

FTT JOURNAL

of Engineering and Business

9ª Edição

FUNDAÇÃO SALVADOR ARENA

ENTIDADE MANTENEDORA

Conselho Curador

Presidente: Regina Celi Venâncio

Carlos Alberto Legori

Edson Marcos Zoccante

Hélio dos Santos Junior

Iara Satoco Yamada

Luis Carlos Rabello

Márcia Thiemi Uemura

Maria Luzia de Almeida

Marlene Barbieri Taveira

Nelson da Silva Leme

Toshihiko Kumamoto

Valcir Shiguero Omori

Venize Vigatto

FACULDADE DE TECNOLOGIA TERMOMECANICA

Diretor Geral

Valcir Shiguero Omori

Diretora Acadêmica

Luciana Guimarães Naves Lemos Borges

Coordenadores

Administração: Andrea Firmino de Sá

Engenharia de Alimentos: Ana Laura Tibério de Jesus

Engenharia de Controle e Automação: Silvio Celso Peixoto Gomes

Engenharia de Computação: Rodrigo Tadeu Fontes

Pesquisa e Extensão: Diogo Martins Gonçalves de Moraes

FTT Journal of Engineering and Business	São Bernardo do Campo	v. 1	n. 9	p. 137	Jun. 2024
---	--------------------------	------	------	--------	-----------

CONTATO

Faculdade Engenheiro Salvador Arena

E-mail: journal@ftt.com.br

EDITOR ACADÊMICO

Prof. Dr. Fernando Felício Pachi Filho

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO EDITORIAL

Simone dos Santos Faria

APOIO EDITORIAL

Aila Renata Okada Goulart

Carla Fernanda Ribeiro de Alencar Vieira

Kátia Alves Aquino Guariso

Luciane Alves

Milena Medeiros de Andrade

Rita de Cássia Ferreira de Sousa

Valéria Pompermayer Fazolim

SUPORTE TÉCNICO

Marcelo Salles

PRODUÇÃO EDITORIAL

Helena Cristina da Silva Santos

Beatriz Lima Santos

REVISÃO

Sérgio Martins

COMITÊ EDITORIAL CIENTÍFICO

- Prof. Dr. Antonio Tavares da Silva (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)
Profa. Dra. Claudia Fonseca Rosès (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo)
Prof. Dr. Daniel Oliveira (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)
Prof. Dr. Edmir Prado (Universidade de São Paulo-Leste)
Profa. Dra. Ilana Racowski (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)
Prof. Dra. Isabel Machado (Universidade de São Paulo)
Prof. Dr. Jean Bonvent (Universidade Federal do ABC)
Profa. Dra. Júlia Maria D'Andrea Greve (Universidade de São Paulo)
Profa. Dra. Lidia Maria Ruv Carelli Barreto (Universidade de Taubaté)
Prof. Dr. Leo Kugnik (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)
Prof. Dr. Mario Francisco Guerra Boaratti (Universidade Metodista de São Paulo)
Profa. Dra. Martha Regina Verruma-Bernardi (Universidade Federal de São Carlos)
Prof. Dr. Paulo Roberto Garcia Lucarelli (Universidade Nove de Julho)
Profa. Dra. Rosely Imbernon (Universidade de São Paulo- Leste)
Prof. Dr. Wagner Wuol (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)

