*Android*) e da Apple (*iOS*). Na construção deste conjunto, pensou-se na aplicabilidade de cada uma das diretrizes produzidas pelas empresas em aplicações mobile. As diretrizes geradas serão aplicadas tanto nas aplicações *Android* quanto nas *iOS*.

As *guidelines* da Google e da Apple são específicas para seus respectivos sistemas operacionais. Para a construção das diretrizes desse artigo foram consideradas apenas regras que são válidas para ambos os sistemas.

As heurísticas de Nielsen não são diretrizes, mas sim regras gerais. Por isso são chamadas de heurísticas (NIELSEN, 1994). Elas também não são específicas para os sistemas *mobile* e sim para o desenvolvimento de aplicações de forma geral. Sendo assim, elas foram traduzidas para o contexto dos apps em conformidade com as *guidelines* da *Google* e da *Apple*. Logo abaixo nas Tabelas 3,4,5,6 e 7 apresenta o conjunto de diretrizes definido para ser aplicado aos apps selecionados.

Para gerar as diretrizes da tabela acima foram seguidas etapas descritas a seguir:

1. foram extraídas todas as diretrizes que não fossem específicas para seus sistemas de cada uma das fontes, gerando assim 3 listas de diretrizes;
2. As diretrizes foram unificadas em uma única lista, sendo que, diretrizes repetidas foram unificadas;
3. as diretrizes foram separadas por categorias da acessibilidade.

As recomendações de UX foram produzidas com base em sete artigos que trazem recomendações de UX. Sendo eles:

1. *The 15 Rules Every UX Designer Should Know* (BABICH, 2020);
2. *User Interface Design Guidelines: 10 Rules of Thumb* (WONG, 2020);
3. *Donation Usability: Six Ways to Improve User Experience* (ELEVATION, 2017);
4. *5 Tips to Get Donations on Nonprofit and Charity Websites* (NIELSEN NORMAN GROUP, [21-?]);
5. Cada palavra conta muito no mobile (SANCHEZ, 2019);
6. *Mobile design: 5 boas práticas para desenhar interfaces* (FONSECA, 2018);
7. Os Princípios de UX para Aplicativos em Dispositivos Móveis (THINK WITH GOOGLE, 2015).

Quadro 2 – Diretrizes para avaliação dos aplicativos de doação

Layout	
D1	O aplicativo deve iniciar na mesma orientação em que está o dispositivo, exceto em casos em que o aplicativo possui apenas uma orientação
D2	O aplicativo deve iniciar na mesma orientação em que está o dispositivo, exceto em casos em que o aplicativo possui apenas uma orientação
D3	Ações importantes ficam na parte superior ou na parte inferior da tela
D4	Ao montar o layout da sua tela, os elementos são lidos da esquerda pra direita e de cima pra baixo. O layout deve ser construído segundo essa ordem de importância
D5	Coloque o conteúdo na parte central da tela
D6	Evite a rolagem horizontal
D7	Organize o conteúdo verticalmente
D8	Use estrutura linear clara e evite a estrutura de tabela dos campos de entrada
D9	Coloque os botões de ação no meio ou no final do diálogo

Fonte: Elaboração própria (2020).

Os artigos 5, 6 e 7 são do universo *mobile*, enquanto os artigos 1 e 2 são recomendações gerais de UX. Os artigos 3 e 4 são específicos para *website* de doações de organizações sem fins lucrativos. Assim foi possível extrair desses artigos recomendações aplicáveis a *apps*, além de recomendações específicas do universo das doações *online*.

Quadro 3– Diretrizes para avaliação dos aplicativos de doação

Navegação	
D10	Torne os menus de navegação o mais fácil e simples possível
D11	Use os menus de navegação de um nível
D12	Torne as páginas importantes acessíveis a partir da página inicial
D13	Sempre forneça um caminho de navegação claro
D14	Use componentes de navegação padrão
D15	Evite sobrecarregar a barra de navegação com muitos controles
D16	A navegação deve ter fluxos de tarefas claras e com etapas mínimas
D17	Minimize o número de cliques necessários para acessar cada página
D18	Abra links externos em uma nova janela, mantenha a janela atual inalterada
D19	Estruture os menus por tópicos e cenários de uso para reduzir a pesquisa
D20	Se possível, exiba a tela final antes do término do <i>loading</i>
D21	Somente solicite informações de configuração quando necessário
D22	Evite pedir para o usuário classificar o aplicativo com pouco tempo de uso
D23	Se possível, permita o uso do aplicativo antes do cadastro do usuário

Fonte: Elaboração própria (2020).

Quadro 4 – Diretrizes para avaliação dos aplicativos de doação

Design	
D24	Mantenha o <i>design</i> simples, consistente, uniforme e claro
D25	Use alinhamentos para transmitir organização, hierarquia e limpeza de tela
D26	Use animações consistentes para transmitir transições leves
D27	Forneça uma tela de inicialização
D28	Evite exibir a seu logotipo sem necessidade
D29	Use cores para chamar atenção, porém, criteriosamente
D30	As cores do seu aplicativo devem funcionar ser harmônicas
D31	Não use cores que confundam o conteúdo do aplicativo
D32	Use a barra de navegação para mostrar o título do contexto atual
D33	Use elementos claramente visíveis
D34	Use contrastes para destacar os itens
D35	Separe alvos de toque por espaçamento adequado

Fonte: Elaboração própria (2020).

Quadro 5 – Diretrizes para avaliação dos aplicativos de doação

Acessibilidade	
D56	Use textos alternativos nas imagens para que os leitores de tela consigam fornecer uma experiência mais agradável para PcD
D57	A ordem dos itens deve ser a mesma no código e na tela, para que os leitores de tela acompanhem da forma que o aplicativo foi projetado pra ser navegador
D58	Use contraste suficiente entre as cores para que usuários de baixa visão possam utilizá-lo
D59	Não informe mensagens de erros do usuário apenas por meio de cores, podem não ser percebidas por usuários daltônicos

Fonte: Elaboração própria (2020).

Quadro 6 – Diretrizes para avaliação dos aplicativos de doação

Conteúdo	
D36	Deixe claro quando <i>loadings</i> estiverem ocorrendo
D37	Exibir <i>dialogs</i> (<i>Android</i>) e <i>modality</i> (<i>iOS</i>) somente quando for essencial
D38	Use alertas apenas para exibir informações importantes
D39	Minimize a carga mental do usuário durante entradas de dados mostrando os teclados apropriados

D40	Torne a entrada de dados o mais eficiente quanto possível, faça o melhor uso das views disponíveis para minimizar o tempo gasto nas entradas de dados
D41	Forneça valores padrões coerentes
D42	Impeça o avanço antes de coletar os dados necessários
D43	Faça validações de campos o quanto antes
D44	Só use campos obrigatórios para informações realmente necessárias
D45	Use dicas para descrever as entradas de dados
D46	Forneça <i>feedbacks</i> discretamente
D47	O conteúdo deve ser estar claro e completamente visível no tamanho padrão
D48	Use verbos nos títulos dos botões, mantenha-os em maiúsculo e curtos
D49	Considere adicionar barras de pesquisa quando possível
D50	Evite utilizar frases ambíguas em descrição, explicações e nos botões de ação
D51	Dê preferência a linguagem simples
D52	Sempre dê ao usuário opção de voltar a opção anterior clara e simples
D53	Dê informações sobre uso do app apenas quando necessário, não antecipe informações
D54	Itens semelhantes devem ser agrupado por títulos
D55	Descreva bem cada ação e de forma direta

Fonte: Elaboração própria (2020).

Abaixo, na Quadros 7,8 e 9 são apresentadas e discutidas as recomendações para a experiência do usuário.

Quadro 7 – Recomendações de UX.

Código	Recomendação
R1	<u>Não sobrecarregue o usuário com muita informação</u> Há um intervalo de tempo máximo em que os usuários conseguem se concentrar numa tarefa sem se distrair. O <i>design</i> deve ser projetado para lidar com esse comportamento. Fornecendo apenas as informações necessárias e o mais rápido possível. Mantenha o <i>design</i> minimalista.
R2	<u>Exiba elementos que o usuário conheça/Correspondência entre o sistema e o mundo real</u> Use elementos que o usuário reconheça automaticamente e assim, entenda sua função minimizando a carga cognitiva. Desta forma, as informações da UI se tornam visíveis e facilmente acessíveis.

R3	<p><u>Prevenir erros é melhor que os corrigir</u></p> <p>Trate todos os erros da melhor forma possível. Erros podem ter um enorme impacto negativo na experiência do usuário, principalmente quando eles se sentem os causadores do erro. Portanto, projete o produto reduzindo ao mínimo a possibilidade de erros e sempre notifique o usuário quando as condições forem propensas a erro.</p>
-----------	---

Fonte: Elaboração própria (2020).

Quadro 8 – Recomendações de UX.

R4	<p><u>Design utilizável e acessível</u></p> <p>A principal função de um produto é realizar funções. Claro que os <i>designs</i> devem ser projetados para serem atraentes e desejáveis, porém a funcionalidade e acessibilidade devem ser prioridade.</p>
R5	<p><u>Sempre informe o usuário o que está acontecendo</u></p> <p>Os usuários sempre gostam de saber onde estão, qual o contexto atual. Então, os sistemas devem informar claramente por meio de <i>feedback</i> o que está acontecendo instantaneamente.</p>
R6	<p><u>Controle e liberdade do usuário</u></p> <p>Sempre ofereça ao usuário uma forma de voltar ao estado anterior, incluindo desfazer e refazer ações anteriores.</p>
R7	<p><u>Ajuda e documentação</u></p> <p>O ideal é que os usuários consigam utilizar o sistema sem precisar da documentação. Entretanto, pode haver casos em que os usuários precisem, então a documentação deve ser facilmente localizável e acessível. A ajuda para uma tarefa específica deve ser clara o suficiente para guia-lo nas etapas da solução de seu problema.</p>
R8	<p><u>Informações claras sobre o que a organização faz</u></p> <p>As informações sobre o objetivo, a meta, a missão, o tipo de trabalho que a organização realiza e como esse trabalho é realizado devem ser claras e encontradas com facilidade.</p>
R9	<p><u>Uso de contribuições</u></p> <p>Outra informação crucial para os doadores é como sua contribuição será usada. O usuário quer saber no que a instituição gasta e qual o impacto de suas contribuições.</p>
R10	<p><u>Exibir recomendações de terceiros</u></p> <p>A legitimidade e a reputação de uma organização são outras informações importantes que os usuários precisam conhecer antes de doar. Sendo assim, é importante exibir depoimentos, classificações em sites reconhecidos, premiações e número de anos em operação.</p>
R11	<p><u>Forneça a opção de doar de forma clara</u></p> <p>Depois que o usuário entender mais sobre a instituição e decidir doar, a função doar deve ser encontrada rápida e facilmente.</p>

R12	<u>Simplifique o processo de doação</u> O processo de doação contínuo aumenta as chances de que os usuários concluam sua doação.
R13	<u>Métodos de pagamento</u> Forneça aos usuários diversos métodos de pagamento. Aceitar vários cartões de créditos é o mínimo, use serviços como <i>PayPal</i> e depósito <i>online</i> também.
R14	<u>Mostre diversos valores para doação</u> Mostre valores comuns para doação e também uma opção para que o usuário digite os valores. Assim o processo de doação torna-se mais curto e flexível.

Fonte: Elaboração própria (2020).

Quadro 9 – Recomendações de UX.

R15	<u>Opções de doação</u> Dê ao usuário as opções de doar mensalmente, anualmente ou fazer uma doação pontual. A maioria das organizações sem fins lucrativos sobrevive de doações e contribuições, ter doadores fixos é extremamente importante para as organizações. Mostre também a opção de doar fazendo uma menção honrosa.
R16	<u>Exiba o impacto da doação</u> No momento da escolha do valor, diga instantaneamente ao usuário qual impacto sua doação causa. Isso aumenta consideravelmente as chances do usuário finalizar a doação.
R17	<u>Inclua uma página de agradecimento</u> Ao finalizar a doação inclua, uma página de agradecimento ao usuário. Essa página pode incluir textos e até mesmo um vídeo.
R18	<u>Use verbos nos botões de ações</u> Mesmo em perguntas de sim ou não, use verbos que expressão a ação que será tomada porque muitas vezes os usuários não leem direito a pergunta.
R19	<u>Mensagens de erro amigáveis</u> As mensagens não devem ser usar termos técnicos. Devem ser simples e amigáveis.

R20	<u>Fragmente uma tarefa principal em subtarefas</u> Dividir grandes tarefas em uma sequência linear de tarefas menores diminui a carga do usuário. Mas é sempre necessário exibir a opção de voltar e refazer tarefas anteriores.
R21	<u>Faça tudo maior</u> No computador contamos com a precisão do <i>mouse</i> , já no contexto <i>mobile</i> nossas ferramentas são nossos dedos e eles não entregam uma precisão tão grande. Assim botões grandes facilitam a interação.
R22	<u>Posicione os itens da melhor forma</u> 70 a 90% da população é destra. Sendo assim, ao projetar a tela os itens devem ser posicionados de forma a facilitar a interação usando apenas a mão direita.
R23	<u>Disponibilize uma ferramenta de busca</u> Essa ferramenta ajuda os usuários a encontrar o que estão procurando com maior velocidade e facilidade, assim atingindo seus objetivos com maior satisfação.

Fonte: Elaboração própria (2020).

As etapas percorridas para chegar a esta lista de recomendações foi:

1. Foram extraídas todas as recomendações possíveis de cada uma das fontes separadamente, adaptando e excluindo recomendações que não se aplicam ao contexto *mobile*;
2. As recomendações foram unificadas em um único grupo;
3. Recomendações repetidas foram excluídas.

Na próxima seção, serão apresentados os resultados alcançados ao submetermos os *apps* de doações selecionados ao conjunto de recomendações de usabilidade e de experiência do usuário.

Avaliação da usabilidade dos Apps

A avaliação das diretrizes foi realizada em duas etapas. Primeiro, foi avaliado se as diretrizes eram aplicáveis aos aplicativos selecionados, apresentados na Tabela 1. Segundo os aplicativos

foram avaliados segundo as diretrizes (Quadros 3, 4, 5, 6 e 7) uma a uma pelo primeiro autor desse capítulo, um estudante de usabilidade.

Foram realizadas diversas tarefas em cada um dos aplicativos, como doações, cadastro, alteração de informações de cadastro, uso sem cadastro (quando possível), cancelamento de operações, interações com postagens, uso de *TalkBack* e *VoiceOver* que são serviços de acessibilidade para pessoas cegas e com deficiência visual, do *Android* e *iOS*, respectivamente; para que ao final fosse possível realizar uma avaliação completa.

O *app Ribon* foi o único aplicativo da Tabela 1 que tem versões distintas disponíveis nas duas lojas apps e que, por esse motivo, teve avaliações isoladas para suas duas versões, ainda mais por causa das diferenças consideráveis de design, layout e navegação entre elas.

No caso dos aplicativos que são iguais para *Android* e *iOS*, *Joyz* e *ShareTheMeal*, os testes foram realizados da seguinte forma: a análise foi feita simultaneamente em dois celulares, um *iPhone* e um *smartphone Android*, todos os testes, avaliações e passos. Segue abaixo a avaliação (Quadros 10 e 11).

Os Quadros 10 e 11 apresenta a conformidade dos *apps* analisados com o conjunto de diretrizes definidas nos Quadros 2,3,4,5 e 6. Os símbolos presentes em cada célula da tabela significam: X – não cumpre, O – cumpre, S – não se aplica.

Quadro 10 – Conformidade dos aplicativos com cada uma das diretrizes de usabilidade.

	HTC Power to Give (Android)	Ribon (Android)	Ribon (iOS)	Joyz (Android e iOS)	ShareTheMeal (Android e iOS)
Layout					
D1	O	O	O	O	O
D2	O	O	O	O	O
D3	O	O	O	O	O
D4	O	O	O	O	O

D5	O	O	O	O	O
D6	O	O	O	O	O
D7	O	O	O	X	O
D8	O	O	O	O	O
Navegação					
D9	O	O	O	O	O
D10	O	O	O	O	O
D11	O	O	O	O	O
D12	O	O	O	O	O

Fonte: Elaboração própria (2020).

Quadro 11– Conformidade dos aplicativos com cada uma das diretrizes de usabilidade.

D13	O	O	O	O	O
D14	O	O	O	O	O
D15	O	O	O	O	O
D16	O	O	O	O	O
D17	S	O	O	O	O
D18	O	O	S	O	S
D19	S	O	O	S	O
D20	O	O	O	O	O
D21	O	X	O	O	O
D22	X	O	O	X	O
Design					
D23	O	O	O	O	O
D24	O	O	O	X	O
D25	O	X	X	X	O
D26	O	O	O	O	O
D27	O	O	O	X	O
D28	O	O	O	O	O
D29	X	O	O	O	O
D30	X	O	O	O	O
D31	O	O	O	X	O
D32	O	O	O	O	O
D33	O	O	O	O	O
D34	O	O	O	X	O
Conteúdo					
D35	O	O	O	S	O
D36	O	O	O	O	S
D37	S	X	S	S	X
D38	O	O	O	O	O
D39	O	O	O	S	O
D40	O	O	O	O	X
D41	O	O	O	O	O

D42	O	S	S	O	O
D43	O	S	S	O	O
D44	O	S	S	O	X
D45	O	O	O	O	X
D46	O	O	O	O	O
D47	O	O	O	O	O
D48	S	S	S	O	S
D49	O	O	O	O	O
D50	O	O	O	O	O
D51	O	O	O	O	O
D52	O	O	O	O	O
D53	O	O	O	O	O
D54	O	O	O	O	O
Acessibilidade					
D55	O	X	X	X	X
D56	O	X	X	O	X
D57	X	O	O	O	O
D58	X	X	X	O	X
D59	O	S	S	O	O

Fonte: Elaboração própria (2020).

Os aplicativos foram analisados individualmente em dois *smartphones*: um *iPhone* e um *smartphone Android*. Levou-se em conta se o aplicativo cumpria cada uma das diretrizes selecionadas e apresentadas nos Quadros 2,3,4,5 e 6. Os dados foram tabelados, conforme os Quadros 10 e 11, e os aplicativos puderam assim receber uma porcentagem de cumprimento em cada um dos campos da usabilidade abrangidos por essas normas e uma porcentagem geral. Como detalhado abaixo, a porcentagem de cumprimento das diretrizes foi calculada pela divisão da quantidade de diretrizes cumpridas pelo *app* pela subtração entre a quantidade total de diretrizes e a quantidade de diretrizes não aplicáveis.

$$\text{porcetagemCumprida}_D = \frac{\text{qtdDiretrizesCumpridas}}{\text{totalDiretrizes} - \text{qtdDiretrizesNoAplicveis}} * 100\%$$

Sendo assim, cada aplicativo recebeu uma porcentagem de 0 a 100% segundo seu nível de usabilidade usando como parâmetro o cumprimento das diretrizes estabelecidas nessa Seção. Dessa

forma, é possível estabelecer o nível de usabilidade dos aplicativos. Tanto sua usabilidade geral, abrangendo todas as categorias da usabilidade, tanto quanto por categoria.

Avaliação da experiência dos usuários

Os aplicativos foram também analisados individualmente usando as recomendações de experiência do usuário apresentados nos Quadros 7, 8 e 9. Foi colocado um *Smartphone Android* ao lado de um *iPhone* e o mesmo aplicativo era testado simultaneamente nos dois aparelhos, isso para os *apps Joyz* e *ShareTheMeal*. O *app Ribon* foi testado separadamente em cada aparelho e o *HTC Power to Give* apenas no *Smartphone Android*.

A diferença entre os dois métodos foram as tarefas realizadas. Foi realizado cadastro, cancelamento de operações, doações, configurações específicas dos aplicativos, interações com postagens, busca por ajuda, busca por informações quanto a instituição e como as doações são utilizadas.

Além disso, pela amplitude de algumas recomendações de UX é necessário fazer diversas tarefas antes de classificar definitivamente se o aplicativo cumpria, não cumpria ou cumpria parcialmente cada uma das recomendações. Foi necessário fazer anotações sobre cada tarefa realizada para, ao final, avaliar com base nas anotações.

O Quadro 12 apresenta os dados brutos da avaliação. Os símbolos usados significam: O – cumpre, X – não cumpre, P – cumpre parcialmente e S – não se aplica.

Foi atribuído a cada aplicativo uma porcentagem de cumprimento das recomendações de UX. Como apresentado na abaixo, a porcentagem de cumprimento é adquirida dividindo o somatório dos valores dos símbolos presentes em cada célula dividido pela quantidade de recomendações totais menos a quantidade de recomendações não aplicáveis e o denominador multiplicado por 2.

$$\text{porcetagemCumprida}_R = \frac{\text{recomendaçõesCumpridas}}{(\text{qtdRecomendaçõesTotais} - \text{qtdRecomendaçõesNãoAplicaveis}) * 2}$$

$$\text{recomendaçõesCumpridas} = \sum_{i=R1}^{R23} \text{cumprimento}_i \quad (2)$$

Sendo 0 = 2, P = 1, X = 0 e S = 0

Quadro 12 – Conformidade dos aplicativos com cada das recomendações de UX.