AVALIADORES DESTA EDIÇÃO

- Prof. Dr. Alison Martins Meurer (Universidade Federal do Paraná)
Profa. Ma. Bárbara do Nascimento Alves (Instituto Federal de Pernambuco)
Prof. Dr. Cláudio Rodrigues Muniz da Silva (Universidade Federal do Rio Grande do Norte)
Me. Clemlison Elpidio da Silva (Universidade Estadual de Campinas)
Profa. Ma. Daiana Rafaela Pedersini (Universidade do Estado de Santa Catarina)
Prof. Dr. Dion Lenon Prediger Feil (Universidade Federal de Santa Maria)
Prof. Dr. Emanuel Truta do Bomfim (União de Ensino Superior de Campina Grande)
Me. Elliott Victor de Sousa Chaves (Universidade Federal da Paraíba)
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida (Universidade Federal de Rondônia)
Prof. Me. Ítalo Carlos Soares do Nascimento (Faculdade Católica do Rio Grande do Norte)
Profa. Dra. Izabel Cristina Zattar (Universidade Federal do Paraná)
Prof. Dr. Jonatas Dutra Sallaberry (Universidade do Contestado)
Me. Lizy Manayra Santos Oliveira (Universidade Federal do Ceará)
Profa. Ma. Lucimara de Sousa Teixeira (Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza)
Prof. Dr. Maurício Antônio Deffert (Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo)
Profa. Dra. Milka Alves Correia Barbosa (Universidade Federal de Alagoas)
Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná)
Profa. Ma. Queli Ghilardi Cancian (Universidade Estadual do Oeste do Paraná)
Ma. Rafaela Grando (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)
Prof. Dr. Rômulo Maziero (Centro Estadual de Educação Técnica Talmo Luiz Silva)
Prof. Me. Rômulo Wilker Neri de Andrade (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte)
Profa. Dra. Sandra Regina Marcolino Gherardi (Instituto Federal Goiano)
Prof. Dr. Sílvia Paula Ribeiro (Universidade Federal do Mato Grosso do Sul)
Profa. Dra. Vânia Ulbricht (Universidade Federal de Santa Catarina)
Profa. Dra. Vanessa Aparecida Alves de Lima (Universidade Federal de Rondônia)

Sumário

6 Editorial

Administração

7

A precarização do trabalho no modelo de negócio: Uber

Amanda Silva

Lucas Becegato

Israel Cabral de Souza

Fabiana Fevorini

Maria Laura Ferranty Mac Lennan

Engenharia de Alimentos

26

Biomassa de banana verde: um ingrediente funcional na elaboração de sorvetes

Analía Verónica Gómez

Giovana Roberta Alves

Laura Tibério de Jesus

Klara Joaquim Piaia

Engenharia de Computação

41

Digital twins: controle dos movimentos de um braço robótico utilizando MQTT e NGSI

Fábio Henrique Cabrini

Ysabela Akiyama Molero Rodrigues

Caio Vinícius Magro

Matheus de Novais Sousa

Giovana Moreira da Silva

63

Sistemas de comunicação de banda limitada baseada em caos: transmitindo sinais caóticos de fato

Rodrigo Tadeu Fontes

Márcio Eisenkraft

Engenharia de Controle e Automação

78

Sistema de controle e monitorização IoT de uma estufa

Victor Inácio de Oliveira

Alex Paubel Junger

Ricardo Janes

Rogério Issamu Yamamoto

Alex Lopes de Oliveira

Bruno Luis Soares de Lima

Isabela Melo da Silva

Gestão Educacional

103

Aprendizagem baseada em projetos: a percepção de estudantes de curso de tecnologia

Valter João de Souza

Roque Antonio de Moura

Messias Borges Silva

Érica Carvalho Siqueira

119

Construindo consciência ambiental desde a infância: um estudo sobre sustentabilidade e gamificação