	HTC Power to Give (Android)	Ribon (Android)	Ribon (iOS)	Joyz (Android e iOS)	ShareTheMeal (Android e iOS)
R1	O	O	O	O	O
R2	O	O	O	O	O
R3	P	O	O	O	O
R4	O	O	O	O	O
R5	O	O	O	O	O
R6	P	O	O	X	O
R7	X	O	O	P	X
R8	O	O	O	O	O
R9	O	O	O	S	O
R10	X	O	O	X	O
R11	O	O	O	O	O
R12	S	O	O	X	O
R13	S	X	X	X	X
R14	S	P	P	X	O
R15	S	P	P	S	O
R16	O	O	O	S	O
R17	S	O	O	X	O
R18	O	O	O	O	O
R19	X	X	X	O	O
R20	O	O	O	X	O
R21	O	O	O	P	O
R22	X	O	O	O	O
R23	S	S	S	O	S

Fonte: Elaboração própria (2020).

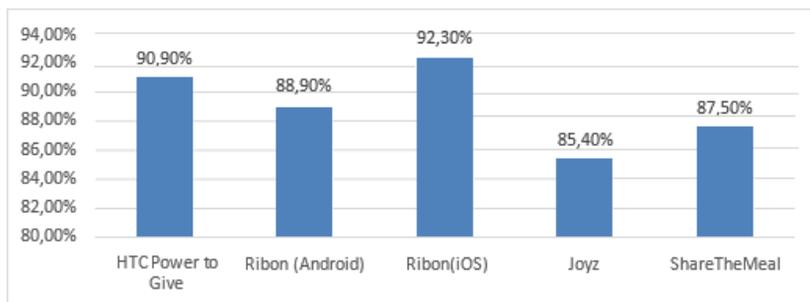
Assim foi possível estabelecer a quão boa poderia ser a experiência do usuário numa escala de 0 a 100% usando a avaliação dessa Seção como parâmetro.

Resultados e discussões

Ao observar a Figura 1, nota-se que os aplicativos selecionados têm um bom nível de usabilidade no geral. É possível associar o

sucesso desses aplicativos ao seu nível de usabilidade. Como já mencionado na Tabela 2, os aplicativos selecionados são bem classificados em suas lojas e com um grande número de avaliações e de *downloads*.

Figura 1 – Porcentagem global de usabilidade dos aplicativos.



Fonte: Elaboração própria (2020).

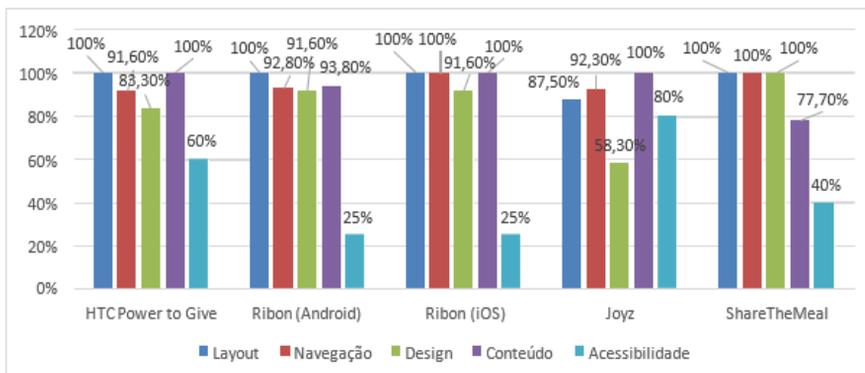
Na Figura 2, é apresentada uma visão mais ampla da usabilidade dos aplicativos. As piores porcentagens dos aplicativos são na Acessibilidade. Isso indica que o uso desses aplicativos por pessoas com deficiência (PcD) é dificultado pela falta de meios para uma boa experiência. Esse fato pode desmotivar ou frustrar o uso dos aplicativos pelo público formado por PcD.

Em todas as categorias, exceto usabilidade, as porcentagens apontam que a experiência dos usuários pode ser muito boa durante o uso do aplicativo, ainda conforme a Figura 2. Quatro dos cinco aplicativos analisados tiveram porcentagem máxima na categoria *Layout*, dois deles na categoria *Navegação* e três *apps* obtiveram porcentagem máxima na categoria *Conteúdo*. Nenhum *app* obteve porcentagem máxima na categoria *Design* isso indica que os usuários têm problemas durante o uso dos aplicativos, como: misturar elementos pelo baixo contraste, ter transições bruscas, entre outros; e na categoria *Acessibilidade*, e como discutido no parágrafo anterior, isso impacta diretamente na experiência das PcD.

Entretanto, excluindo a categoria de Acessibilidade, as porcentagens podem ser consideradas boas, com exceção do aplicativo *Joyz*, que obteve 58,3% na categoria *Design*.

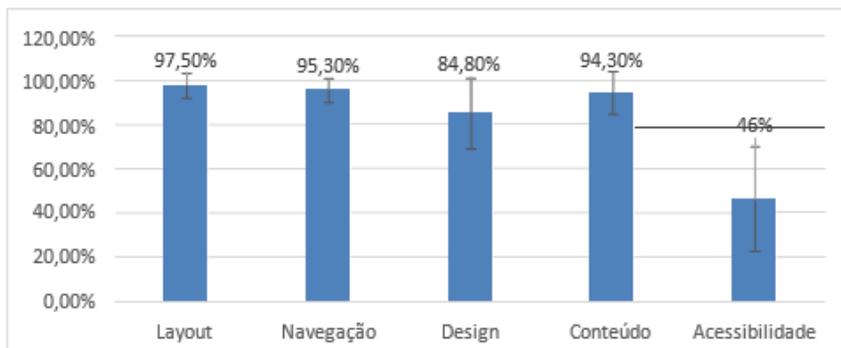
Na Figura 3 foi feito a média das porcentagens por categoria. A melhor porcentagem do por categoria pertence a *Layout*, seguido por *Navegação*, *Conteúdo*, *Design* e, por último, *Acessibilidade*, conforme apresentado na Figura 3. Isso reforça a fragilidade da *Acessibilidade* nesses aplicativos, porém os aplicativos conseguiram alcançar ótimos níveis de usabilidade nas demais categorias.

Figura 2 – Porcentagens dos aplicativos por categoria da usabilidade.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Figura 3 – Média das porcentagens por categoria.

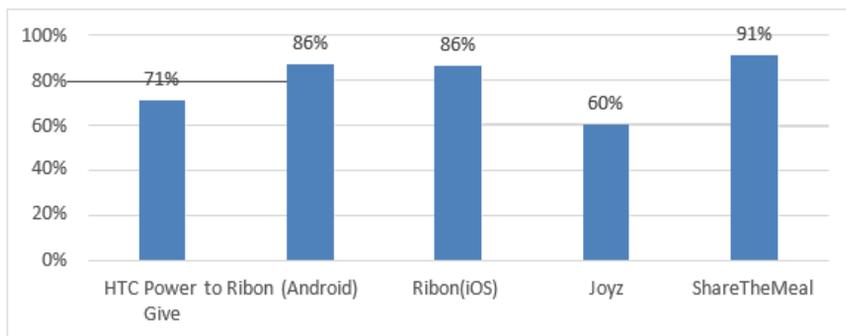


Fonte: Elaboração própria (2020).

Como descrito na Figura 3, o maior desvio padrão foi na categoria *Acessibilidade*, seguida por *Design*, *Conteúdo*, *Layout* e *Navegação*. Mostrando que o nível de usabilidade dos aplicativos varia decrescentemente na ordem acima. Esse dado reforça o quão defasados é o uso das diretrizes da categoria de *Acessibilidade*, que obteve as menores porcentagens de cumprimento e ainda o maior desvio padrão da média das notas e também da categoria *Design* que apesar de altas porcentagens de cumprimento, exceto no caso do *app Joyz*, também teve um alto desvio padrão.

A Figura 4 apresenta a porcentagem de cumprimento dos *apps* em relação as recomendações de UX nos Quadros 7,8 e 9. Estes dados foram obtidos usando a fórmula (2) e os dados dos Quadros 12 como parâmetro.

Figura 4 – Porcentagem de cumprimento das recomendações de UX.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Dessa vez, os aplicativos *Ribon* (em ambas as versões) e *ShareTheMeal* lideraram com 86% de cumprimento das recomendações de UX, seguidos de *HTC Power to Give* e por último *Joyz* (Figura 4). Esse dado indica que o *Joyz app* tem uma UX ruim, o *HTC Power to Give app* uma UX média e os *apps ShareTheMeal* e *Ribon* uma UX boa.

A forma como o usuário se sente usando um aplicativo tem ligação direta com a quão boa é sua UX. Então, apenas os *apps Ribon* e *ShareTheMeal* possuem elementos para causar experiências satisfatórias durante seu uso, enquanto o *app HTC Power to Give* causa uma experiência mediana e o *app Joyz* entrega uma experiência insatisfatória.

Conclusão

O grande número de usuários de dispositivos móveis, juntamente com a constante melhoria tecnológica auxilia no crescimento da utilização de aplicativos de doação. Contudo, as particularidades dos *smartphones* como a tela pequena, requerem atenção especial desde a fase de *design*. A usabilidade e a experiência do usuário precisam ser consideradas desde a fase de *design* até o momento da entrega do aplicativo aos usuários e na pós entrega.

Nesse capítulo, alguns aplicativos de doação foram analisados quanto ao seu nível de usabilidade e de UX. As grandes conquistas obtidas pelos apps e seus projetos sociais estão diretamente relacionadas a boa usabilidade dos aplicativos. Como defendido por Nielsen, para criar usuários fiéis e garantir o uso contínuo de softwares é necessário uma garantir usabilidade. A partir da avaliação de usabilidade dos apps selecionados, pôde-se constatar que devido à grande aderência às diretrizes de usabilidade definidas pelos principais fabricantes de *smartphones* da atualidade, os aplicativos oferecem aos seus usuários um bom nível de usabilidade. Contudo, os aplicativos não obtiverem sucesso na implementação das diretrizes de Acessibilidade, o que fragiliza o uso dos aplicativos por PcD. Assim, o objetivo de objetivo fazer um levantamento do nível de usabilidade dos aplicativos de doações mais utilizados disponíveis da *Google Play Store* e na *App Store* foi cumprido.

Segundo a avaliação conduzida por nós e apresentada neste capítulo, a maioria dos aplicativos também possuem uma boa experiência do usuário. Com exceção do aplicativo *Joyz* que deixou a desejar quando ao cumprimento das recomendações de UX. Isso mostra que os aplicativos de doação estão no caminho correto para tornar uma boa parte das doações a organizações sem fins lucrativos *online* como previsto por Nielsen. E assim, o objetivo de verificar a qualidade da experiência do usuário também foi alcançado com sucesso.

Como limitação, esta pesquisa não realizou testes com usuários finais dos *apps*. Acredita-se que testes com usuários podem revelar outros aspectos nos apps no sentido de melhorar a experiência do usuário. Para trabalhos futuros planeja-se: consultar especialistas para classificar as diretrizes por importância, bem como adicionar ou retirar diretrizes e fazer testes de experiência do usuário com usuários finais reais.

Referências

AELA. **O QUE é Usabilidade e Porque é Tão Essencial para Projetos de UX Design?**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://medium.com/aela/o-que-é-usabilidade-e-porque-é-tão-essencial-para-projetos-de-ux-design-4ea04ca6269>. Acesso em: 21 maio 2020.

APPLE. **Human Interface Guidelines**. 2020. Disponível em: <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/>. Acesso em: 19 maio 2020.

BABICH, Nick. **The 15 Rules Every UX Designer Should Know**. 2020. Disponível em: <https://xd.adobe.com/ideas/career-tips/15-rules-every-ux-designer-know/>. Acesso em: 7 jul. 2020.

ELEVATION, Sara Lowe. **Donation Usability: Six Ways to Improve User Experience (Infographic)**. 2017. Disponível em: <https://trust.guidestar.org/donation-usability-6-ways-to-improve-user-experience-infographic>. Acesso em: 7 jul. 2020.

FONSECA, Kakau. **Mobile design: 5 boas práticas para desenhar interfaces.** 2018. Disponível em: <https://brasil.uxdesign.cc/mobile-design-5-boas-pr%C3%A1ticas-para-desenhar-interfaces-e0bf40c6d454>. Acesso em: 16 jul. 2020.

GODINHO, Sibeles et al. A doação na perspectiva de aplicativos sociais. **Atas - Investigação Qualitativa em Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 4, 2017.

HASSENZAHL, Marc. User experience and experience design. **The encyclopedia of human-computer interaction**, v. 2, 2013.

HTC. PLUGAR. **FAÇA PARTE DO FUTURO.** 2020. Disponível em: <https://www.htc.com/us/go/power-to-give/>. Acesso em: 24 maio 2020.

KUMAR, K. et al. A smartphone app for increasing live organ donation. **American journal of transplantation**, v. 16, n. 12, p. 3548-3553, 2016.

MANYIKA, James et al. **Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy.** San Francisco, CA: McKinsey Global Institute, 2013.

MATERIAL, D. **Material Design Guidelines.** 2020. Disponível em: <https://material.io/design/introduction#goals>. Acesso em: 19 maio 2020.

NIelsen NORMAN GROUP. **5 Tips to Get Donations on Nonprofit and Charity Websites.** 2020. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/donations-nonprofit-charity-online/>. Acesso em: 7 jul. 2020.

NIelsen, Jakob. **10 Usability Heuristics for User Interface Design.** 1994. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Acesso em: 19 maio 2020.

NIelsen, Jakob. **Usability 101: Introduction to Usability.** 2012. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>. Acesso em: 3 jul. 2020.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. Cambridge, MA: Academic Press, 1993.

NIELSEN, Jakob. **Donation Usability: Increasing Online Giving to Non-Profits and Charities**. 2009. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/donation-usability/>. Acesso em: 6 jul. 2020.

NIELSEN, Jakob. **Non-Profit Organization Websites: Increasing Donations and Volunteering**. 2011. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/non-profit-websites-donations/>. Acesso em: 6 jul. 2020.

NONPROFITS SOURCE. **The Ultimate List Of Charitable Giving Statistics For 2018**: Looking for the latest charity giving stats and trends? We've got you covered. 2019. Disponível em: <https://nonprofitssource.com/online-giving-statistics/>. Acesso em: 6 jul. 2020.

NORMAN, D. **Don Norman**: O termo "UX". Produção: NNGroup. 2016. Disponível em: <https://youtu.be/9BdtGjoiN4E>. Acesso em: 16 jul. 2020.

NORMAN, D; NIELSEN, J. **The Definition of User Experience (UX)**. 2020. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>. Acesso em: 3 jul. 2020.

OLIVER, Richard L.; DESARBO, Wayne S. Response determinants in satisfaction judgments. **Journal of consumer research**, v. 14, n. 4, p. 495-507, 1988.

OLIVIERI, R. **Tecnologias Sociais possibilitam modelos alternativos de desenvolvimento**. 2013. Disponível em: <http://www.mobilizadores.org.br/entrevistas/tecnologias-sociais-possibilitam-modelos-alternativos-de-desenvolvimento/>. Acesso em: 30 maio 2020.

PEZZOTTI, R. **Apple é marca mais valiosa do mundo pelo 7º ano: Disney desbanca Facebook**. 2019. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/10/17/apple-google-e-amazon->

sao-as- marcas-mais-valiosas-do-planeta-diz-estudo.htm. Acesso em: 24 maio 2020.

PRODUCTPLAN. **User Experience**. 2020. Disponível em: <https://www.productplan.com/glossary/user-experience/>. Acesso em: 16 jul. 2020.

RIBON. **Ajude a Salvar Vidas Sem Gastar Dinheiro**. 2019. Disponível em: <https://home.ribon.io/>. Acesso em: 25 maio 2020.

SANCHEZ, Mercedes. **Cada palavra conta muito no mobile**. 2019. Disponível em: <https://uxpmbrazil.com.br/cada-palavra-conta-muito-no-mobile-bbfc979271c3>. Acesso em: 16 jul. 2020.

THINK WITH GOOGLE. **Os Princípios de UX para Aplicativos em Dispositivos Móveis**. 2015. Disponível em: <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/pt-br/marketing-resources/ux-e-design/mobile-app-ux-principles/>. Acesso em: 16 jul. 2020.

USABILITY GLOSSARY. **Glossary**: Terms and definitions used in the User Experience profession. 2020. Disponível em: <http://www.usabilitybok.org/glossary/19#letteru>. Acesso em: 16 jul. 2020.

WONG, Euphemia. **User Interface Design Guidelines: 10 Rules of Thumb**. 2020. Disponível em: <https://www.interaction-design.org/literature/article/user-interface-design-guidelines-10-rules-of-thumb>. Acesso em: 7 jul. 2020.

Sistema tutor inteligente baseado em teorias pedagógicas

*Eliabe Nascimento Silva
Camila Bezerra da Silva*

Introdução

Desde 1950 as universidades têm sido grandes motivadoras do desenvolvimento dos sistemas computacionais, dada a necessidade de sistemas capazes de imitar a capacidade humana de desenvolver tarefas de raciocínio, com respostas milhares de vezes mais rápidas em relação as limitações do corpo humano, como a necessidade de descansar, comer, limite informações que pode armazenar e processar por vez ou seja, um ser capaz de evoluir infinitamente, constantemente e continuamente.

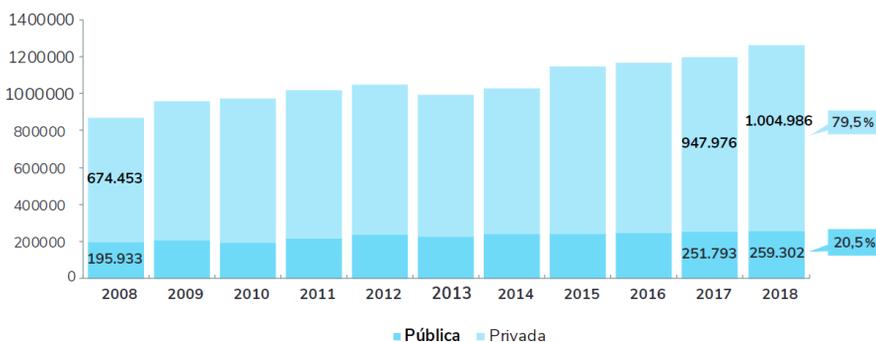
A história tem registrado os feitos de seres humanos que se destacaram em diversas áreas do conhecimento, com inteligência que supera os padrões conhecidos, tal como Nikola Tesla, criador de diversos inventos da engenharia mecânica e elétrica; o cientista Albert Einstein (SILVA R. B., 2014); a grande escritora Agatha Christie (JUNIOR, 2007); o músico e compositor Ludwig van Beethoven (FRAZÃO, 2020); o matemático e filósofo Pitágoras (KAMERS, 2008); Santo Agostinho de Hipona, considerado um dos filósofos mais importantes da Europa (BEZERRA, 2018) e muitos outros.

A tecnologia atual ainda não é capaz de mapear todas as características que compõem a mente humana e reproduzi-la em uma máquina, no entanto existem padrões na forma como cada ser humano absorve e armazena informações, que podem ser identificados, mapeados e reproduzidos em um sistema computacional. Esses

padrões têm sido desenvolvidos pelas teorias de aprendizagem provenientes da pedagogia (PRAS, 2012).

A maioria das instituições de ensino se deparam com o problema da grande quantidade de alunos repetentes ou com baixa produção, principalmente em matérias na área do cálculo e lógica computacional. Segundo Junior, Dutra, & Pereira (2010), uma grande quantidade de alunos se matricula todo ano em cursos de engenharia, são cerca de 320 mil estudantes, no entanto apenas 34 mil, ou seja, pouco mais de 10% conseguem concluir o curso e se tornar um engenheiro. O último CENSU da Educação Superior, publicado pelo Ministério da Educação no ano de 2019 (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – Inep, 2019), referente ao ano de 2018, mostrou que apenas 20% dos alunos das universidades públicas concluíram o curso, conforme Figura 1.

Figura 1 – Número de concluintes em cursos de graduação, por categoria administrativa – Brasil – 2008-2018.



Fonte: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2019.

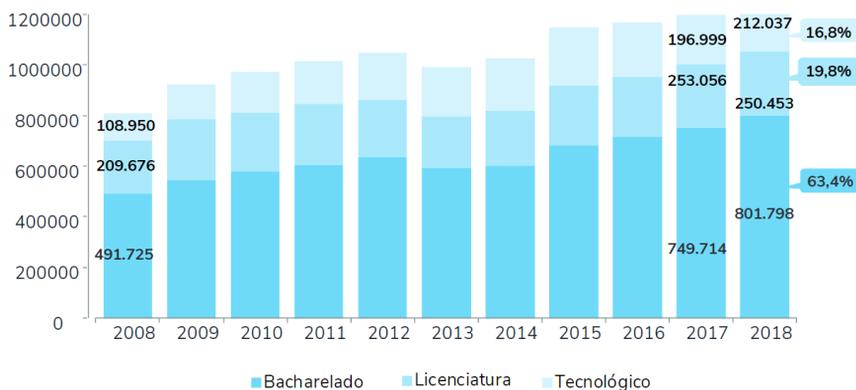
Os resultados são ainda piores quando analisamos o percentual de estudantes que concluíram a graduação, baseada na área de conhecimento, em comparação aos concluintes das universidades públicas. Dos alunos que se matricularam em cursos de bacharelado,

apenas 19,8% conseguiram concluir. Para os cursos tecnológicos não foi diferente, caindo para 16,8%, conforme Figura 2 e 3.

É comum, no universo acadêmico, alunos que se esforçam e se dedicam na mesma proporção, mas que não obtêm resultados similares tanto na absorção, quanto na reprodução da informação a que foram expostos. Existem diversos fatores que podem influenciar nessa situação, tanto fisiológicos, quanto psicológicos, culturais e/ou ambientais. O CENSU do Inep deixa claro a diversidade cultural dos alunos que se matriculam nas universidades brasileiras.