Diogo Martins Gonçalves de Moraes

Fábio Zegunis

Fernanda de Souza Rocha

Hanns Schults

Lais Puls Ferretti

Patricia Francisco Duin

Editorial

A 9ª edição da FTT Journal of Engineering and Business chega com uma novidade: iniciamos a publicação de artigos no campo de estudos de Gestão Educacional, área para qual pesquisadores de todo o país têm muito a contribuir. Dois artigos inauguram essa nova seção. No primeiro deles, os pesquisadores Valter João de Souza, Roque Antonio de Moura, Messias Borges Silva, Érica Carvalho Siqueira apresentam os resultados de estudo que analisa a percepção de estudantes sobre o ensino baseado em projetos e realizados em parceria com empresas em um curso de tecnologia. Os pesquisadores apontam a necessidade de adequação de métodos para aprimorar a qualidade dos cursos superiores. No segundo artigo, Diogo Martins Gonçalves de Moraes, Fábio Zegunis, Fernanda de Souza Rocha, Hanns Schuls, Lais Puls Ferretti e Patricia Francisco Duin apresentam uma proposta de um aplicativo gamificado para conscientizar crianças de 5 a 13 anos sobre a importância da sustentabilidade, desenvolvido a partir de pesquisa com crianças e gestores educacionais.

O modelo de negócios da Uber, analisado à luz da precarização do trabalho, é tema do artigo de Amanda Silva, Lucas Becegato, Israel Cabral de Souza, Fabiana Fevorini e Maria Laura Ferranty Mac Lennan, publicado na seção de Administração. A pesquisa buscou compreender a visão dos motoristas do aplicativo Uber sobre suas condições de trabalho e ao migrar para um modelo de trabalho flexibilizado. Os resultados indicam que a Uber é uma oportunidade de inserção para trabalhadores que estão passando por momentos de dificuldades e necessitam permanecer no mercado de trabalho, por mais que essa função seja reconhecida como precária pela maioria dos colaboradores.

Na seção de Engenharia de Alimentos, Analía Verónica Gómez, Giovana Roberta Alves, Laura Tibério de Jesus e Klara Joaquim Piaia relatam o desenvolvimento de sorvetes com biomassa de banana verde, transformando rejeitos em produtos nutritivos e lucrativos para pequenos bananicultores. As análises realizadas confirmam as boas características físicas, químicas e tecnológicas do produto, que tem potencial para gerar renda adicional aos agricultores.

Fábio Henrique Cabrini, Ysabela Akiyama Molero Rodrigues, Caio Vinícius Magro, Matheus de Novais Sousa, Giovana Moreira da Silva abrem a seção de Engenharia de Computação com artigo que apresenta a construção de um protótipo de gêmeo digital e sua modelagem para a comunicação bidirecional entre um braço mecânico IoT e um modelo tridimensional intermediado por um broker de contexto baseado em padrões abertos, que se demonstrou viável para aplicações didáticas. No artigo Sistemas de comunicação de banda limitada baseada em caos: transmitindo sinais caóticos de fato, Rodrigo Fontes e Márcio Eisencraft utilizam os expoentes de Lyapunov para analisar como propriedades dinâmicas do mapa de Hénon se modificam em função de coeficientes de um filtro de resposta finita inserido na realimentação do sistema.

Na seção de Engenharia de Controle e Automação, Victor Inácio de Oliveira, Alex Paubel Junger, Ricardo Janes, Rogério Issamu Yamamoto, Alex Lopes de Oliveira, Bruno Luis Soares de Lima e Isabela Melo da Silva mostram o desenvolvimento de um sistema de controle e monitorização de dados de uma estufa, que pode ser implantado tanto em âmbito residencial quanto em larga escala, a exemplo do agronegócio.

A precarização do trabalho no modelo de negócio: Uber

Precarious work in the business model: Uber

Administração

Amanda Silva (amanda.silvaw@outlook.com)

Bacharel em Administração pelo Centro Universitário FEI.

Lucas Becegato (lucas.becegato@hotmail.com)

Bacharel em Administração pelo Centro Universitário FEI.

Israel Cabral de Souza (israel.cabral22@hotmail.com)

Bacharel em Administração pelo Centro Universitário FEI.

Fabiana Fevorini (ffevorini@gmail.com)

Doutora em Administração pela Universidade de São Paulo e professora do Centro Universitário Unifieo.

Maria Laura Ferranty MaC Lennan (mferranty@fei.edu.br)

Doutora em Administração pela Universidade São Paulo (USP) e professora do Centro Universitário FEI.