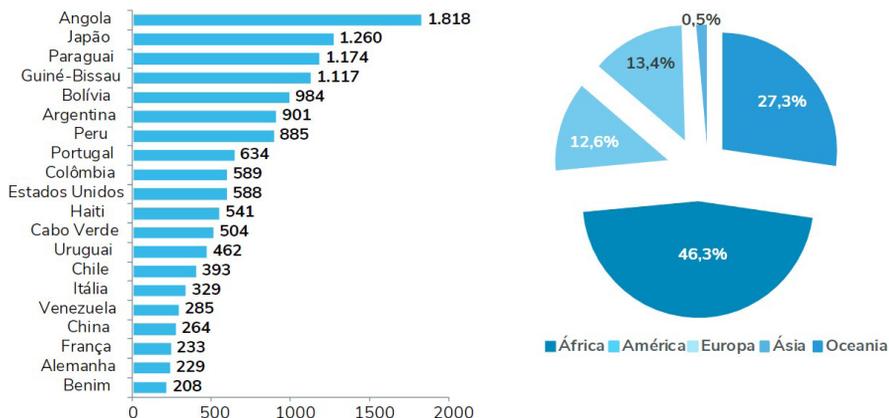
A proposta natural do ensino é que a solução para esse problema parta do aluno, forçando a adaptar-se a metodologias que não favorecem seu aprendizado, no entanto, está claro que essa solução não é eficiente. Nesse trabalho é proposto observar esse problema pela ótica do professor.

Figura 2 – Concluintes em cursos de graduação, por grau acadêmico – Brasil – 2008-2018.



Fonte: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2019.

Figura 3 – Distribuição de matrículas em cursos de graduação, segundo o país e o continente de origem do estudante estrangeiro – brasil – 2018.



Fonte: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2019.

O professor humano é limitado a desenvolver uma mesma aula para vários alunos, pois a ideia de ministrar ao mesmo tempo uma aula diferente para vários alunos, ao mesmo tempo é pouco provável. Seria como tentar olhar para a esquerda, direita, para cima e para baixo ao mesmo tempo.

Outra ideia seria esse professor ensinar cada aluno individualmente, em horários diferentes, o que seria extremamente custoso para ambas as partes, além de existir uma grande diferença entre o número de alunos e professores disponíveis, que segundo o CENSU de 2018 do Inep, foram 173.868 professores para 580.936 alunos que se matricularam no ano de 2018 na rede pública e 210.606 professores para 2.864.999 que se matricularam no mesmo ano na rede privada. Percebe-se que a limitação dos professores não pode ser superada naturalmente.

Desse modo, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma solução para esse problema, através de um sistema auxiliar de ensino ao professor, através de um sistema computacional, que possibilite

a indivíduos com aspectos diferentes terem a possibilidade de obter conhecimentos similares, a partir de uma mesma informação, sendo essa informação transmitida de forma personalizada à complexidade da forma de aprendizagem de cada indivíduo.

Para alcançar esse objetivo, é necessário estudar os padrões de aprendizagem e como desenvolver um sistema autônomo, adaptável e evolutivo, capaz de mapear a complexidade de cada indivíduo, referente a forma de aprendizagem, de modo que lhe permita absorver o máximo de informações, não somente em termos de quantidade, mas de qualidade.

Ensino e aprendizagem

Para entrarmos no campo das teorias cognitivas é necessário primeiro entendermos o significado de cognição, aprendizagem e assimilação.

Segundo Macedo, Feltes, & Farias (2014), a cognição pode ser definida como a organização dos dados da realidade em uma rede semântica, para criar representações mentais, ou seja, conceitos, que por sua vez combinam-se em redes de significados para compreensão de uma realidade. Cognição é o ato ou processo de conhecer, que envolve atenção, percepção, memória, raciocínio, juízo, imaginação, pensamento e linguagem, a palavra tem origem nos escritos de Platão e Aristóteles. De uma maneira mais simples, podemos dizer que cognição é a forma como o cérebro percebe, aprende, recorda e pensa sobre toda informação captada através dos cinco sentidos.

A palavra aprender vem do latim “*apprehendere*” (apanhar, apreender), e pode ser definido como tomar conhecimento e reter na memória, mediante o estudo, a observação ou a experiência, desse modo, tornar-se apto ou capaz de alguma coisa, em consequência de estudo, observação, experiência, advertência etc. (FERREIRA,

1999), ou seja, aprender é tomar conhecimento de uma informação, retendo-a na memória, mediante o estudo, a observação, advertência ou a experiência.

Assimilar, segundo Basso (2000), pode ser definido como a incorporação dos dados da realidade nos esquemas disponíveis no indivíduo, constituindo o processo pelo qual as ideias, pessoas, costumes são incorporados à atividade do sujeito. A ideia da assimilação refere-se ao receber uma informação e torná-la sua, ou seja, estabelecer significância particular daquela informação.

Este processo não ocorre da mesma forma na maioria dos indivíduos, pois a complexidade da consciência humana, pode ressignificar uma mesma informação de diversas maneiras, por exemplo, em um certo dia você decide procurar um filme para assistir ou um livro para ler e no processo de escolha estabelece um interesse por um e despreza outros na naquele momento. Em certos casos você estabelece uma definição de que nunca leria ou assistiria aquele filme, no entanto, muitas vezes sem perceber, você acaba em contato com o livro ou o filme e cria uma conexão positiva com o mesmo, pois neste novo momento estes elementos receberam um novo significado, pois foram observados em um novo contexto.

Teorias de aprendizagem

Este trabalho tem como base a possibilidade de estabelecimento de estratégias de aprendizagem para cada indivíduo, de acordo às suas características de aprendizagem, a fim de otimizar a cognição. Para que um sistema computacional seja capaz de “entender” como um ser humano aprende, é preciso estabelecer padrões de aprendizagem. Desse modo o STI poderá inferir a melhor estratégia de ensino.

Inatismo x Empirismo

Platão defendia que a inteligência racional é algo inato, ou seja, algo que não pode ser aprendido, mas que parte de uma configuração biológica pré-programada. Segundo Huisman & Vergez (1984), René Descartes funda o racionalismo, postulando que a única forma para se conhecer a verdade é por meio do uso da razão. Ele entendia que Deus criou tudo racionalmente, sem considerar os elementos que circundam a racionalidade. Descartes defendia que os estímulos do meio não influenciavam as definições da mente, sendo estes totalmente distintos.

Essa ideologia não foi aceita pelos filósofos Locke e Hume, que se posicionaram radicalmente no sentido oposto, em que o ser humano nasce sem nenhum conhecimento, tal como uma folha de papel em branco, mas este conhecimento é adquirido e desenvolvido a partir das interações com o meio. Desse modo, o racionalismo de descartes é classificado dentro do inatismo, e as ideias de Loke e Hume são empiristas (FREITAS et al., 2016).

Behaviorista

A concepção comportamentalista também conhecida como *behaviorista* ou ambientalista, enfatiza a ação do meio externo como fator principal no desenvolvimento e constituição das características do indivíduo, tal como o raciocínio, os hábitos, valores e formação de ideias. Preocupa-se em explicar o comportamento do educando a partir de observações de aspectos como sua conduta, desejos, fantasias, sentimentos, raciocínio, entre outros. Considera de suma importância comparar, testar, experimentar, medir e controlar a aprendizagem e o comportamento do educando (BAUM, 2019).

A concepção ambientalista baseia-se no empirismo que é uma corrente que relaciona o conhecimento do indivíduo à percepção

sensorial do mesmo. O criador da teoria e dos seus princípios foi o americano *Skinner*, sendo o principal fundamento a preponderante influência do ambiente sobre o indivíduo, superando até mesmo o desenvolvimento biológico.

Segundo Carrara (2005) os estímulos controlam a frequência de aparição dos comportamentos, podendo aumentar, diminuir, aparecer em certas ocasiões ou provocar uma mudança do comportamento. A regra básica é que certos estímulos (reforço), aumentam a frequência dos comportamentos positivos, e outros estímulos (punição), diminuem a frequência de comportamentos negativos. Na concepção ambientalista o educador tem valor extremamente significativo, sendo que ele atuará por vários estímulos como pontos, trabalhos, atividades caprichadas, nota qualitativa dentre outros. Nesse contexto, o aprendizado é a mudança de comportamento do indivíduo, percepção aos estímulos gerados pelo meio.

Socioconstrutivismo

O construtivismo não se prende aos extremos do empirismo e do racionalismo, mas se baseia na composição das duas ideias, em que o conhecimento é estabelecido através das trocas entre o indivíduo e o meio. Como biólogo, especializou-se nos estudos do conhecimento humano, chegando a conclusão de que os organismos vivos tem a capacidade de se adaptar geneticamente a um novo meio (BASSO, 2000).

Dentro dessa perspectiva, cada indivíduo constrói suas ações e ideias através do contato com o meio, ou seja, os elementos que o circunda, em que cada novo contato, gera um novo aprendizado.

Jerome Bruner, doutor na Universidade de Harvard, desenvolveu uma psicologia centrada na ressignificação das ações e reações, que os indivíduos produzem e assimilam em contexto situacional e cultural

(PRAS, 2012). Para Bruner, a cultura é um dos principais fatores que orientam os indivíduos à significação das informações que geram conhecimento (CORREIA, 2003). Ele desenvolveu três premissas: (1) aprendizado é um processo ativo do sujeito; (2) a estrutura cognitiva do sujeito é o fundamento para a aprendizagem (estrutura cognitiva: esquemas e modelos mentais); (3) o conhecimento aprendido fornece significado e organização à experiência do sujeito. Sua teoria é estruturada em quatro princípios:

- **Motivação:** Todo ser humano tem vontade de aprender. Pois existe uma curiosidade natural que nos impulsiona ao ato cognitivo.
- **Estruturação:** O aprender está baseado em promover a cognição e categorizá-lo. De acordo com (GOLDINHO, 2020), a categorização acontece da seguinte forma: escolha de informação, geração de proposições e simplificação.
- **Sequência:** O desenvolvimento do intelecto acontece numa sequência. O indivíduo se relaciona com a realidade segundo suas categorias. As categorias apresentam signos e significados diferentes na aprendizagem.
- **Reforçamento:** Para que possamos perceber nosso desenvolvimento no processo cognitivo, Bruner acredita que precisamos receber feedback. O modelo espiral sugere a retomada do conhecimento através de outras táticas instrucionais, o qual deve ser aplicado no processo cognitivo.

Sistema de tutor inteligente

Ainda hoje existe muita especulação sobre a possibilidade de fazer sistemas computacionais pensarem como um ser humano. O objetivo desse trabalho não é desenvolver um ser pensante, capaz de copiar exatamente as configurações de racionalidade de um ser humano, mas sim de propor um software capaz de reconhecer,

assimilar padrões e, de forma autônoma, estabelecer o melhor roteiro possível de ensino/aprendizagem para cada indivíduo, por isso chamado de Sistema Tutor Inteligente.

Segundo Frasson & Gauthier (1990), por volta da década de 70 e 80, a palavra tutor tinha um significado muito diferente, pois era embasada no paradigma educacional comportamentalista ou *behaviorista* de Skinner, que condiz com a teoria do *Learning 1.0*, em que o tutor é o único que possui conhecimento e os alunos (do latim *alumnus*, sem luz, sem conhecimento), participam do processo de aprendizagem apenas como ouvintes (EVANS, 2019).

Com o surgimento e implantação de outros paradigmas, como o construtivista, a partir da década de 90, o papel do tutor passa para um assistente do processo de aprendizagem. Hoje o tutor representa um colaborador, mediador, moderador, gerenciador, negociador ou mesmo facilitador desse processo, evoluindo segundo o *Learning 3.0*, em que o aluno deixa de ser um mero ouvinte e passa a ser um colaborador. Assim, o processo de aprendizagem deixa de ser unilateral e passa a ser bilateral, ou seja, o professor também aprende. Abaixo, algumas definições de sistema tutor inteligente. Segundo Wenger (1987), sistemas tutores inteligentes são sistemas computacionais que possuem modelos instrucionais e estratégias de ensino que especificam quais conteúdos ensinar e como ensinar ao estudante.

Segundo Polson & Richardson (1988), para ser considerado um sistema tutor inteligente é necessário ser aprovado em três testes:

- Primeiro: O mediador do assunto precisa ter conhecimento do domínio, a ponto de ser capaz de fazer inferências e resolver problemas.
- Segundo: O sistema deve ser capaz de medir o nível de conhecimento do aprendiz, em relação a esse domínio de conhecimento.

- Terceiro: O sistema deve ser capaz de gerir estratégias que possam reduzir a diferença de seu conhecimento e do aprendiz.

Segundo Loinaz (2001), as características importantes de um STI são:

- O conhecimento do domínio está restrito e claramente articulado.
- Possuem conhecimento do aluno que lhes permite dirigir e adaptar o ensino.
- A sequência do ensino não está predeterminada pelo designer instrucional.
- Realizam processos de diagnóstico mais adaptados ao aluno e mais detalhados.
- A comunicação Tutor-Aluno melhora, permitindo que o aluno realize perguntas ao tutor.
- As estratégias tutoriais devem ser projetadas para reduzir a discrepância entre o conhecimento do especialista e o conhecimento do aluno.

Arquitetura de um sistema tutor inteligente

Os STI são constituídos, basicamente, por quatro módulos ou modelos, que servem para setorizar funções do STI, a fim de prover escalabilidade e melhor operabilidade. De acordo com Gavidia & Vasco (2003), os modelos são chamados de Modelo do Estudante (administra o perfil do estudante), Modelo do Domínio (administra as informações do domínio de conhecimento), Interface (administra a interface) e o Modelo Tutor, é responsável pela organização, seleção e permutação da estratégia de ensino. Ele se comunica com o modelo do aluno e baseando-se nas informações contidas no instante da busca de informações do modelo do aluno, ele seleciona

as estratégias e táticas mais adequadas de ensino. Essa interação representa o aprendizado do modelo tutor, se adaptando à evolução do aluno. Para tanto é preciso se preocupar com alguns pontos.

- Qual o momento adequado de interromper o aluno? Quais motivos para interromper?
- O que se deve dizer? Este ponto se divide em duas partes:
 - Escolha do(s) tópico(s) a ser apresentado(s);
 - Organização e ordem de apresentação dos tópicos, se houver mais de um.
 - De que forma dizer?

O terceiro ponto é considerado o de maior dificuldade de execução, por conta da diversidade de individualidade entre os alunos. Desse modo existem limitações para realizar a inferência da estratégia adequada. Essa limitação se aplica tanto ao STI, quanto um tutor humano.

A ideia de um sistema capaz de ensinar um ser humano não é nova e apesar de não se saber ao certo quando foi desenvolvido o primeiro modelo de STI, (CARVALHO & FLORES, 2012) afirmam que por volta do ano 2000, a rede neural começou a ser inserida no desenvolvimento desse tipo de projeto, otimizando características relacionadas à autonomia e desempenho do STI. Neste trabalho, foi escolhido o framework JADE (*Java Agent Development framework*) para cumprir esse papel.

É uma IDE *open source*, desenvolvido e mantido pela Universidade de Parma, na cidade de Torino – Itália. Escrito inteiramente em JAVA, para a criação de aplicativos baseados em agentes, seguindo os padrões da FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*), para interoperabilidade entre sistemas multiagentes (Telecom Italia, 2020). O JADE é multiplataforma e oferece um conjunto de ferramentas que simplificam a implementação.

Esse framework tem o poder de gerenciar, remotamente, sistemas multiagentes rodando em máquinas distintas, de acordo à configuração de cada projeto, além de um conjunto de ferramentas gráficas para facilitar a identificação e mapeamento dos agentes, seus comportamentos e relacionamentos. Os comportamentos dos agentes são definidos e inicializados em uma função chamada *Setup*, e quando acionados, se comportam de forma assíncrona, trabalhando individualmente ou se relacionando com outros agentes, para alcançar objetivos. Para finalizar um agente, utiliza-se a função *TakeDown*.

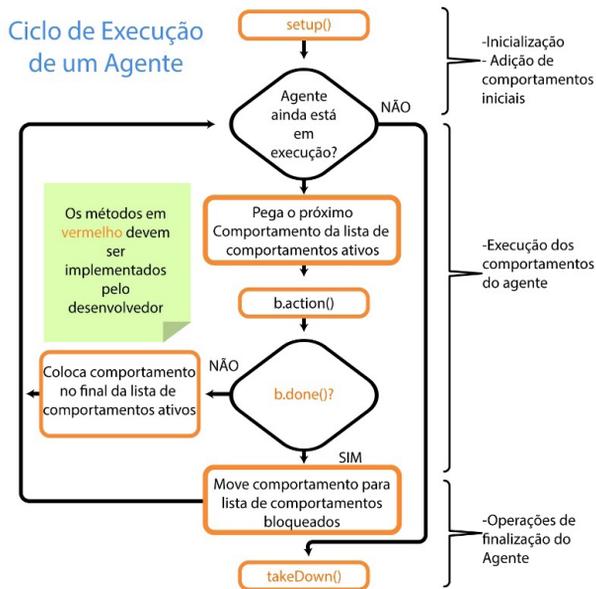
Na mente humana, os responsáveis por receber, integrar e encaminhar informações em forma de mensagem, são os neurônios (MOREIRA, 2017). Eles são compostos por dendritos, soma ou corpo celular e axônio. O axônio, também conhecido como “cilindro-eixo”, é especializado na transmissão de informações, sob a forma de um “impulso elétrico”. Desse modo, são “unidades celulares morfofuncionais excitáveis” do “Sistema Nervoso”, altamente especializadas na “recepção e transmissão de estímulos”, operacionalizando-os e os transformando em impulsos nervosos, ou seja, sinais elétricos (MOREIRA, 2017).

O JADE proporciona uma abstração desse sistema, através de tarefas simples, mas poderosas, permitindo a composição de modelos, formando sociedades de agentes e o uso do paradigma de transmissão de mensagens assíncronas. O JADE é baseado em orientação a objetos, desse modo, um Agente Inteligente nada mais é do que um objeto. O AID é um objeto que comporta as principais informações do agente, tais como nome e endereço na plataforma onde está inserido. mostra a estrutura de um agente de acordo com a ordem de execução. Os agentes estão inseridos em um contêiner, que por sua vez fazem parte de uma plataforma.

Uma plataforma pode conter vários contêineres e em um contêiner pode ter vários agentes, caracterizado uma sociedade de agentes. Os agentes de uma plataforma podem interagir com outros agentes da mesma plataforma ou de plataformas diferentes. Cada agente possui dois nomes, um para ser visto globalmente e outro que o torna conhecido apenas entre os agentes da mesma plataforma, ambos contidos no AID.

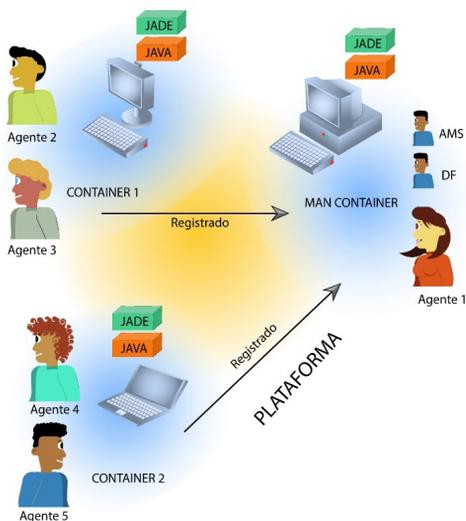
Ver Figura 4 e Figura 5.

Figura 4 – Arquitetura de um agente segundo Java.



Fonte: Elaboração própria (2020).

Figura 5 – Sociedade de agentes segundo padrões do Java.



Fonte: Elaboração própria (2020).

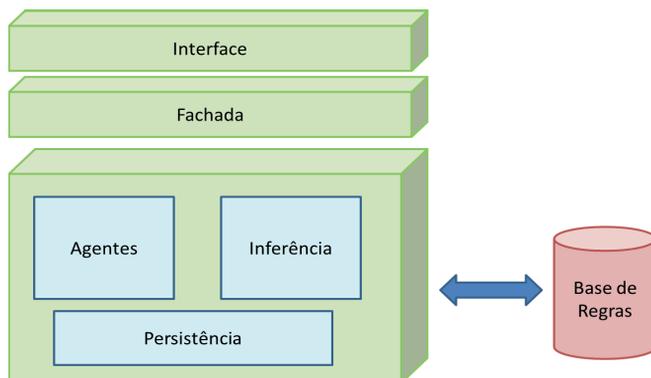
A interação entre os agentes acontece através de mensagens assíncronas, ou seja, cada agente possui uma fila de mensagens ou uma caixa de entrada. Assim o agente pode escolher o momento de ler a mensagem. A comunicação consiste basicamente na troca de informações e requisições de serviços entre os agentes do mesmo contêiner ou de contêineres diferentes. Segundo Silva (2009), essa comunicação entre os agentes é o que determina o comportamento da sociedade, pois como cada agente tem apenas parte da informação de todo o contexto, em um sistema complexo, eles precisam compartilhar essa informação para que o sistema funcione da forma esperada. As mensagens seguem o padrão FIPA – ACL, podendo ocorrer de forma direta (os agentes enviam mensagens diretamente um para o outro), assistida (caracterizada pela existência de um facilitador, que faz a intermediação em sistema federado) ou por difusão (*broadcast*). A classe responsável pela comunicação é a *ACLMessage*, que disponibiliza todos os métodos necessários.

Metodologia

O modelo tutor, administra as ações do STI referente ao estudante no momento da cognição, escolhendo as estratégias a serem utilizadas baseando-se nas características cognitivas do aluno. Essas informações são extraídas inicialmente através de um questionário com questões objetivas, relacionadas aos aspectos cognitivos do aluno, bem como questões relacionadas com o conteúdo a ser ensinado, para determinar a diferença entre o nível de conhecimento do aluno e do STI.

As respostas são armazenadas em uma base de dados, e a partir delas o perfil do aluno é traçado, assim como as táticas de ensino. O modelo tutor escolhe as táticas de ensino baseado no conjunto de respostas do aluno ao questionário, seguindo padrões pré-estabelecidos. Uma vez inferida a estratégia de ensino, o modelo tutor se comunica com o modelo domínio, para escolher qual conteúdo será apresentado, assim como a forma de apresentação (tabela, imagem, vídeo, texto, áudio ou questionários). O conteúdo é limitado à ementa da disciplina, sendo que o perfil do aluno é atualizado continuamente, mediante a interação entre o aluno e o STI. A arquitetura do sistema é mostrada na Figura 6.

Figura 6 – Arquitetura do sistema Tutor.



Fonte: Elaboração própria (2020).

- *Interface*: Para exibirmos o questionário ao estudante estamos usando uma interface gráfica do usuário (GUI). A qual foi desenvolvida na IDE NetBeans. Escolhemos esta ferramenta por permitir a construção da interface via manuseio gráfico de forma mais flexível.
- *Fachada*: Provê uma interface de comunicação entre a interface gráfica e o resto do sistema. Foi baseada no padrão *Facade* que é utilizado para diminuir a complexidade no relacionamento entre a classe que faz contato diretamente com o usuário (Interface) e as classes de processamento do sistema, além de elevar o nível da interface, o que torna o sistema mais fácil de utilizar. Isso reduz as dependências entre a interface gráfica e os outros módulos do sistema. E ainda, possibilitando a portabilidade do sistema para plataforma Web.
- *Persistência*: É responsável por armazenar e acessar a base de regras através de um conjunto de classes, que permite o programa de acessar o arquivo texto, onde as regras estão armazenadas.
- *Inferência*: Composta por um conjunto de classes que definem a estrutura da base de regras, com métodos que permitem o acesso e a edição de cada elemento da base de regras. Também é responsável por disponibilizar os métodos utilizados para fazer o processamento das estratégias específicas e identificação do perfil dos alunos.
- *Agentes Inteligentes*: São responsáveis por fazer e coordenar toda a movimentação do sistema, utilizando os módulos da persistência e inferência como ferramentas no auxílio ao “raciocínio”. A sociedade de agentes é definida pelos agentes Persistência, Coordenador e Tático.

- *Agente Persistência*: Agente que colabora como Coordenador, responsável por transmitir ao Agente Coordenador as regras armazenadas na base de dados.
- *Agente Coordenador*: Agente responsável por coordenar as atividades dos outros agentes. Solicitando do Agente Persistência as regras e enviando-as ao Agente Tático juntamente com as respostas do aluno.
- *Agente Tático*: Agente responsável por fazer o processamento das respostas do aluno do questionário, usando a base de regras e o mecanismo de inferência. Ele retorna ao Agente Coordenador a estratégia específica do estudante, ou seja, as ações que deverão ser tomadas.

Base de regras

Para que o modelo tutor possa inferir sobre qual estratégia de ensino utilizar, foram desenvolvidos padrões, baseado nas teorias de aprendizagem apresentadas anteriormente. Os padrões são produto da combinação das teorias, a fim de alcançar o máximo do potencial de ensino, possibilitando que o aluno perceba o conteúdo da melhor maneira possível.

A ideia da configuração dos padrões é associar um conjunto de táticas à teoria correspondente. Por exemplo, a teoria comportamentalista ou *behaviourista*, trabalha com a ideia de reforço, recompensando ou punido o aluno. Desse modo, as táticas associadas a essa teoria são uso de jogos, método socrático, hipertexto, imagens, vídeos e tabelas. Ou seja, táticas que permitam uma interação de avaliação da cognição do aluno. A teoria socioconstrutivista define que o indivíduo adquirir conhecimento sobre algo quando atua sobre ele e o expande com a interação social. Logo as táticas associadas são resumo pessoal, revisão com perguntas objetivas, revisão com

perguntas subjetivas, dados em forma de gráficos e situações problema. Ou seja, táticas que levem à reflexão e interações externas.

Para que o modelo tutor possa avaliar o perfil do aluno e escolher a melhor estratégia de ensino, foi elaborado um questionário composto de 20 questões, em que quinze delas foram abstraídas do ILS e 5 foram formuladas. O *Index of Learning Stiles (ILS)*, é uma ferramenta de avaliação do perfil de aluno, composta por 44 perguntas, desenvolvida por (FELDER & SOLOMAN, 1991). Abaixo segue o questionário proposto.

- 1) Eu entendo melhor um conteúdo depois de:
 - a. colocá-lo em prática.
 - b. refletir sobre ele
- 2) Prefiro avaliações
 - a. feitas com jogos
 - b. feitas com perguntas
- 3) Eu me considero uma pessoa:
 - a. Objetiva
 - b. Subjetiva
- 4) Quando aprendo algo novo, o que mais me ajuda é:
 - a. falar sobre o que aprendi
 - b. pensar sobre o que aprendi
- 5) Se eu fosse um professor, preferiria ensinar em um curso que:
 - a. tratasse de fatos e situações reais da vida
 - b. tratasse de ideias e teorias
- 6) Eu acho mais fácil aprender com:
 - a. conceitos concretos (fatos)
 - b. conceitos abstratos (teorias)

- 7) Prefiro estudar:
 - a. Grupo
 - b. Sozinho
- 8) Quando tenho que fazer uma tarefa, prefiro:
 - a. saber previamente como fazê-la
 - b. inventar novas maneiras de fazê-la
- 9) Eu prefiro obter novas informações em:
 - a. imagens, diagramas, gráficos ou mapas.
 - b. instruções escritas ou informação verbal.
- 10) Considerando que eu entendo:
 - a. todas as partes, eu entendo a coisa toda.
 - b. a coisa toda, eu vejo como as peças se encaixam.
- 11) Quando eu estou fazendo cálculos longos,
 - a. tendo a repetir todos os meus passos e verificar o meu trabalho com cuidado.
 - b. penso que checar meu trabalho é cansativo, mas me esforço a fazê-lo
- 12) Quando eu estou aprendendo um novo assunto, eu prefiro
 - a. manter o foco sobre esse assunto, aprendendo tanto sobre isso que eu puder.
 - b. tentar fazer conexões entre o assunto e assuntos relacionados.
- 13) Quando alguém está me mostrando dados, eu prefiro
 - a. tabelas ou gráficos.
 - b. texto resumindo os resultados.
- 14) Eu lembro com mais facilidade
 - a. algo que eu tenho feito.
 - b. algo que eu tenho pensado muito sobre.

15) Eu aprendo

- a. em um ritmo bastante regular. Se eu estudar muito, eu acabo assimilando.
- b. aos trancos e barrancos. Eu fico totalmente confuso e, de repente tudo acaba de encaixando.

16) Eu tendo a

- a. compreender os detalhes de um assunto, mas pode ser confuso sobre a sua estrutura global.
- b. compreender a estrutura geral, mas posso me confundir sobre os detalhes.

17) Eu aprendo melhor

- a. vendo uma situação em que se aplica o conceito e depois ver o conceito.
- b. ver o conceito e depois uma situação em que se aplica.

18) Gosto que me perguntem se estou entendendo

- a. após a explicação de um tópico
- b. após a explicação de todo o assunto

19) Prefiro

- a. Informar que não entendi
- b. Que me perguntem se entendi

20) Quando não entendo algo

- a. Gosto que repitam da mesma forma
- b. Que mudem o modo de explicação

Regras de inferência

Para que o programa seja capaz de formular a estratégia de ensino para cada indivíduo, desenvolvemos uma base de regras composta por

premissas, conectivos e ações. A estrutura da base de regras é simples, sendo as premissas as respostas dos alunos ao questionário, as quais são processadas com as regras descritas na Quadro 1.

Quadro 1 – Base de regras relacionadas ao questionário.

se	então
$1 = a \ \& \ 2 = a$	Revisão com jogos
$1 = a \ \& \ 2 = b \ \& \ 3 = a \ \& \ 8 = a$	Revisão com perguntas objetivas.
$1 = a \ \& \ 2 = b \ \& \ 3 = b \ \& \ 8 = a$	Revisão com perguntas subjetivas.
$1 = b \ \ 3 = b$	Método socrático
$1 = a \ \ 3 = a$	hipertexto
$4 = a \ \ 14 = b$	Resumo pessoal
$5 = a \ \ 6 = a \ \ 9 = a$	Utilizar imagens e vídeos e hipertexto, hiperímídia
$5 = b \ \ 6 = b \ \ 9 = b$	Método socrático e Resumo Pessoal
$7 = a$	Simulador de colegas
$10 = a$	Método por partes
$10 = b$	Método do todo
$11 = a$	Revisão instantânea
$11 = b$	Decide Revisão
$13 = a$	Dados em tabela
$15 = a$	Dados estatísticos de progresso, método behaviourista
$16 = a$	Revisão total
$16 = b$	Revisão selecionada
$17 = a$	Método motivação, Situação problema
$17 = b$	Exemplos no final
$18 = a \ \& \ 19 = b$	Interromper tópico
$18 = b \ \& \ 19 = b$	Interromper assunto
$19 = a$	Aguardar interromper
$20 = a$	Repetir explicação
$20 = b$	Situação problema

Fonte: Elaboração própria, 2020.

A lógica para a confecção da tabela de regras, é a implementação de inferência booleana. Por isso o questionário não oferece mais de duas alternativas, não possibilita o aluno escolher mais de uma resposta, as alternativas são subjetivas e distintas. Desse modo se, por exemplo, a resposta à primeira pergunta do questionário for a letra 'A' (colocá-lo em prática), sistema deve inferir que estratégias que utilizam experiências motoras e/ou sensoriais.

Baseado nessa perspectiva, a estratégia de jogos é a que oferece a maior diversidade dos estímulos citados. Seguindo essa análise, a alternativa 'B' deve apresentar uma opção o mais distinta possível sem se distanciar da pergunta. Por conta disso, baseado na alternativa 'B' (refletir sobre ele), o sistema deve inferir que este indivíduo atinge maior potencial de aprendizagem com estratégias que não envolvam tanto o estímulo motor, mas que o motive a revisar ideias, conceitos ou informações que já foram transmitidas. Quando as regras se assemelham sobre a(s) estratégia(s) de inferência, utiliza-se os conectivos (E / OU), com objetivo de tornar a inferência mais precisa e reduzir ao máximo as ambiguidades.

Teorias de aprendizagem e táticas

De acordo com a inferência, baseado na tabela de regras, as táticas de ensino são definidas, compondo assim uma estratégia personalizada para o aluno. Os quadros 2, 3 e 4 mostram as táticas que podem ser selecionadas. As táticas, por sua vez, são definidas baseado no conceito fundamental de cada teoria de aprendizagem. Por exemplo, a tática "Revisão com jogos" está relacionada à teoria comportamentalista, visto que os alunos podem aprender com os acertos e erros, sendo punido de diversas formas por seus erros, fazendo-o refletir e gerar uma memória de correção quando se deparar com um problema similar, assim como pode receber prêmios e bônus no jogo pelos seus acertos. Já a tática "Revisão com perguntas

subjetivas”, baseia-se na perspectiva reflexiva do socioconstrutivismo, estimulado o aluno a utilizar os recursos adquiridos pelas suas diversas interações ao longo da sua vida (conhecimento informal) aliado ao conhecimento formal para formular respostas.

Quadro 2 – Descrição das táticas instrucionais.

Teoria de Aprendizagem	Tática	Descrição
Comportamentalista	Revisão com jogos	É a estratégia coaching, onde utiliza-se jogos e brincadeiras para avaliar o conhecimento do aluno.
Comportamentalista	Revisão com perguntas objetivas. Utilizar exemplos	Questionário com perguntas objetivas com 4 opções de resposta (a, b, c, d), o tutor mostra um exemplo respondido.
Socioconstrutivista	Revisão com perguntas subjetivas. Utilizar exemplos	Questionário com perguntas subjetivas, podendo requerer do aluno que responda a uma pergunta com suas palavras ou faça a correção de uma sentença.
Comportamentalista	Método socrático	Cria uma situação contextualizada questionando os conceitos apresentados.
		Cria uma situação diferente da já mostrada na explicação do conteúdo.
Socioconstrutivista	Resumo pessoal	Propõe que o aluno faça um resumo ao final de cada assunto com os principais pontos vistos. Este resumo será usado pelo aluno em qualquer momento que desejar, inclusive nos momentos de revisão.
Comportamentalista	Utilizar imagens, vídeos e hiperlinks	O tutor utiliza imagens e vídeos para exemplificar situações relacionadas ao conteúdo, fazendo com que o educando possa fazer contato sensorial com o objeto de estudo.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Quadro 3 – Descrição das táticas instrucionais.

Socioconstrutivista	Simulador de colegas	Esta tática cria colegas virtuais que poderão fazer interrupções no decorrer da explicação do conteúdo, perguntando algo ao educando como se estivesse com dúvida e se ele não puder responder o educando solicitará ao tutor que o faça. Muitas vezes o aluno tem uma dúvida que ele mesmo desconhece, este método auxilia a expor e a esclarecer.
Socioconstrutivista	Método por partes	Divide e organiza os tópicos de um assunto e os apresenta em uma sequência lógica. Ao final faz a recapitulação fazendo a ligação de cada tópico com o assunto geral.
Socioconstrutivista	Método do todo	Apresenta o conteúdo sem divisões de tópicos.
Socioconstrutivista	Revisão instantânea	Pergunta ao aluno se ele conseguiu compreender o tópico, se não ele faz a tomada dos principais pontos. Isso ocorre em todos os tópicos.
Comportamentalista	Dados em tabela	Expõe em tela os dados estatísticos em forma de tabela ou diagrama. Tais como os nomes e as notas de uma turma.
Comportamentalista	Dados estatísticos de progresso	Para os educandos que tem um ritmo de estudo, este método mostra o desenvolvimento ao decorrer do processo cognitivo estabelecendo metas para o aluno e se ele as alcança o tutor o premia com pontos se não o tutor o pune retirando pontos. Ao final do estudo o nome do aluno é adicionado a um <i>ranking</i> segundo sua pontuação.
Socioconstrutivista	Revisão total	Faz a revisão de todo o bloco em que o aluno se encontra.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Quadro 4 – Descrição das táticas instrucionais.

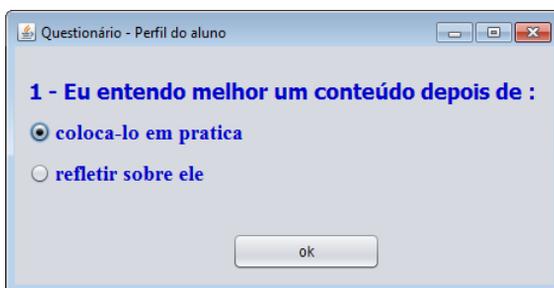
Socioconstrutivista	Revisão selecionada	Faz a revisão apenas dos tópicos que o aluno sentiu dificuldade de compreensão
Comportamentalista	Método motivação	Antes de explicar um assunto o tutor mostra situações onde aquele conteúdo pode ser aplicado, mostrando fatos históricos ou exemplos cotidianos.
Socioconstrutivista	Interromper tópico	Pergunta ao educando se ele compreendeu o conteúdo após um tópico ser explicado.
Socioconstrutivista	Interromper assunto	Pergunta ao educando se ele compreendeu o conteúdo após todo o conteúdo ser explicado.
Socioconstrutivista	Aguardar interromper	Espera que o aluno informe a dificuldade em compreender um conteúdo.
Socioconstrutivista	Repetir explicação	Repete a explicação do mesmo modo que foi explicado.
Socioconstrutivista	Situação problema	Apresenta uma situação para simulação de um problema, apresentando a solução ou solicitando que o aluno proponha uma.
Socioconstrutivista	Mudar situação	Mostra uma situação diferente da que já foi mostrada para explicar o conteúdo.
Comportamentalista	Exemplos no final	Ao final do assunto mostra situações onde podem ser aplicados os conhecimentos do assunto ou fatos históricos relacionados.
Comportamentalista	Decide Revisão	Este método pergunta ao aluno ao final de cada tópico ou assunto, se ele deseja revisão e que tipo de revisão deve ser feita.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Resultados e discussões

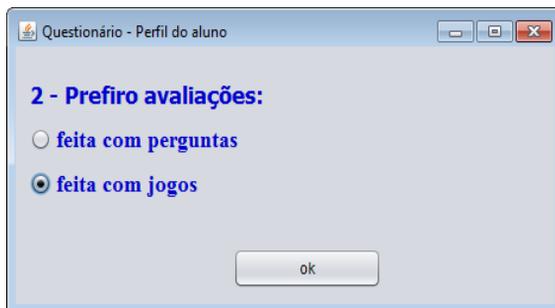
Apresentaremos nesta seção o processo de funcionamento da versão desktop do Modelo Tutor, desenvolvido na plataforma JADE. Para facilitar a compreensão utilizaremos três das 20 perguntas do questionário, através das quais, simularemos a interação do estudante com o programa. As Figuras 7, 8, 9 e 10 mostram o primeiro contato do indivíduo com o programa através da interface com o questionário.

Figura 7 – 1ª pergunta do estudo de casos.



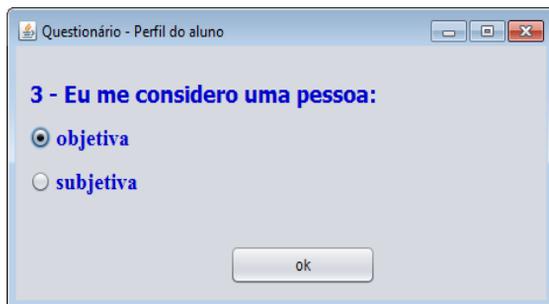
Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 8 – 2ª pergunta do estudo de casos.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 9 – 3º pergunta do estudo de casos.



Questionário - Perfil do aluno

3 - Eu me considero uma pessoa:

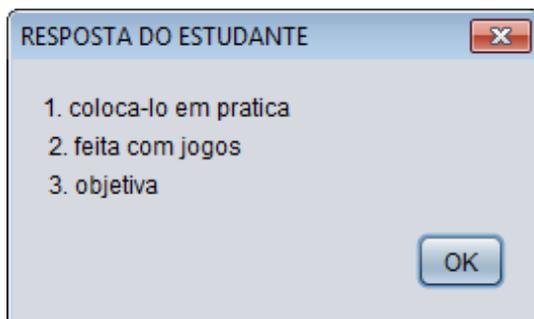
objetiva

subjetiva

ok

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 10 – Resumo das respostas.



RESPOSTA DO ESTUDANTE

1. coloca-lo em pratica
2. feita com jogos
3. objetiva

OK

Fonte: Elaboração própria, 2020.

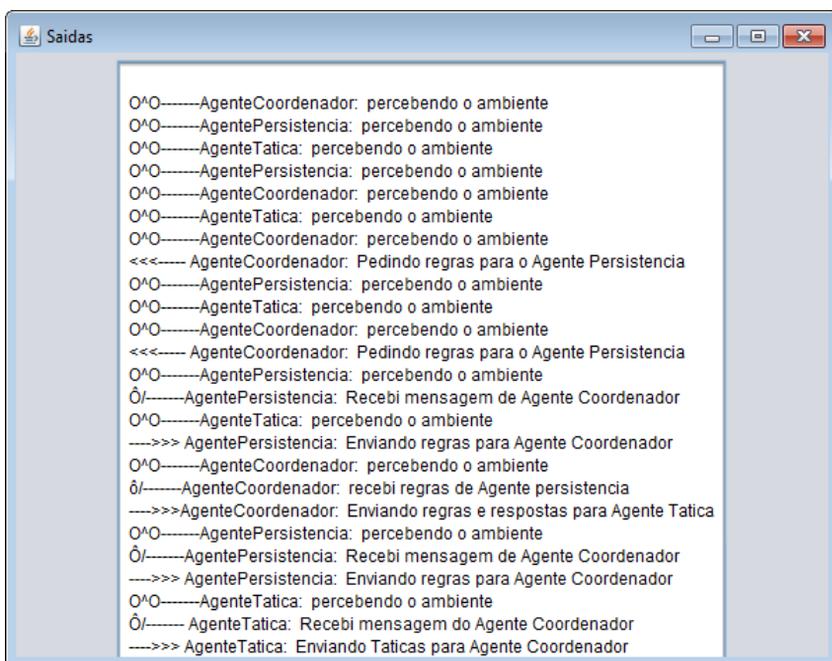
Após a confirmação, o STI inicia o processo de inferência. A Figura 11 mostra a comunicação entre os agentes durante o processo, com alguns símbolos no canto esquerdo para referenciar aos tipos de mensagens geradas na interação. Abaixo segue a legenda dos símbolos (Quadro 5).

Quadro 5 – Legenda dos símbolos que representam o status de comunicação entre os agentes.

Símbolo	Descrição
O^O	Símbolo que representa a ativação do sensor do agente
<<<----	Inicialização de uma solicitação
---->>>	para referenciar o envio das regras e/ou respostas
ô/	aparece quando o recebimento de uma mensagem é confirmado

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 11 – Log de comunicação entre agentes.



```

O^O-----AgenteCoordenador: percebendo o ambiente
O^O-----AgentePersistencia: percebendo o ambiente
O^O-----AgenteTatica: percebendo o ambiente
O^O-----AgentePersistencia: percebendo o ambiente
O^O-----AgenteCoordenador: percebendo o ambiente
O^O-----AgenteTatica: percebendo o ambiente
O^O-----AgenteCoordenador: percebendo o ambiente
<<<----- AgenteCoordenador: Pedindo regras para o Agente Persistencia
O^O-----AgentePersistencia: percebendo o ambiente
O^O-----AgenteTatica: percebendo o ambiente
O^O-----AgenteCoordenador: percebendo o ambiente
<<<----- AgenteCoordenador: Pedindo regras para o Agente Persistencia
O^O-----AgentePersistencia: percebendo o ambiente
Ô/-----AgentePersistencia: Recebi mensagem de Agente Coordenador
O^O-----AgenteTatica: percebendo o ambiente
---->>> AgentePersistencia: Enviando regras para Agente Coordenador
O^O-----AgenteCoordenador: percebendo o ambiente
ô/-----AgenteCoordenador: recebi regras de Agente persistencia
---->>>AgenteCoordenador: Enviando regras e respostas para Agente Tatica
O^O-----AgentePersistencia: percebendo o ambiente
Ô/-----AgentePersistencia: Recebi mensagem de Agente Coordenador
---->>> AgentePersistencia: Enviando regras para Agente Coordenador
O^O-----AgenteTatica: percebendo o ambiente
Ô/----- AgenteTatica: Recebi mensagem do Agente Coordenador
---->>> AgenteTatica: Enviando Taticas para Agente Coordenador
  
```

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Por fim a estratégia específica do aluno está completa e pode ser implementada em seu processo instrucional. (Figura 12). Na Figura 13 é exibido o arquivo de texto utilizado para armazenamento de regras.

acordo a sua singularidade na forma de aprender, utilizando teorias de aprendizagem.

A técnica desenvolvida para atingir o objetivo principal desse trabalho, apesar de simples, se mostrou eficaz. É preciso estar sempre atento ao fato de um sistema computacional, convencional, depender de um conjunto de regras não ambíguas para realizar uma inferência, que leve a um resultado não vazio. Desse modo, a base de regras, em conjunto com o questionário, possibilita reduzir a possibilidade de geração de inferências conflituosas. Com isso a estratégia para ensino do aluno, de forma personalizada, se tornou possível. A etapa seguinte, de realização efetiva do ensino, depende do desenvolvimento dos demais módulos.

É então proposto, como trabalhos futuros, o desenvolvimento dos demais módulos para realização de teste com indivíduos humanos e análise da viabilidade e eficiência do sistema. Apesar de já ser possível perceber a diferença no ensino gerado por um STI em comparação a sistema estático. As aplicações para esse sistema não se restringem ao meio acadêmico, pois não tem acoplamento com o conteúdo e sim com quem está aprendendo. Um exemplo de um outro contexto é o industrial, tal como a indústria 4.0, que surgiu por volta de 2011 e implementa um sistema assistente, com objetivo de otimizar a produção dos funcionários, sem requerer que este seja um especialista na tarefa a ser desenvolvida (SIGAHI & ANDRADE, 2017). Desse modo o STI é uma ferramenta com múltiplas aplicações, mas que precisa ser mais explorado.

Referências

BASSO, Cíntia Maria. Algumas reflexões sobre o ensino mediado por computadores. **Linguagens & Cidadania**, UFSM, Santa Maria, v. 2, n. 2, 2000. Disponível em <https://periodicos.ufsm.br/LeC/article/view/31521>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

BATISTA, A. F. **Desenvolvimento de Agentes na Plataforma JADE**. 2008. Disponível em: https://jade.tilab.com/doc/tutorials/no_English/ManualJadePortuguese.pdf. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

BAUM, William M. **Compreender o Behaviorismo-: Comportamento, Cultura e Evolução**. Artmed Editora, 2018.

BEZERRA, J. **Filosofia Medieval**. Disponível em <https://www.todamateria.com.br/filosofia-medieval/>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

CARRARA, Kester. **Behaviorismo radical**. UNESP, 2005.

CARVALHO, Sirlon Diniz de. **Modelo híbrido de sistema tutor inteligente utilizando conhecimento do especialista e mapas de Kohonen com treinamento automatizado**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

CAVALCANTI, Lana de Souza. **Geografia, escola e construção de conhecimentos**. Campinas, SP: Papyrus, 2003.

CORREIA, Mônica F. A constituição social da mente:(re) descobrindo Jerome Bruner e construção de significados. **Estudos de Psicologia (Natal)**, v. 8, n. 3, p. 505-513, 2003.

EVANS, R. **E-learning 1.0, 2.0, and 3.0 in Higher Education**. Libri Publishing, 2019.

FELDER, Richard M.; SOLOMAN, Barbara A. **Index of learning styles**. Raleigh, NC: North Carolina State University. Available online, 1991.

FERREIRA, Aurélio B. H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FRASSON, Claude; GAUTHIER, Gilles (Ed.). **Intelligent Tutoring Systems: At the crossroad of artificial intelligence and education**. Intellect Books, 1990.

FRAZÃO, D. **Ludwig van Beethoven**. Disponível em: <https://www.ebiografia.com/beethoven/>. Acesso em: 15 de agosto de 2020.

FREITAS, M.; PINTO, R. O.; FERRONATO, R. F. **Psicologia da educação e da aprendizagem**. Londrina - Pr: Editora e Distribuidora Educacional S. A, 2016.

GAVIDIA, Jorge Juan Zavaleta; ANDRADE, Leila Cristina Vasconcelos de. **Sistemas tutores inteligentes**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro–RJ: UFRJ, 2003.

GOLDINHO, C. E. **Teoria Sócio-Construtivista: Um Olhar sobre a perspectiva de Bruner e Coll**. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/educacao/teoria-socio-construtivista-um-olhar-sobperspectiva-.htm>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

HUISMAN, Denis; VERGEZ, Andre. **História dos filósofos ilustrada pelos textos**. Freitas Bastos, 1984.

JANVIER, William; GHAOUI, Claude. Replicating human interaction to support E-learning. **Encyclopedia of Human Computer Interaction**, 2005.

JUNIOR, N. V.; DUTRA, C. E.; PEREIRA, S. E. **Estudo de Validação do Índice de Estilos de Aprendizagem de Felder e Soloman**. 2010. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/44154788/no-e-Elton-Estudo-de-Estilos-de-Aprendizagem>. Acesso em: 12 de agosto de 2020.

JÚNIOR, P. M. **Agatha Christie Biografia**. Universidade Federal de Pernambuco. 2007. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~pmgj/agatha/biografia.html>. Acesso em: 12 de agosto de 2020.

KAMERS, F. **PITÁGORAS DE SAMOS E O TEOREMA DE PITÁGORAS**. 2008. Disponível em: <https://www.ebiografia.com/pitagoras/>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

LOINAZ, M. U. Sistemas Inteligentes em el âmbito de la educación. **Revista Iberoamericana de Inteligência Artificial**, 2001.

MACEDO, A. C.; FELTES, H. P.; FARIAS, E. M. **Cognição e Linguística: Explorando territórios, mapeamentos e percursos**. Caxias do Sul: Educus, 2014.

MOREIRA, É. d. **Os Neurônios, As Sinapses, O Impulso Nervoso e os Mecanismos Morfo- Funcionais de Transmissão dos Sinais Neurais no Sistema Nervoso**. Volta Redonda: UniFOA, 2017.

POLSON, M. C.; RICHARDSON, J. J. **Foundations of Intelligent Tutoring Systems**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers. 1988.

PRÄSS, Alberto Ricardo. **Teorias de aprendizagem**. ScriniaLibris.com, p. 23, 2012.

SELF, John (Ed.). **Artificial intelligence & human learning: Intelligent computer-aided instruction**. Routledge, 1988.

SIGAHI, TFAC; ANDRADE, BC de. A Indústria 4.0 na perspectiva da engenharia de produção no Brasil: levantamento e síntese de trabalhos publicados em congressos nacionais. **XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Joinville, SC, 2017.

SILVA, Breno Caetano da. **Utilização de um sistema multi-agentes em redes de comunicação para a proteção digital de distância adaptativa**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009.

SILVA, R. B. **As doze mentes mais brilhantes da história da ciência**. 2014. Disponível em: <https://universoracionalista.org/as-doze-mentes-mais-brilhantes-da-historia-da-ciencia/>. Acesso em: 11 de agosto de 2020.

TELECOM ITALIA. **Jade: JAVA Agente DEvelopment Framework**. 2020. Disponível em: <https://jade.tilab.com/>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

VASCONCELOS, Y. **Os 10 filósofos mais importantes da história**. 2020. Disponível em: Super Interessante: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/os-10-filosofos-mais-importantes-da-historia/>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

WENGER, E. **Artificial intelligence and tutoring systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1987.

Sensoriamento espectral em redes cognitivas

*Joel Eugênio Cordeiro Júnior
José Valentim dos Santos Filho*

Introdução

Nos últimos anos, o número de serviços de comunicação sem fio tem crescido expressivamente. O advento de novos paradigmas de computação, como Computadores Vestíveis (*Wearable Computing*) e Computação em Nuvens (*Cloud Computing*), trouxe novos produtos que fazem uso constante do espectro de frequências de rádio, como *smartphones*, *smartwatches*, *smartbands* e *smart tvs*. Alguns desses dispositivos fazem uso de diferentes tecnologias wireless, consumindo banda em faixas do espectro distintas. Além disso, muitos serviços passaram a ser oferecidos por Nuvens, como armazenamento de dados, streamings de músicas, filmes, séries e até mesmo games. Isso gerou um aumento significativo na demanda por uma conexão de banda larga de alta disponibilidade, porém isso apresenta um grande desafio no panorama atual de serviços wireless.

O espectro de frequências é um recurso limitado, e as faixas apropriadas para serviços de telecomunicação tem sido cada vez mais concorridas por diferentes tecnologias. O gerenciamento do espectro de radiofrequências é feito por órgãos regulamentadores que determinam quais faixas podem ser usadas e quem pode usá-las, além disso, especificam detalhes técnicos sobre o uso do espectro. A ITU (*International Telecommunication Union*) é o órgão internacional responsável por essa tarefa. No Brasil esse gerenciamento é realizado pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e

nos Estados Unidos pela FFC (*Federal Communication Commission*). Na maior parte do mundo o gerenciamento do espectro obedece à política de alocação fixa, onde faixas do espectro de rádio são alocadas à usuários mediante ao pagamento de uma licença. Dessa forma, o usuário detentor da licença tem o direito exclusivo sobre o uso de uma faixa do espectro.

A atual política de alocação fixa determina que diferentes faixas devem ser utilizadas por serviços específicos (radiodifusão, TV, telefonia etc.) (ANATEL, 2016). Entretanto, existem faixas não licenciadas que podem ser utilizadas por diferentes serviços e por qualquer usuário, como é o caso das faixas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que são faixas de rádio internacionalmente reservadas para fins industriais, científicos e médicos. Um exemplo de faixa ISM é a banda de 2,4 GHz compartilhada por diferentes padrões de tecnologia wireless, entre eles o IEEE 802.11 (Wi-Fi), o IEEE 802.15.1 (*Bluetooth*) e o IEEE 802.15.4 (*ZigBee*).

Nas faixas não licenciadas, diferentes tecnologias competem pelo mesmo recurso espectral, podendo causar interferências entre si, e diminuindo a qualidade dos serviços que utilizam essas faixas. Logo, o aumento da demanda por alocação de banda no espectro não pode ser resolvido pelas faixas não licenciadas. Além disso, quase todo espectro abaixo de 6 GHz se encontra alocado para usuários licenciados, o que impossibilita o aumento da largura de banda dos serviços atuais.

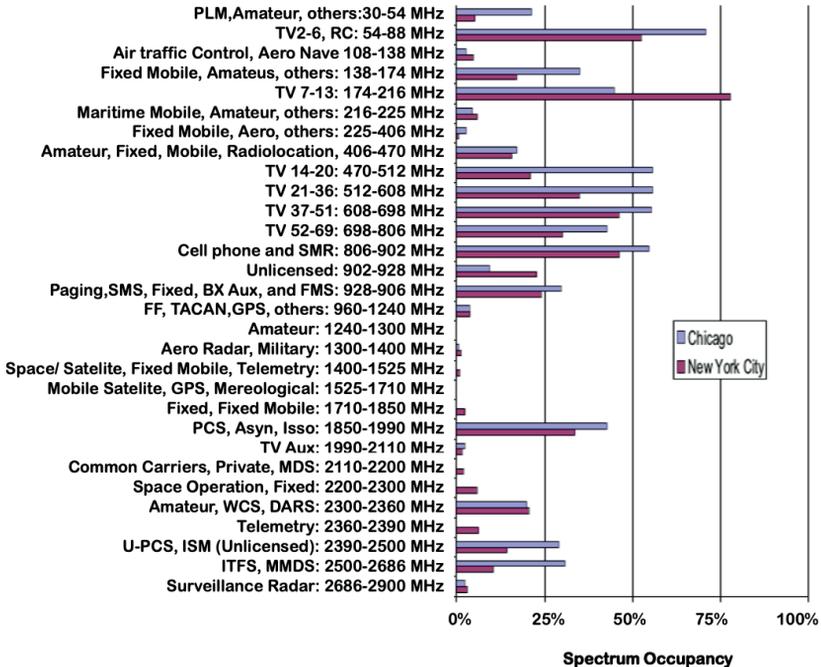
No Brasil, o fim da transmissão de TV analógica ilustra bem o atual cenário de escassez espectral. Com a chegada da TV Digital, a ANATEL planeja desalocar a faixa de 700 MHz, usada atualmente para difusão de canais de TV analógica, para dar lugar aos serviços de telefonia e internet de quarta geração (4G Long Term Evolution – LTE), ampliando esse serviço que desde 2013 já funciona na faixa de radiofrequência de 2,5 GHz (ANATEL, 2015). Essa realocação da

faixa de 700 MHz reflete o crescimento na demanda de serviços de banda larga móvel, e a escassez de faixas de radiofrequência não alocadas.

Estudos realizados em diferentes lugares do mundo mostram que, apesar de ser um recurso limitado, o espectro de frequências é subutilizado (FCC, 2002b; MCHENRY et al., 2006; ISLAM et al., 2008). A Figura 1 exibe a ocupação espectral média, por faixa, em duas cidades americanas, Chicago e New York. Nota-se que nenhuma faixa está ocupada completamente, e na maior parte das faixas de radiofrequência avaliadas, a ocupação espectral média é inferior a 50%.

O uso ineficiente do espectro é uma consequência da atual política de alocação fixa, que limita o direito de uso de uma faixa a um usuário licenciado, impedindo que outros usuários façam uso de uma faixa do espectro, mesmo quando essa faixa não é usada pelo detentor da licença. Por conta disso, nos últimos anos foi iniciado um debate que propõe reformas na atual política de gerenciamento do espectro (FCC, 2002a). Com isso, surgiram também pesquisas com o objetivo de desenvolver novas formas inteligentes e mais eficientes de utilizar o espectro, sem interferir nos sistemas licenciados. Surgiu então, o conceito de acesso dinâmico ao espectro, em inglês DSA (*Dynamic Spectrum Access*). Esse conceito sugere que usuários não licenciados possam fazer uso de faixas do espectro no momento em que essas faixas estiverem ociosas, sem interferir nos serviços dos usuários licenciados.

Figura 1 – Ocupação espectral média em Chicago e Nova York.



Fonte: Mchenry et al., 2006.

O IEEE 802.22 foi o primeiro padrão a usar o conceito DSA (CORDEIRO et al., 2005), ele estabelece os protocolos das camadas Física (*Physical Layer*) e de Enlace (*Link Layer*) de uma rede WRAN (*Wireless Regional Area Network*), através do acesso dinâmico às faixas UHF e VHF, usadas para transmissão de canais de TV. A principal proposta do IEEE 802.22 é prover acesso de banda larga em zonas rurais¹.

Nesse contexto, surge o Rádio Cognitivo (RC), dispositivo capaz de promover acesso dinâmico e oportunista ao espectro através do compartilhamento de canais de radiofrequência com usuários licenciados (AKYILDIZ et al., 2008). Dentre as principais funções de um RC, está o sensoriamento espectral, função pela qual um RC pode detectar faixas do espectro que estão disponíveis para serem usadas

sem causar interferências nos usuários licenciados. Este trabalho aborda diferentes técnicas de sensoriamento espectral, realizando avaliação de desempenho por meio de simulações computacionais.

Redes cognitivas

Uma Rede Cognitiva é um modelo de rede de comunicação baseado no conceito de acesso dinâmico ao espectro, onde usuários não licenciados operam de forma oportunista nas faixas licenciadas do espectro de radiofrequência, sem interferir na comunicação dos usuários detentores da licença. Nesse cenário, os usuários licenciados são referenciados como Usuário Primários (UP), e os usuários não licenciados denominados Usuários Secundários (US) (SOUSA et al., 2010). O US deve ser capaz de adaptar dinamicamente a frequência de transmissão, permitindo que o mesmo recurso espectral seja compartilhado por UP e US. Dessa forma, o UP deixa de ser o usuário exclusivo de uma faixa do espectro e passa a ser o usuário prioritário.

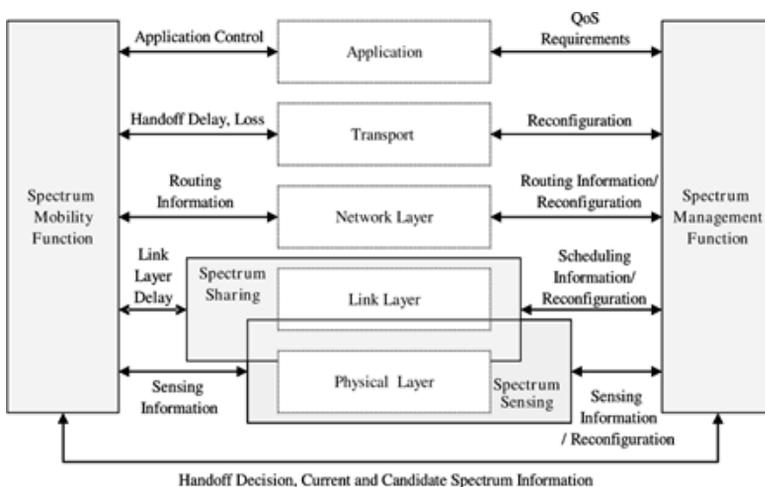
As Redes Cognitivas aumentam a eficiência de alocação espectral e fornecem aos usuários secundários uma grande largura de banda por meio de técnicas de acesso dinâmico ao espectro (SOUSA et al., 2010). Para conseguir utilizar o espectro licenciado sem interferir na comunicação dos UPs, uma Rede Cognitiva deve ser capaz de tomar conhecimento do contexto atual em que está inserida, e a partir daí, planejar, decidir e atuar sobre este cenário (THOMAS; DASILVA; MACKENZIE, 2005). A rede cognitiva pode usar as informações conhecidas sobre as condições da rede para aprender e tomar decisões no futuro (THOMAS; DASILVA; MACKENZIE, 2005). Portanto, uma rede cognitiva tem comportamento dinâmico e adaptativo.

O projeto de uma Rede Cognitiva deve especificar um modelo completo de rede, similar ao modelo de referência OSI (*Open*

Systems Interconnection). Deve-se destacar, que os protocolos de comunicação das redes atuais não são adequados para redes com características dinâmicas. As variações dos parâmetros de frequência podem comprometer o desempenho do sistema, sobretudo quando a latência é um problema. Por isso, novos protocolos precisam ser desenvolvidos, levando em consideração as características específicas desse modelo de rede. Esses protocolos devem se adaptar facilmente aos recursos espectrais disponíveis, respeitando as restrições inerentes aos USs, para que os UPs não sofram interferências. A Figura 2 exibe as principais funcionalidades de cada camada de uma Rede Cognitiva.

O projeto das camadas Física e de Enlace são fundamentais para que um US consiga fazer o uso dinâmico das faixas de espectro licenciadas. São nessas camadas que funcionalidades como o Sensoriamento Espectral e o Compartilhamento Espectral são definidas. O dispositivo responsável por implementar tais funcionalidades é o RC, que será discutido a seguir.

Figura 2 – Funcionalidades de comunicação de uma Rede Cognitiva.



Fonte: Akyildiz et al., 2006.

Rádio cognitivo

O Rádio Cognitivo é considerado o principal dispositivo em uma Rede Cognitiva. Ele deve implementar protocolos inteligentes capazes de interagir com o meio e tomar decisões a partir de informações coletadas, garantido ao US o acesso dinâmico ao espectro sem causar interferências nos UPs. A autoria do termo Rádio Cognitivo é atribuída a Joseph Mitola III. Em (III; JR., 1999), Mitola se refere ao RC como um dispositivo capaz de aumentar a flexibilidade dos serviços pessoais por meio do conhecimento de parâmetros da comunicação e implementando técnicas de raciocínio automatizado para conduzir negociações sobre a utilização do espectro de radiofrequência.

É possível fazer uma analogia entre RC e um Jogo de Xadrez, onde o tabuleiro do jogo é como o espectro de radiofrequência e o RC é como um competidor (III; JR., 1999). O RC deve analisar as possíveis jogadas permitidas, como as jogadas afetam os seus vizinhos e como elas podem ser melhoradas, entre outras decisões a serem tomadas (III; JR., 1999).

Outra definição para RC é apresentada por Haykin em (HAYKIN, 2005):

Rádio Cognitivo é um sistema de comunicação wireless inteligente, que está ciente do seu ambiente circundante e usa a metodologia de compreensão por construção para aprender a partir do ambiente, adaptando seus estados internos às variações estatísticas nos estímulos de Radiofrequência (RF) recebidos, fazendo as alterações correspondentes em certos parâmetros de operação, em tempo real, com dois objetivos principais: comunicação altamente confiável e utilização eficiente do espectro de radiofrequência.

Em uma Rede Cognitiva, um RC deve realizar o gerenciamento do espectro. As principais funcionalidades requeridas pelo gerenciamento espectral são (AKYILDIZ et al., 2008):

- *Sensoriamento Espectral*: Consiste em identificar momentos ociosos e faixas disponíveis no espectro.
- *Decisão Espectral*: Baseado nas oportunidades espectrais identificadas através do sensoriamento, o RC deve decidir qual a melhor faixa para ser alocada. Essa decisão pode depender de políticas internas e externas sobre o uso do espectro.
- *Compartilhamento Espectral*: Múltiplos RCs podem desejar fazer uso oportunista na mesma faixa do espectro. Portanto, o acesso ao espectro em uma Rede Cognitiva deve ser coordenado para evitar sobreposição em partes do espectro.
- *Mobilidade Espectral*: Caso um UP requisite o uso de uma faixa do espectro, o RC deve liberá-la de imediato, porém continuando sua transmissão em uma outra faixa disponível.

A decisão, compartilhamento e mobilidade espectral, dependem do sensoriamento para serem implementadas com sucesso. Isso faz com que o sensoriamento espectral seja uma das funcionalidades mais importantes que um RC deve implementar. O sensoriamento espectral é tratado em mais detalhes na próxima seção.

Sensoriamento espectral

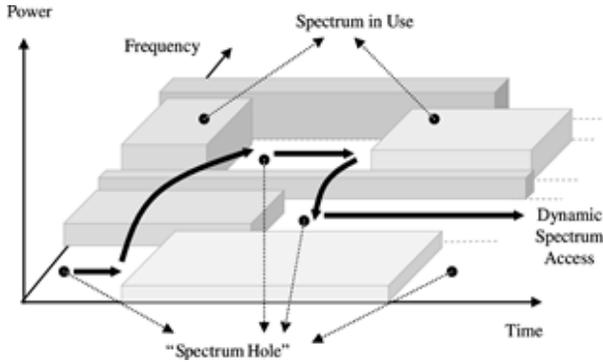
O sensoriamento espectral consiste em identificar oportunidades de acesso dinâmico ao espectro. Isso acontece quando um UP não está usando a faixa de frequência que lhe foi alocada. Para identificar momentos ociosos no espectro, o RC escuta o canal de interesse por um determinado tempo, avalia as amostras coletadas, e a partir daí, decide se o canal está livre ou ocupado naquele instante. As faixas ociosas do espectro são tratadas na literatura como lacuna ou buraco espectral (*Spectrum Hole*) (HAYKIN, 2005). A Figura 3 ilustra o conceito das lacunas espectrais.

Quando o RC detecta uma lacuna no espectro, o US pode utilizar o canal ocioso até que o UP volte a utilizá-lo ou até que a comunicação seja concluída. Por isso é muito importante que sensoriamento espectral seja preciso e eficiente. Pois, caso ocorram falhas, o US poderá causar interferências nos sistemas primários, gerando problemas técnicos e legais, devido ao licenciamento das faixas do espectro.

Há diferentes técnicas de sensoriamento espectral, as principais delas são (CABRIC; MISHRA; BRODERSEN, 2004):

- *Detecção de Energia:* Essa técnica é considerada subótima. Seu funcionamento consiste em mensurar a energia do sinal recebido e compará-la com um limiar. Se o nível de energia calculado estiver abaixo do limiar, o canal é considerado livre. Essa técnica é de baixa complexidade computacional, porém o tempo de sensoriamento e o consumo de energia são altos (AKAN; KARLI; ERGUL, 2009). Além disso, a detecção de energia é suscetível à incerteza do ruído.
- *Detecção de Características Cicloestacionárias:* Essa técnica se concentra em detectar características de sinais estacionários. Seu funcionamento é baseado na função de autocorrelação e na densidade espectral de potência. Apesar de ser robusta contra a incerteza do ruído, essa técnica tem maior complexidade computacional.
- *Filtragem Casada:* Essa técnica requer que o RC tenha conhecimento prévio completo sobre a modulação, forma do pulso e formato do pacote transmitido pelo usuário primário (AKYILDIZ et al., 2006). Além disso, o RC deve demodular o sinal primário durante o sensoriamento, o que exige que o RC implemente um demodulador e atue como um receptor para cada UP. Por outro lado, essa técnica tem desempenho ótimo para ruído Gaussiano (AKAN; KARLI; ERGUL, 2009) e tempo de sensoriamento pequeno.

Figura 3 – Lacunas espectrais.



Fonte: Akyildiz et al., 2006.

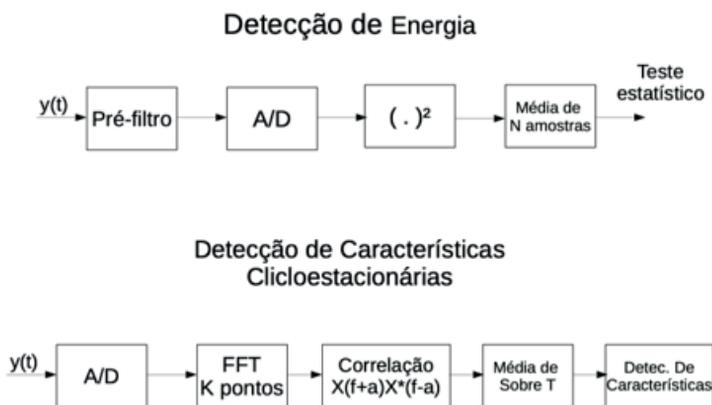
A Figura 4 mostra o diagrama de blocos de processamento de sinais para a Detecção de Energia e Detecção de Característica Cicloestacionárias.

Quando aplicadas por apenas um dispositivo, essas técnicas podem falhar devido a problemas como sombreamento, desvanecimento por múltiplos percursos e ocultação do usuário primário. Este último é similar ao problema de ocultação do terminal que ocorre na técnica *Carrier Sense Multiple Access* (CSMA). Para minimizar o efeito desses problemas, a literatura propõe o sensoriamento espectral cooperativo (CABRIC; MISHRA; BRODERSEN, 2004; YUCEK; ARSLAN, 2009).

As técnicas de sensoriamento espectral cooperativo se baseiam na colaboração de entre RCs para reduzir o erro de sensoriamento. Nessas técnicas vários RCs distribuídos geograficamente realizam o sensoriamento espectral e enviam as informações coletadas para um único dispositivo chamado de Centro de Fusão (CF). O CF por sua vez, avalia por meio de alguma técnica os dados recebidos de cada RC, e a partir daí, decide se o canal está livre ou ocupado. Em seguida, o CF transmite essa decisão para os demais RCs, para que todos na rede tomem conhecimento sobre as lacunas espectrais identificadas.

Para tomar a decisão o CF leva em consideração as amostras de sensoriamento, coletadas e enviadas por todos os RCs. Isso reduz os erros causados por sombreamento e ocultação do UP (YUCEK; ARSLAN, 2009). No entanto, a cooperação por si só, não implica em um sensoriamento de desempenho ótimo. A eficiência do sensoriamento cooperativo depende de parâmetros que são discutidos nesse trabalho.

Figura 4 – Diagrama de blocos de técnicas de Sensoriamento Espectral.



Fonte: Adaptado de Ariananda; Lakshmanan; Nikookar, 2009.

Para desenvolver o modelo matemático para o sensoriamento cooperativo, considera-se um cenário com p transmissores primários (TPs) e m RCs. Cada um dos RCs coletam n amostras do canal do espectro que está sendo sensoreado. Esse cenário pode ser modelado da mesma forma que um sistema de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO - *Multiple-Input Multiple-Output*) (AXELL et al., 2012; ZENG et al., 2010). Nesse caso, as múltiplas entradas são representadas pelos m RCs, as múltiplas saídas pelos p TPs.

O CF recebe uma matriz $\mathbf{Y}_{m \times n}$, com n amostras para cada um dos m RCs. Porém, há duas possíveis hipóteses para a matriz \mathbf{Y} . Na primeira hipótese (H_0) o canal avaliado está ocioso, ou seja,

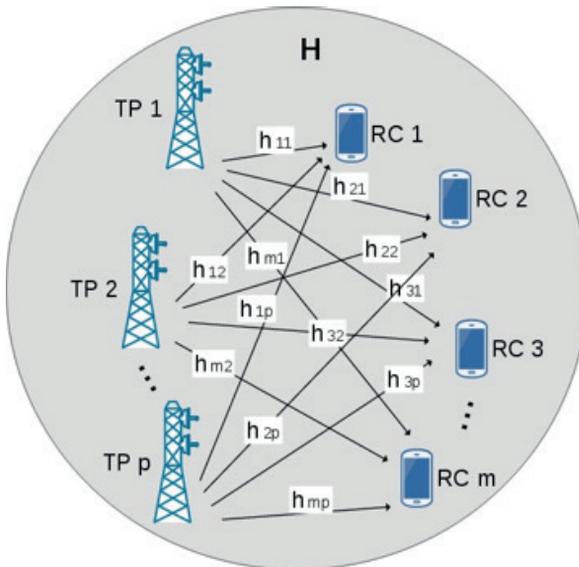
nenhum sinal é transmitido pelo TP, nesse caso os RCs só captam o ruído presente no canal. O caso em que o TP utiliza o canal para transmissão, configura a segunda hipótese (H_1). Nesse caso, além do ruído, os RCs devem captar o sinal transmitido pelo TP. A matriz \mathbf{Y} para essas duas hipóteses é:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{N}; H_0 \quad (1)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{N}; H_1 \quad (2)$$

onde $\mathbf{N}_{m \times n} \in \mathbb{C}$ é a matriz de ruído com n amostras para cada um dos m RCs, $\mathbf{X}_{p \times n} \in \mathbb{C}$ é a matriz do sinal transmitido com n amostras para cada um dos p transmissores primários, $\mathbf{H}_{m \times p} \in \mathbb{C}$ é a matriz de modulação onde cada elemento h_{ij} representa o ganho do canal entre o i -ésimo receptor e o j -ésimo transmissor, e $\mathbf{Y}_{m \times n} \in \mathbb{C}$ é a matriz do sinal recebido pelo CF em ambas as hipóteses. A Figura 5 ilustra o cenário descrito.

Figura 5 – Modelo para o sensoriamento cooperativo.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tendo conhecimento de \mathbf{Y} o CF deve utilizar uma técnica de sensoriamento, a fim de extrair da matriz do sinal recebido, alguma informação que permita decidir sobre a ocupação do canal. Em (KORTUN et al., 2011; NADLER; PENNA; GARELLO, 2011) são apresentadas técnicas de sensoriamento baseadas nos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido. Essas técnicas são abordadas em mais detalhes no tópico que segue.

As técnicas baseadas em autovalor, utilizam os autovalores da matriz de covariância do sinal recebido para calcularem uma variável de decisão T . A matriz de covariância é estimada como:

$$\mathbf{R} = E(\mathbf{Y}\mathbf{Y}^\dagger) \cong \frac{1}{n} \mathbf{Y}\mathbf{Y}^\dagger, \quad (3)$$

onde $(.)^\dagger$ é o operador complexo conjugado e transposto.

As técnicas de sensoriamento espectral cooperativo por autovalor utilizam os autovalores (λ) de \mathbf{R} para calcular a (variável de decisão T) que deve ser comparada com um limiar pré-definido (limiar de decisão γ), caso o valor de T medido seja maior que o limiar γ , o canal é considerado ocupado, caso contrário o canal é considerado livre. Dentre as técnicas de sensoriamento espectral, destacam-se *Energy Detection* (ED), *Roy's Largest Root Test* (RLRT), *Eigenvalue Ratio Test* (ERD) e *Generalized Likelihood Ratio Test* (GLRT) (NADLER; PENNA; GARELLO, 2011; KORTUN et al., 2011; ANJOS, 2012).

As expressões da variável de decisão T para cada uma dessas técnicas são:

$$T_{ED} = \frac{1}{m\sigma^2} \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (4)$$

$$T_{RLRT} = \frac{\lambda_{max}}{\sigma^2} \quad (5)$$

$$T_{ERD} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} \quad (6)$$

$$T_{GLRT} = \frac{\lambda_{\max}}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_i} \quad (7)$$

onde λ é o vetor de autovalores da matriz \mathbf{R} , σ^2 é a variância do ruído e m é o número de RCs que cooperam entre si. É importante destacar que as técnicas ED e RLRT supõem o conhecimento prévio de σ^2 , e, portanto, da potência do ruído.

Uma vez que a variável de decisão T foi calculada por uma das técnicas descritas acima, deve-se comparar esse valor com o limiar de decisão γ . Como resultado dessa comparação temos quatro possíveis resultados (NETO, 2011):

- *Probabilidade de Falso Alarme*: Quando a variável T indica a presença de TPs sob a hipótese H_0 .

$$P_{FA} = Pr(T > \gamma | H_0). \quad (8)$$

- *Probabilidade de Lacuna Espectral*: Quando a variável T indica a ausência de TPs sob a hipótese H_0 .

$$P_{LE} = Pr(T < \gamma | H_0). \quad (9)$$

- *Probabilidade de Detecção*: Quando a variável T indica a presença de TPs sob a hipótese H_1 .

$$P_D = Pr(T > \gamma | H_1). \quad (10)$$

- *Probabilidade de Falso Negativo*: Quando a variável T indica a ausência de TPs sob a hipótese H_1 .

$$P_{FN} = Pr(T < \gamma | H_1). \quad (11)$$

Dado que $P_D = 1 - P_{FN}$ e $P_{FA} = 1 - P_{LE}$, neste trabalho iremos avaliar apenas P_D e P_{FA} . Essas variáveis podem ser relacionadas ao limiar γ , por meio distribuição de probabilidade da variável aleatória T (NETO, 2011):

$$P_{FA} = P_r(T > \gamma | H_0) = \int_{\gamma}^{\infty} f_0(t) dt \quad (12)$$

$$P_D = P_r(T > \gamma | H_1) = \int_{\gamma}^{\infty} f_1(t) dt \quad (13)$$

onde f_0 é a função densidade probabilidade (FDP) de T sob hipótese H_0 , e f_1 é a FDP de T sob a hipótese H_1 . O desempenho das técnicas de sensoriamento espectral é avaliado pelas funções de probabilidade P_D e P_{FA} . A escolha adequada de γ é fundamental para um bom desempenho. Na prática, busca-se encontrar o valor de γ que maximize P_D e minimize P_{FA} .

Metodologia

Este capítulo descreve como a avaliação das técnicas de sensoriamento cooperativo foi desenvolvida. Os detalhes sobre a modelagem computacional do problema, implementação, cenários de simulação e métodos numéricos utilizados são tratados nas seções a seguir.

Para a avaliação das técnicas de sensoriamento espectral foram simulados diferentes cenários, nos quais estavam presentes UPs realizando transmissões, RCs escutando uma faixa do espectro e um CF recebendo as amostras coletas por todos os RCs da rede, para assim, analisar se a faixa do espectro observada está livre ou não. Foi considerado um canal de comunicação com desvanecimento plano do tipo Rayleigh e ruído aditivo gaussiano branco (*additive white gaussian noise* – AWGN).

Com o intuito de avaliar a influência de cada variável no funcionamento do sistema, variou-se ao longo das análises os seguintes parâmetros: número de RCs (m), número de UPs (p), número de amostras captada por um RC (n) e a relação sinal ruído (*signal-to-noise ratio* – SNR). A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros em cada cenário, a escolha dessas valores foi baseada na literatura (KORTUN et al., 2011; ZENG; LIANG, 2009).

A simulação computacional foi implementada utilizando o software MATLAB® (MATHWORKS, 2016). O cenário simulado foi modelado

como um sistema MIMO, considerando um transmissor primário com p saídas, e um receptor secundário (RC) com m entradas. Entretanto, as múltiplas saídas e entradas são tratadas como múltiplos transmissores primários e receptores secundários, respectivamente.

Tabela 1 – Parâmetros dos cenários de simulação.

Cenário	p	m	n	SNR(dB)
1	1	{3, 5, 10, 50}	100	-10
2	1	5	{10, 50, 100, 1000}	-10
3	{1, 3, 5}	5	50	-10
4	1	1	100	{0, -10, -18, -24}

Fonte: Elaboração própria, 2020.

O canal Rayleigh (matriz \mathbf{H}) foi modelado como uma matriz com m linhas e p colunas com amostras complexas de variáveis Gaussianas independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.) com média nula. Esse canal simula um desvanecimento plano entre o TP e o RC (ANJOS, 2012). Esse modelo é descrito pela seguinte expressão, onde $randn(m, p)$ é uma função que gera matriz $m \times p$ de valores aleatórios com uma distribuição normal.

$$\mathbf{H} = \frac{\sqrt{2}}{2} randn(m, p) + j \frac{\sqrt{2}}{2} randn(m, p) \quad (14)$$

A matriz de ruído foi modelada como amostras de variáveis aleatórias complexas com distribuição normal (gaussiana) i.i.d e média zero. Essa matriz simula n amostras do ruído AWGN coletadas por cada um dos m RCs que participam do sensoriamento. O modelo matemático para \mathbf{N} é

$$\mathbf{N} = \sqrt{P_n} \frac{\sqrt{2}}{2} randn(m, n) + j \sqrt{P_n} \frac{\sqrt{2}}{2} randn(m, n) \quad (15)$$

onde P_n é a potência do ruído em Watts. Para todos os cenários simulados, considerou-se a potência do ruído de 1 W (0 dBm).

O sinal transmitido foi modelado de forma análoga ao sinal de ruído. A matriz \mathbf{X} apresenta n (colunas) amostras do sinal transmitido para cada um dos p (linhas) TP presentes. Do mesmo modo que em \mathbf{N} , as amostras complexas em \mathbf{X} seguem a distribuição Gaussiana, são i.i.d e tem média nula. Esse modelo é justificado em (NADLER; PENNA; GARELLO, 2011), pois o sinal gaussiano simplifica a análise matemática, além de ser uma boa aproximação para sinais com modulação digital, como 4/8-PSK (*phase shift keying*), 16-QAM (*quadrature amplitude modulation*) e OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*), sinais amplamente utilizados na prática.

A expressão matemática para \mathbf{X} é

$$\mathbf{X} = \sqrt{P_s} \frac{\sqrt{2}}{2} \text{randn}(p, n) + j\sqrt{P_s} \frac{\sqrt{2}}{2} \text{randn}(p, n) \quad (16)$$

onde P_s é a potência do sinal em Watts. Para as simulações realizadas P_s foi calculada em função da SNR configurada em cada cenário, considerando que

$$(17)$$

uma vez que a potência do ruído assumido foi de 1 W (0 dBm).

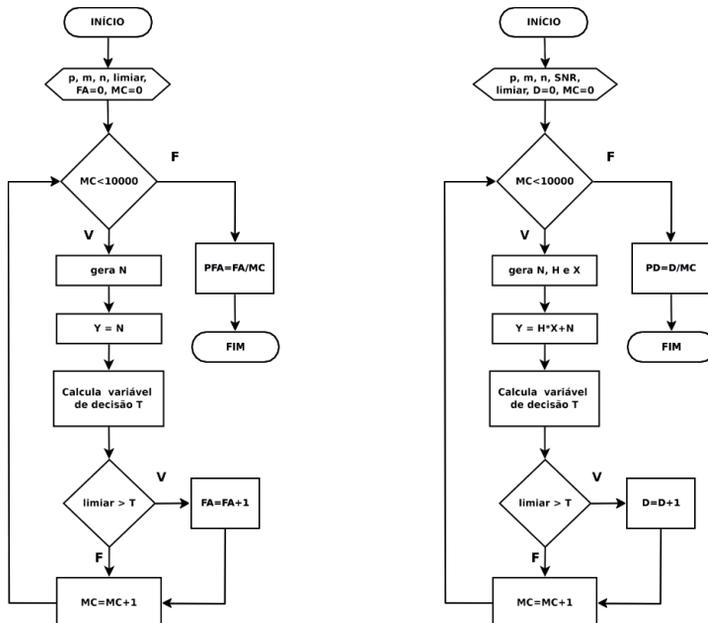
Cada um dos m RCs escuta n amostras de sinal, criando a matriz de recepção $\mathbf{Y}_{m \times n}$. Sob a hipótese H_0 , na qual não há UPs realizando transmissões e os RCs escutam apenas o ruído, a matriz de sinal recebido é $\mathbf{Y} = \mathbf{N}$. Sob a hipótese H_1 , onde há TP, a matriz de sinal recebido é dada por $\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{N}$. Utilizando as expressões discutidas na Seção 2.3.3, calculou-se a matriz de covariância por média amostral \mathbf{R} , e a partir dos autovalores dessa matriz foram calculadas as variáveis de decisão para cada uma das técnicas avaliadas (T_{ED} , T_{RLRT} , T_{ERD} , T_{GLRT}).

O objetivo do algoritmo de simulação é obter um valor para P_{FA} sob a hipótese H_0 e para P_D sob a hipótese H_1 . Ao invés do cálculo analítico exato para essas probabilidades, utilizou-se a técnica de Monte Carlo para gerar valores práticos para P_{FA} e P_D . O método de Monte Carlo (MMC) define um conjunto de métodos estatístico que se

baseiam no cálculo de valores numéricos por meio de amostragens aleatórias (METROPOLIS; ULAM, 1949). Neste trabalho, foram realizadas sucessivas simulações para obter as probabilidades desejadas. O número de eventos de Monte Carlo para todas as simulações foi de 10000. A Figura 6 exibe o algoritmo usado para o cálculo de cada probabilidade.

Para calcular P_{FA} e P_D foram testados 51 valores de γ para cada técnica de sensoriamento avaliada. Esse conjunto de valores foi escolhido separadamente para cada cenário de forma a maximizar o número de amostras para as probabilidades maiores que 0 e menores que 1. Com isso, pode-se diminuir o número de limiares que resultam em $P_{FA} = P_D = \{0, 1\}$, reduzindo as informações redundantes, e aumentando dessa forma, a expressividade e precisão dos gráficos gerados para a interpretação dos resultados.

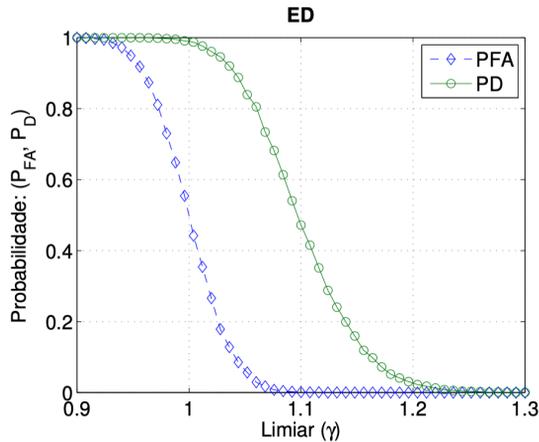
Figura 6 – Algoritmo para o cálculo de probabilidades: (a) P_{FA} e (b) P_D . (b)



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Para avaliar os dados de saída gerados pelas simulações foram plotados três tipos de gráficos. O primeiro deles (Figura 7) traça as curvas γ vs P_{FA} e γ vs P_D , através desse gráfico foi possível escolher valores adequados para os limiares, e avaliar o comportamento das probabilidades avaliadas em função de γ .

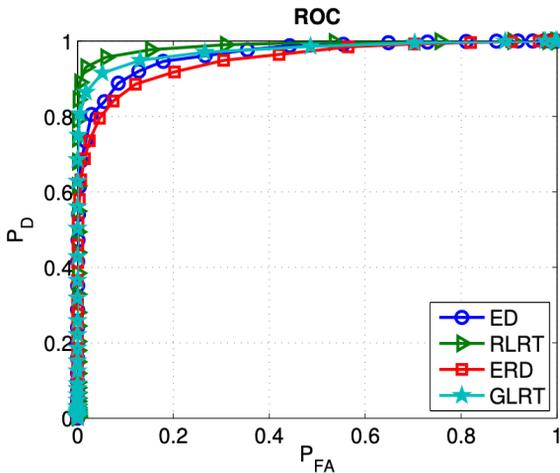
Figura 7 – Relação entre o limiar (γ), P_D e P_{FA} para $p = 1$, $m = 10$, $n = 100$ e $SNR = -10$ dB.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

O segundo modelo de gráfico gerado foi o *Receiver Operating Characteristic* (ROC) exibido na Figura 8, amplamente utilizado na literatura para discutir desempenho de técnicas de sensoriamento espectral. O ROC exhibe os valores de P_{FA} e P_D calculados para um mesmo limiar (γ). Dessa forma, pode inferir sobre o desempenho do sistema avaliado o menor valor aceitável para P_{FA} e o respectivo valor para P_D . A curva ROC simplifica a análise de desempenho das técnicas de sensoriamento, e permite avaliar se uma técnica avaliada satisfaz os requisitos mínimos estabelecidos para um dado sistema de comunicação.

Figura 8 – P_D vs SNR para $\rho = 1$, $m = 10$, $n = 100$ e $CFAR = 10\%$.

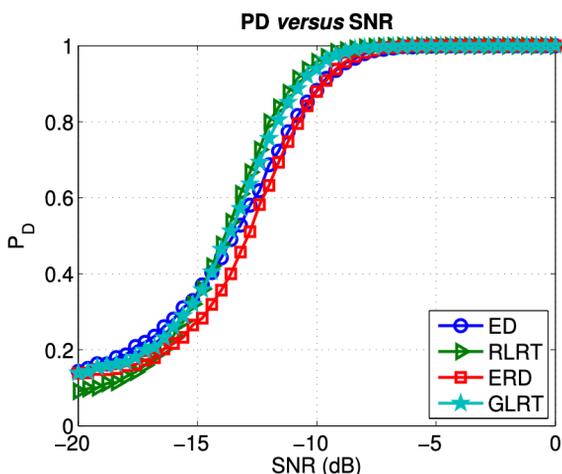


Fonte: Elaboração própria, 2020.

Um terceiro tipo de gráfico foi gerado com base na análise da probabilidade de detecção em função da SNR e é mostrado na Figura 9. Para essa análise, fixou-se um valor para P_{FA} , e conseqüentemente um valor de γ , a partir daí, calculou-se P_D para 51 valores diferentes de SNR, variando entre -20 e 0 dB. Essa análise foi realizada para todos os casos em cada cenário de simulação.

Resultados e discussões

Este capítulo discute os resultados obtidos por meio de simulações computacionais. Os dados são apresentados em forma gráfica para facilitar a compreensão do comportamento das técnicas de sensoriamento espectral avaliadas.

Figura 9 – ROC para $p = 1$, $m = 10$, $n = 100$ e $\text{SNR} = -10$ dB.

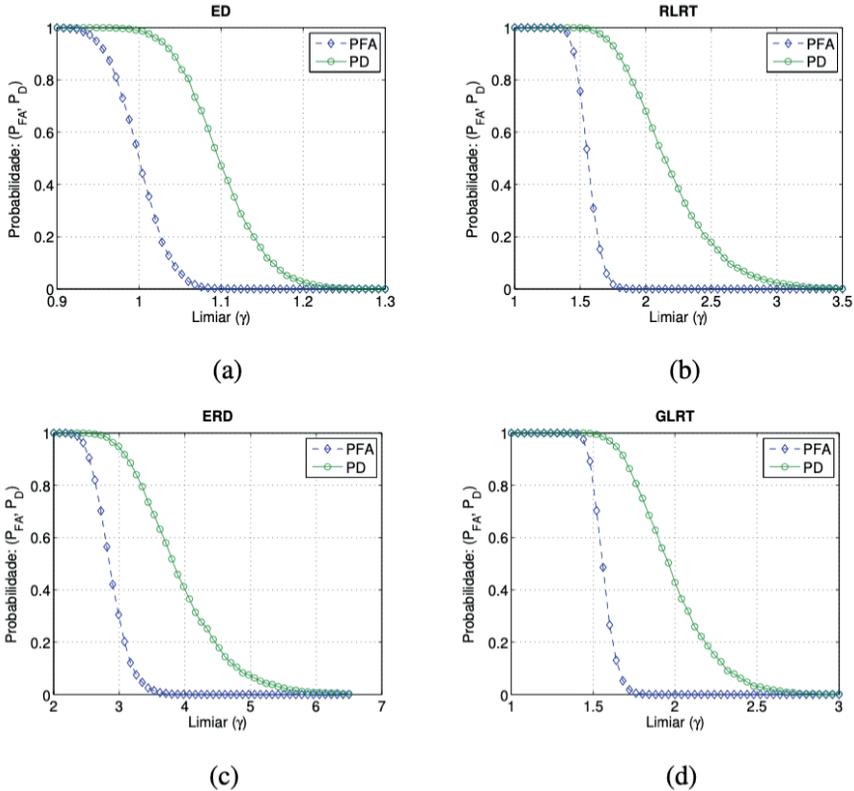
Fonte: Elaboração própria, 2020.

Relação entre P_{FA} , P_D e γ

Uma boa técnica de sensoriamento espectral deve garantir um valor elevado de P_D e um valor ínfimo ou nulo para P_{FA} . Apesar de parecer um requisito simples, há um compromisso entre essas duas variáveis que impossibilita o aumento de uma enquanto a outra diminui. Esse comportamento pode ser verificado na Figura 10.

A escolha do limiar está diretamente relacionada com a eficiência do sensoriamento. Na prática, busca-se encontrar um valor de γ que otimize a relação entre essas probabilidades, fazendo ao menos, que a P_{FA} diminua mais rápido (taxa de decrescimento maior) do que P_D medida que o valor do limiar cresce. Com isso aumenta-se a distância entre as curvas de comportamento de P_{FA} e P_D em função de γ (ver Figura 10).

Figura 10 – Relação entre o limiar (γ), P_D e P_{FA} para $p = 1$, $m = 10$, $n = 100$, $\text{SNR} = -10$ dB e técnicas: (a) ED, (b) RLRT, (c) ERD e (d) GLRT.



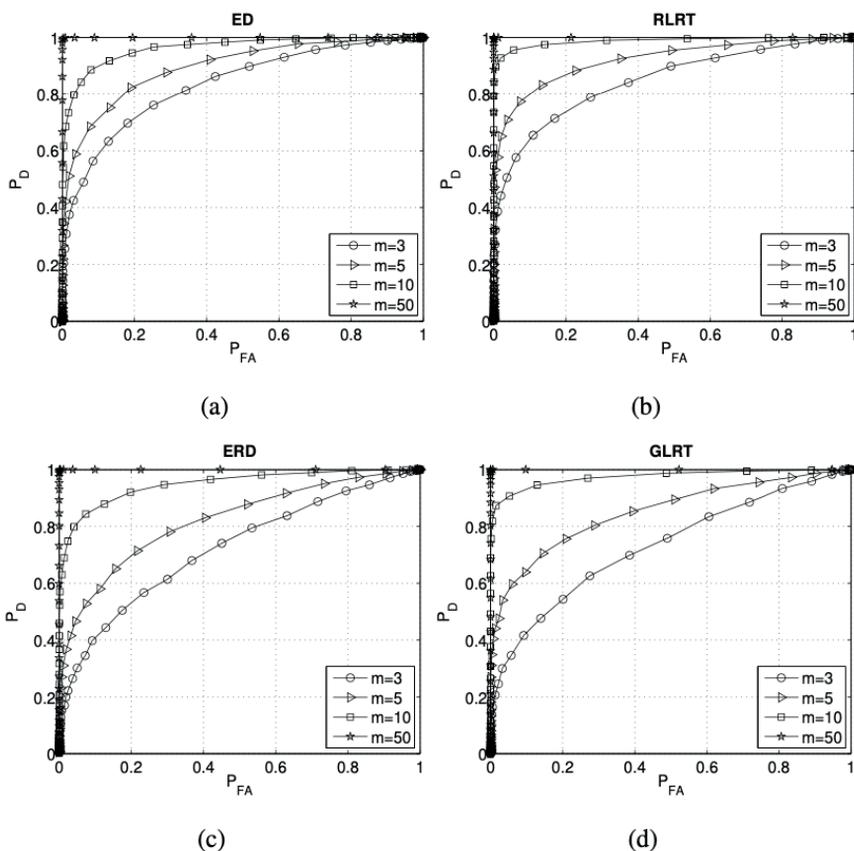
Fonte: Elaboração própria, 2020.

Variação do número de RCs (m)

O primeiro cenário simulado, investigou o comportamento das quatro técnicas de sensoriamento cooperativo apresentadas na Seção 2.3.3 sob a variação do número de RCs que cooperam entre si. Os resultados são exibidos na Figura 11, onde a curva ROC de cada técnica é mostrado separadamente para diferentes valores de m . É possível observar que em todas as técnicas avaliadas o aumento

de m resultou na melhoria da eficiência do sensoriamento. Observa-se que a probabilidade de detecção aumenta para valores mais baixos de P_{FA} . Esse comportamento já era esperado e condiz com os resultados obtidos em outros trabalhos (GUIMARÃES; SOUZA, 2012; ANJOS, 2012).

Figura 11 – ROC para $\rho = 1$, $n = 100$, SNR=-10 dB e técnicas: (a) ED, (b) RLRT, (c) ERD e (d) GLRT.

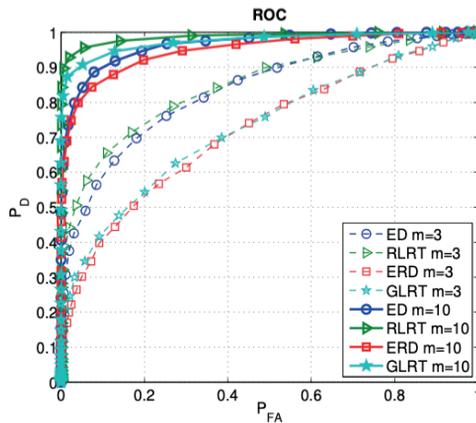


Fonte: Elaboração própria, 2020.

A Figura 12, exibe no mesmo gráfico a curva ROC de as técnicas RLRT, ED, ERD e GLRT, para m igual 3 e 10. Pode-se notar que a técnica RLRT apresenta melhor desempenho para este cenário. Por outro lado, a técnica GLRT apresentou a melhora mais expressiva com o aumento de m , sobretudo para os valores de P_{FA} menores que 20%, mostrando assim ser a técnica mais sensível a esse parâmetro.

O aumento do número de RCs torna as técnicas baseadas em autovalores mais robustas e resistentes à degradação do sinal causada pelo desvanecimento do canal e interferência do ruído. De fato, com um maior número de RCs escutando o canal é possível melhorar a estimativa da matriz de covariância do sinal recebido (\mathbf{R}) e, portanto, melhorar na precisão das técnicas.

Figura 12 – ROC para $p = 1$, $m = \{5,10\}$, $n = 50$ e $\text{SNR} = -10$ dB.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Variação do número de amostras (n)

Em outro cenário avaliado, considerou-se $p = 1$, $m = 5$, $\text{SNR} = -10$ dB e diferentes valores para o número de amostras n . Os

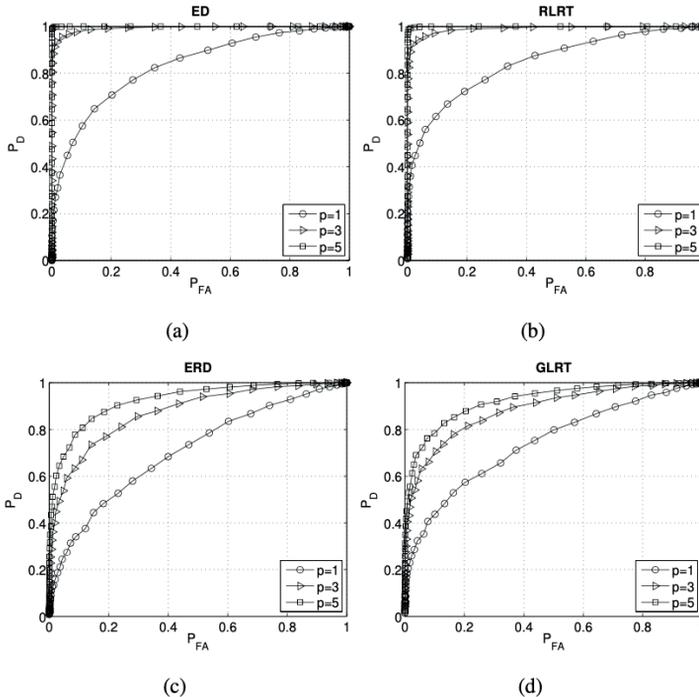
resultados para cada técnica são exibidos separadamente na Figura 13. Pelo gráfico ROC é possível notar que todas as técnicas simuladas responderam ao aumento de n com uma melhora na probabilidade de detecção para um mesmo valor de P_{FA} . Para $n = 1000$ todas as técnicas tiveram desempenho próximo do ideal, $P_{FA} \approx 0$ e $P_D \approx 1$. O maior número de amostras reduz a incerteza introduzida pelo ruído e melhora a estimativa da matriz covariância. Por outro lado, isso implica no aumento do tempo de sensoriamento, ou seja, o RC deve coletar mais amostras antes de enviar os dados para o CF. Além disso, quanto maior for a matriz do sinal recebido, maior será a capacidade de processamento exigida do CF.

Variação do número de TPs (p)

Simulações foram realizadas considerando-se mais de um transmissor primário realizando transmissões no momento do sensoriamento. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 14. Embora todas as técnicas avaliadas melhorem seu desempenho com o aumento de p , nota-se que o número de TPs tem uma influência muito maior sob as técnicas ED e RLRT. Isso pode ser explicado pelo fato dessas duas técnicas considerarem o conhecimento prévio da potência do ruído (σ_v^2).

De fato, o aumento de p aumenta a potência do sinal primário no canal, enquanto a potência do ruído continua inalterada. Isso melhora a detecção de presença de um usuário primário. Entretanto, as técnicas ERD e GLRT não tem conhecimento de σ_v^2 , e, portanto, são afetadas pela incerteza introduzida pelo ruído, implicando em um menor P_D e maior P_{FA} , quando comparadas com as técnicas ED e RLRT.

Figura 13 – ROC para $p = 1$, $m = 5$, SNR=-10 dB e técnicas: (a) ED, (b) RLRT, (c) ERD e (d) GLRT.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Influência da SNR

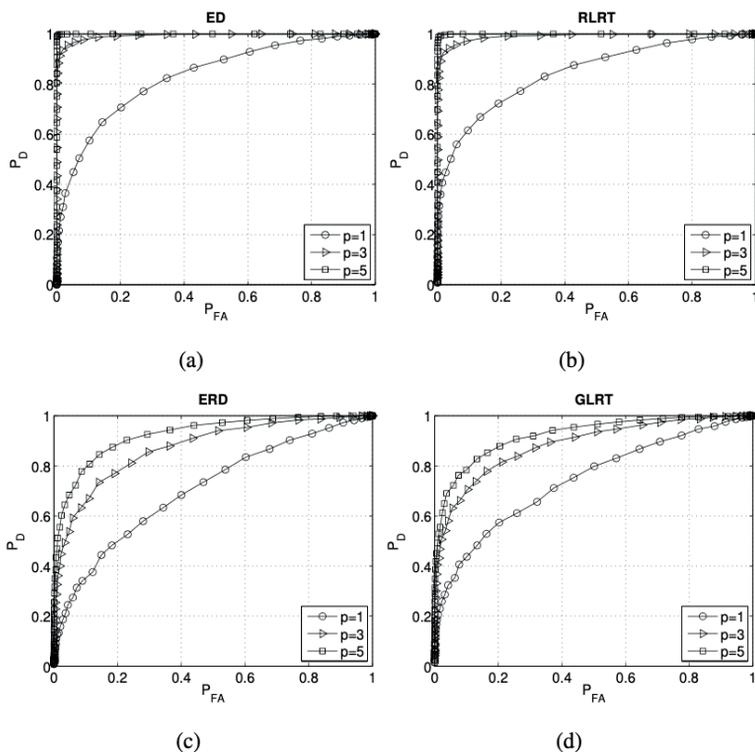
Os efeitos da variação da SNR foram avaliados visando investigar a influência deste parâmetro nas técnicas de sensoriamento. Para tal, fixou-se a probabilidade de falso alarme, uma vez que P_{FA} não depende da SNR, e calculou-se P_D . Essa técnica é denominada como CFAR (*Constant False Alarm Rate*). A Figura 15 exibe a curva de P_D em função da SNR para diferentes valores de m .

O valor de P_{FA} foi fixado para 10% (CFAR=0.1), seguindo os requisitos mínimos estabelecido pelo padrão IEEE 802.22 (STEVENSON et al., 2006). A SNR foi variada entre -20 a 0 dB, $p =$

1 e $n = 100$. Nesse cenário, destaca-se as técnicas RLRT e GLRT, que conseguem manter P_D maior que 95% para valores de SNR tão baixos quanto -15 dB, quando há 50 RCs cooperando.

Essa análise foi repetida para valores diferente de n e p . A Figura 16 exibe o resultado para $p = 1$ e $m = 5$, variando o número de amostras coletadas por cada RC. Nesse cenário as técnicas que obtiveram melhor desempenho foram RLRT e ED. Entretanto, todas as técnicas apresentaram P_D menor que 80% para valores de SNR igual ou menor que -15 dB.

Figura 14 – ROC para $m = 5$, $n = 50$, SNR=-10 dB e técnicas: (a) ED, (b) RLRT, (c) ERD e (d) GLRT.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

A Figura 17 exibe a influência da SNR sobre a probabilidade de detecção em um cenário com o número de TPs variando. Mais uma vez, é possível observar que o aumento de p implica em uma melhora mais significativa nas técnicas que supõem o conhecimento prévio do ruído, RLRT e ED.

A diminuição da SNR compromete a eficiência das técnicas de sensoriamento abordadas nesse trabalho. De fato, quanto maior for o nível da potência do ruído em relação ao sinal transmitido, maior será a incerteza associada ao sensoriamento.

Sensoriamento não-cooperativo ($m = 1$)

Um cenário não cooperativo ($m = 1$) foi investigado, considerando $p = 1$ e $n = 100$. Nesse cenário, apenas as técnicas ED e RLRT foram avaliadas. O motivo para isso é que nas técnicas ERD e GLRT, a variável de decisão T é calculada pela razão dos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido (\mathbf{R}), como pode ser verificado nas equações 6 e 7 na Seção 2.3.3. Como $m = 1$, a variável de decisão será sempre 1, o que inviabiliza o uso dessas técnicas com um único RC.

Os resultados para esta avaliação são exibidos da Figura 18 pela curva ROC para diferentes valores de SNR. Nota-se que ambas as técnicas apresentaram resultados semelhantes, tendo seu desempenho fortemente afetado pela diminuição da SNR. O que confirma a relevância da cooperação entre os RCs para o uso dessas técnicas.

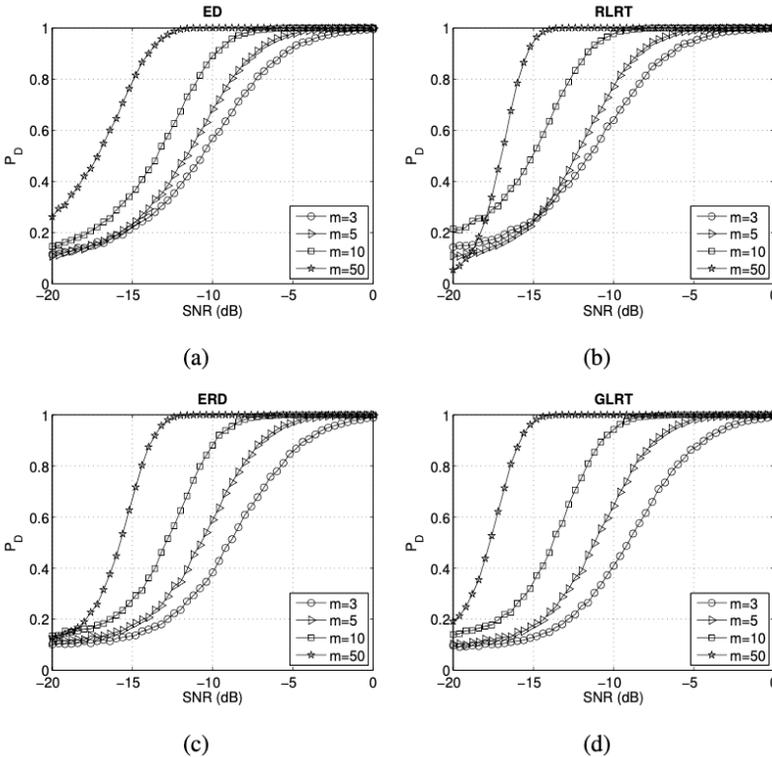
A Figura 19 compara a curva de desempenho das duas técnicas avaliadas, para SNR = -10 dB. Essas técnicas apresentam comportamento bastante similar, porém a técnica ED é sensivelmente melhor em termo de desempenho. Esse resultado fica mais nítido na Figura 19.

Considerações sobre os resultados obtidos

A partir dos resultados é possível concluir que as técnicas RLRT e ED tiveram melhor desempenho. Esse fato pode ser atribuído pelo conhecimento prévio da potência do ruído considerado por essas técnicas. Por outro lado, percebe-se que para maior número de RCs cooperando entre si, a técnica GLRT tem desempenho próximo da RLRT. Esse comportamento é discutido em (NADLER; PENNA; GARELLO, 2011), onde afirma-se que o desempenho da técnica m LRT converge para o da RLRT à medida que $n, m \rightarrow \infty$ com a razão $\frac{m}{n}$ constante. Isso mostra que a técnica GLRT pode ser uma ótima alternativa à técnica RLRT quando não se tem informação sobre o ruído. Nesse caso a variância do ruído é estimada pela média dos autovalores de \mathbf{R} , como é possível notar comparando (5) e (7) na Seção 2.3.3.

Para os cenários avaliados, todas as técnicas apresentaram desempenho insatisfatório, considerando valores de SNR menores que -20 dB. Isso inviabiliza o uso dessas técnicas com essas configurações em alguns cenários práticos. Contudo, para SNR igual ou maior que -10 dB, todas as técnicas apresentaram $P_D \geq 90\%$ e $P_{FA} \leq 10\%$, em pelo menos, uma das configurações testadas.

Figura 15 – P_D vs SNR para $p = 1$, $n = 100$, $CFAR = 10\%$ e técnicas: (a) ED, (b) RLRT, (c) ERD e (d) GLRT.



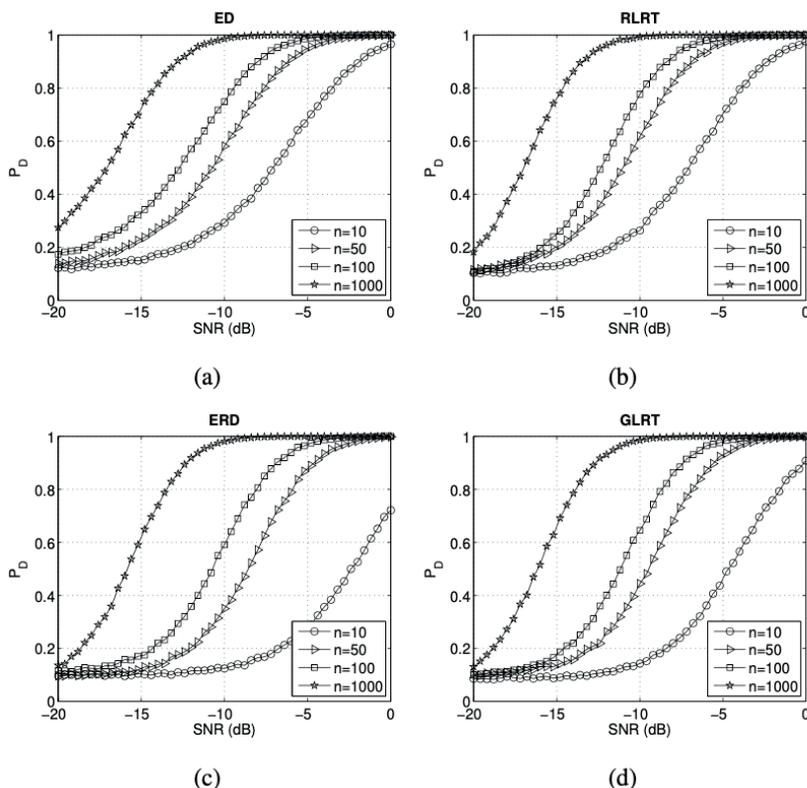
Fonte: Elaboração própria, 2020.

A escolha do limiar de decisão (γ) adequado, é dependente dos parâmetros p , m , n e SNR. Isso exige que o RC possa calcular dinamicamente o melhor valor para γ caso um desses parâmetros sejam alterados durante o sensoriamento.

Vale ressaltar, que mesmo sabendo que o aumento de m e n melhora as técnicas de sensoriamento abordas nesse trabalho, esses parâmetros não devem ser aumentados de forma arbitrária. O valor de n afeta o tempo de sensoriamento, um requisito importante para as Redes Cognitivas. Além disso, um maior número de RCs e amostras

coletadas exige maior capacidade de processamento dos RCs, sobretudo do CF.

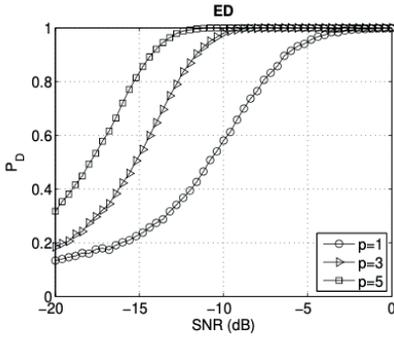
Figura 16 – P_D vs SNR para $p = 1$, $m = 5$, $CFAR = 10\%$ e técnicas: (a) ED, (b) RLRT, (c) ERD e (d) GLRT.



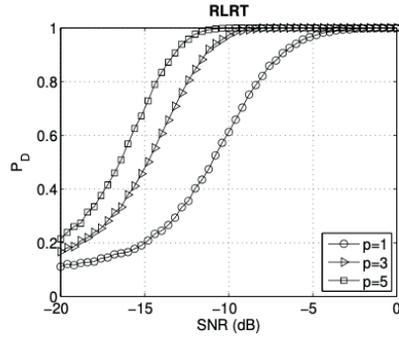
Fonte: Elaboração própria, 2020.

Por fim, observa-se que o aumento dos parâmetros m , n e SNR tem influência positiva no desempenho das técnicas avaliadas. Portanto, cada um desses parâmetros pode ser configurado de forma a obter o desempenho máximo do sensoriamento. Além disso, um parâmetro pode ser configurado como alternativa a outro, quando um desses não puder ser controlado.

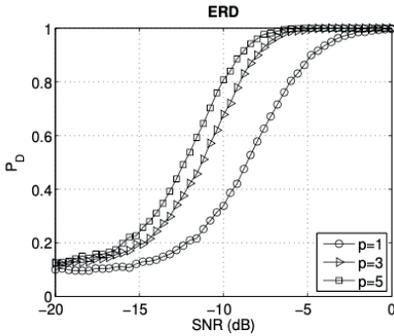
Figura 17 – P_D vs SNR para $m = 5$, $n = 50$, $CFAR = 10\%$ e técnicas: (a) ED, (b) RLRT, (c) ERD e (d) GLRT.



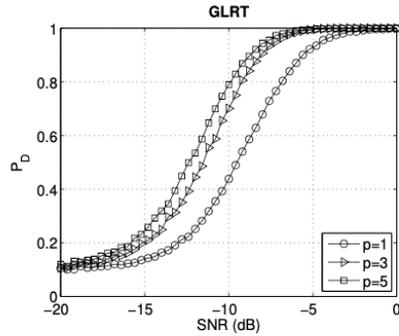
(a)



(b)



(c)

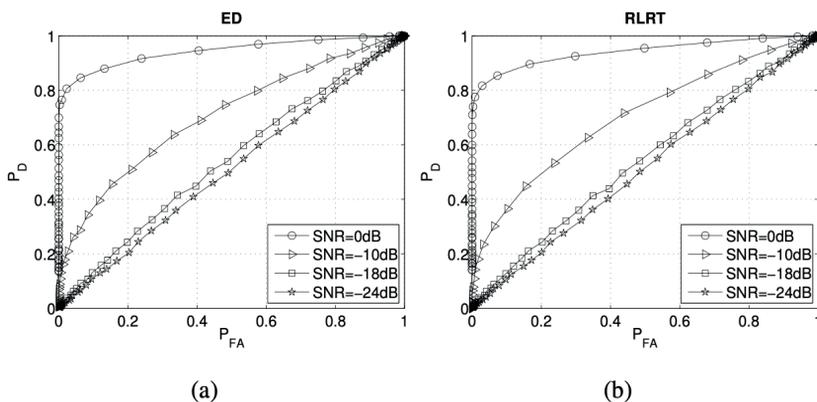


(d)

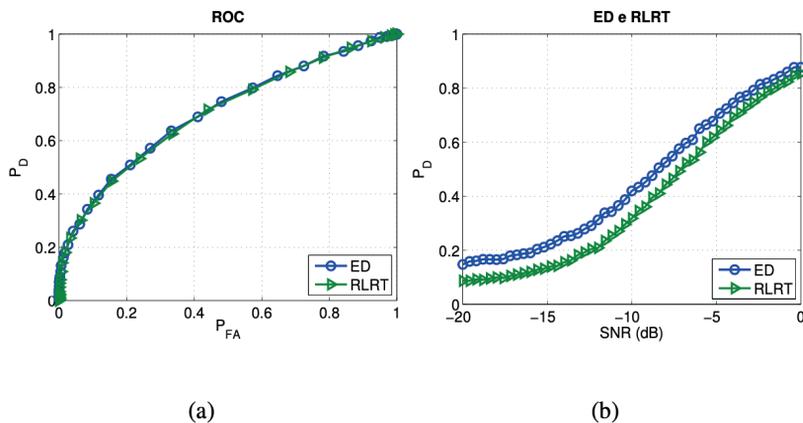
Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 18 – ROC para $p = 1$, $m = 1$, $n = 100$ e técnicas:

(a) RD e (b) RLRT.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 19 – Curvas (a) ROC e (b) P_D vs SNR para $p = 1$, $m = 1$ e $n = 100$.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Conclusão

Neste capítulo foi avaliado o desempenho de técnicas de sensoriamento espectral cooperativo baseadas em autovalor, por

meio de simulações computacionais utilizando o Método de Monte Carlo. A modelagem computacional e implementação da simulação foi descrita em detalhes no texto.

Foram avaliadas quatro técnicas de sensoriamento cooperativo por autovalor: ED, RLRT, ERD e GLRT. Para cada técnica, foi analisada a influência dos números de RCs, TPs e amostras coletadas. Avaliou-se ainda, o comportamento dessas técnicas em função da SNR. Por último, foi simulado um ambiente não-cooperativo para as técnicas ED e RLRT. Todos os resultados foram apresentados e discutidos.

A partir dos resultados, observa-se que o aumento do número de RCs melhora o desempenho das técnicas avaliadas. De forma semelhante, quanto maior o número de amostras coletadas melhor o desempenho das técnicas. Uma melhora no desempenho das técnicas também foi verificada em cenários onde mais de um UP estava presente.

Observou-se também, que as técnicas com conhecimento prévio do ruído (RLRT e ED) apresentaram melhor desempenho, para cenários com 3 e 5 RCs cooperando. Porém, à medida que o número e RCs cresce, a técnica GRLT tende a se comportar como a RLRT, superando o desempenho das técnicas ED e ERD.

Na análise da influência da SNR, todas as técnicas avaliadas apresentaram um desempenho insatisfatório, considerando valores de SNR tão baixos quanto -20 dB. Contudo, para SNR igual ou maior que -10 dB, todas as técnicas apresentaram $P_D \geq 90\%$ e $P_{FA} \leq 10\%$, em pelo menos uma das configurações testadas.

Por fim, em cenários não-cooperativos as técnicas avaliadas apresentaram maior sensibilidade à diminuição da SNR do que em cenários cooperativos. Nesse caso, é possível aumentar o número de amostras para melhorar o baixo desempenho devido a não-cooperação.

Trabalhos futuros podem expandir o cenário de simulação proposto. Analisando o comportamento das técnicas para canais com

outros modelos de desvanecimento, como Rice e Nakagami-m, e para sinais transmitidos com diferentes tipos de modulação digital.

Referências

AKAN, O. B.; KARLI, O. B.; ERGUL, O. Cognitive radio sensor networks. **IEEE Network**, v. 23, n. 4, p. 34–40, 2009.

AKYILDIZ, I. F. et al. Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey. **Computer Network**, v. 50, p. 2127–2159, 2006.

AKYILDIZ, I. F. et al. A survey on spectrum management in cognitive radio networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 46, n. 4, p. 40–48, 2008.

ANATEL. **Campanha alerta para o fim das transmissões analógicas da TV aberta**. 2015. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia&codigo=36925>.

ANATEL. **PDFF - Plano de Destinação de Faixas de Frequência**. 2016. Disponível em: <http://sistemas.anatel.gov.br/pdf/Consulta/Consulta.asp?SISQSmodulo=1068>.

ANJOS, A. A. dos. **Plataforma de Simulação para Análise de Desempenho do Sensoriamento Espectral baseado em Autovalores para Rádios Cognitivos**. Dissertação, Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil, 2012.

ARIANANDA, D. D.; LAKSHMANAN, M. K.; NIKOOKAR, H. A survey on spectrum sensing techniques for cognitive radio. In: **Second International Workshop on Cognitive Radio and Advanced Spectrum Management. CogART**. 2009.

AXELL, E. et al. Spectrum sensing for cognitive radio : State-of-the-art and recent advances. **IEEE Signal Processing Magazine**, v. 29, n. 3, p. 101–116, 2012.

CABRIC, D.; MISHRA, S. M.; BRODERSEN, R. W. Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios. In: **Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers**. p. 772–776, 2004.

CORDEIRO, C. et al. Ieee 802.22: The first worldwide wireless standard based on cognitive radios. In: **First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)**. Baltimore, USA: IEEE. p. 328–337, 2005.

FCC. Spectrum Policy Task Force. **ET Docket No. 02- 135**. 2002.

FCC. Spectrum Policy Task Force. **Report of the Spectrum Efficiency Working Group**. 2002.

GUIMARÃES, D. A.; SOUZA, R. A. A. de. Implementation-oriented model for centralized data-fusion cooperative spectrum sensing. **IEEE Communications Letters**, v. 16, n. 11, p. 1804–1807, 2012.

HAYKIN, S. Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 23, n. 2, p. 201–220, 2005.

III, J. M.; JR., G. Q. M. Cognitive radio: Making software radios more personal. **IEEE Personal Communications**, v. 06, n. 4, p. 13–18, 1999.

ISLAM, M. H. et al. Spectrum survey in singapore: Occupancy measurements and analyses. In: **3rd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom)**. Singapore: IEEE. p. 1–7, 2008.

KORTUN, A. et al. On the performance of eigenvalue-based cooperative spectrum sensing for cognitive radio. **IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing**, v. 5, n. 1, p. 49–55, 2011.

MATHWORKS. **MATLAB Web Site**. 2016. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>.

MCHENRY, M. A. et al. Chicago spectrum occupancy measurements & analysis and a long-term studies proposal. In: **First International Workshop on Technology and Policy for Accessing (TAPAS)**. New York, USA: ACM. 2006.

METROPOLIS, N.; ULAM, S. The Monte Carlo Method. **Journal of the American statistical association**, v. 44, n. 247, p. 335–341, 1949.

NADLER, B.; PENNA, F.; GARELLO, R. Performance of eigenvalue-based signal detectors with known and unknown noise level. In: **2011 IEEE International Conference on Communications (ICC)**. Quioto, Japão: IEEE, p. 1–5, 2011.

NETO, J. S. **Contribuições ao Estudo sobre Sensoriamento Espectral Baseado em Autovalor para Aplicações em Sistemas de Rádio Cognitivo**. Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil, 2011.

SOUSA, M. P. et al. Redes cognitivas: Um novo paradigma para as comunicações sem fio. In: **XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. Gramado, Brasil: SBC. p. 153–197, 2010.

STEVENSON, C. R. et al. **Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard, doc.:** IEEE 802.22-05/0007r47. 2006.

THOMAS, R. W.; DASILVA, L. A.; MACKENZIE, A. B. Cognitive networks. In: **First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)**. Baltimore, USA: IEEE, p. 352–360, 2005.

WG, I. . W. **IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks Website**. 2016. Disponível em: <<http://www.ieee802.org/22/>>.

YUCEK, T.; ARSLAN, H. A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 11, n. 1, p. 116–130, 2009.

ZENG, Y.; LIANG, Y. C. Eigenvalue-based spectrum sensing algorithms for cognitive radio. **IEEE Transactions on Communications**, v. 57, n. 6, p. 1784–1793, 2009.

ZENG, Y. et al. A review on spectrum sensing for cognitive radio: Challenges and solutions. **EURASIP Journal on Advances in Signal Processing**, v. 2010, p. 1–15, 2010.

Sobre os autores

André Luiz Carvalho Ottoni

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). Professor do curso de Engenharia de Computação, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). É membro da Sociedade Brasileira de Automática (SBA). Seus principais tópicos de pesquisa são: Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina, Otimização Combinatória e Robótica Inteligente. E-mail: andre.ottoni@ufrb.edu.br

Alex Silva Santos

Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas e Bacharel em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Áreas de atuação: Redes de computadores e Dispositivos móveis. E-mail: alexsisantos@gmail.com

Camila Bezerra da Silva

Doutora em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora do curso de Engenharia de Computação, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Principais áreas de atuação: Inteligência Artificial, Ciência de Dados, Representação de Conhecimento e Raciocínio e Sistemas de Recomendação. E-mail: camilabezerra@ufrb.edu.br

Eliabe Nascimento Silva

Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas e Bacharel em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Áreas de atuação: Desenvolvimento de Sistemas e Inteligência Artificial. E-mail: silvaengcomp@gmail.com

João Carlos Nunes Bittencourt

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor do curso de Engenharia de Computação, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade Federal

do Recôncavo da Bahia (UFRB). Principais áreas de atuação: sistemas de criptografia, arquiteturas em hardware reconfigurável, sistemas embarcados e sistemas cyber-físicos.

E-mail: joaocarlos@ufrb.edu.br

José Valentim dos Santos Filho

Doutor em Engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro com **período co-tutela** em *Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systemes* (França). Professor do curso de Engenharia de Computação, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Principais áreas de atuação: Redes e Protocolos de Comunicação de Dados, Computação Aplicada, IoT, Cidades Inteligentes e suas tecnologias.

E-mail: valentim@ufrb.edu.br

João Soares de Oliveira Neto

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo e em Computação pela *Université Paris-Saclay*. Professor do curso de Engenharia de Computação, no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Principais áreas de atuação: Interação Humano-Computador, tecnologias assistivas digitais para o espaço urbano e Engenharia de Software. E-mail: jneto@ufrb.edu.br

Joel Eugênio Cordeiro Junior

Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas e Bacharel em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Analista de Tecnologia da Informação no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. Áreas de atuação: Infraestrutura de TI, Redes de Computadores e Telecomunicações.

E-mail: joelecrj@gmail.com

Tiago Almeida Santos

Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Áreas de atuação: Usabilidade, Interação Humano- Computador e Desenvolvimento de Sistemas. E-mail: tiagoalmeida789@outlook.com

O curso de Engenharia de Computação congrega importantes áreas para o desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade. Engenharia de Software, Redes de Computadores, Inteligência Artificial, Robótica e Microeletrônica são apenas alguns exemplos de campos de atuação de um(a) Engenheiro(a) de Computação. Nesse aspecto, **"Tópicos em Engenharia de Computação da UFRB"** reúne casos de sucesso em pesquisa e inovação de estudantes e professores do curso. O livro contempla o relato de experiências e resultados em importantes aplicações, tais como: controle de processos agrícolas, dispositivos móveis, rádio inteligente e educação.

ISBN: 978-65-87743-24-0



Editora UFRB