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024
- ISSN 2525-8729

Submissão: 14 dez. 2023 Aceitação: 19 abr. 2024

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p.7 - 25

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

A precarização do trabalho é elemento central da nova dinâmica do desenvolvimento do capitalismo, criando uma nova condição de vulnerabilidade social: um processo social que modifica as condições de trabalho (assalariado e estável), anteriormente hegemônicas no período da chamada sociedade salarial ou fordista. Essa nova condição de trabalho, paulatinamente, se torna central e prevalente, antagonizando com outras formas de trabalho e de direitos sociais que ainda permanecem e resistem. O objetivo do estudo é compreender a visão que o motorista do aplicativo tem da Uber sobre as suas condições de trabalho. Foi investigado o sentimento dos motoristas ao migrar para um modelo de trabalho flexibilizado. Por isso, foi levantada a questão se a insatisfação com o emprego estável pode afetar a escolha de mudança do profissional para um trabalho flexibilizado, como a Uber proporciona.

Palavras-chave: Economia compartilhada. Trabalho flexibilizado. Consumo colaborativo.

Abstract

The precarization of labor stands as a pivotal element in the contemporary dynamics of capitalist development, engendering a new condition of social vulnerability. This social process reshapes previous hegemonic labor conditions—stable waged employment—which prevailed during the era of the so-called salaried or Fordist society. Gradually, this new labor condition assumes centrality and hegemony, standing in contrast with other forms of work and social rights that persist and resist change. The aim of the study is to understand the perspective of Uber app drivers regarding their working conditions. The investigation delved into the sentiments of drivers transitioning into a flexible work model. Therefore, the inquiry raised the question of whether dissatisfaction with stable employment could influence the choice of professionals to shift towards flexible work, as facilitated by platforms like Uber.

Keywords: Shared economy. Flexible labor. Learning. Collaborative consumption.

Introdução

Desde a reorganização política, econômica e social que ocorreu na Idade Contemporânea e, principalmente, a partir do século XX, o trabalho se tornou categoria importante na construção da identidade do sujeito, sendo estruturante tanto para a sociedade quanto para o indivíduo (Borges; Yamamoto, 2004). Dessa forma, tornou-se uma importante área de estudos tendo sido pesquisada por diversos autores. Kovács (2003) observa que a globalização da economia implica a redução do emprego estável e o aumento de uma força de trabalho flexível, que se encontra em condições precárias e pouco ou nada protegidas. Para a autora, é anunciada a redução drástica, até a extinção do emprego formal estável, em tempo integral, a favor do modelo de emprego flexível. Essa evolução implica o aumento da força de trabalho flexível, fluida, periférica ou contingente que engloba, sobretudo, os trabalhadores em regime de tempo parcial, temporariamente contratados, e certas categorias de trabalhadores que operam por conta própria (Kovács, 2003).

Na mesma linha, Druck (2011) afirma que a precarização do trabalho é elemento central da nova dinâmica do desenvolvimento do capitalismo, criando uma nova condição de vulnerabilidade social: um processo que modifica as condições de trabalho (assalariado e estável), anteriormente hegemônicas no período da chamada sociedade salarial ou fordista. Essa nova condição de trabalho, paulatinamente, se torna central e predominante, antagonizando com outras formas de trabalho e de direitos sociais que ainda permanecem e resistem (Druck, 2011).

A precarização do trabalho, à vista disso, é percebida como uma das consequências mais visíveis da flexibilização do mercado de trabalho e do impacto sobre o trabalhador submetido a essas diretrizes. Diante desse universo de transformação constante são indispensáveis os estudos que discorram sobre os impactos dos novos modelos de negócio, com o objetivo de avaliar algumas consequências desses novos arranjos empresariais, como a informalidade e precarização das condições de trabalho.

Neste estudo, entende-se a precarização do trabalho a partir do conceito de Thébaud-Mony (2000) que afirma que a precarização social e do trabalho é um processo multidimensional de institucionalização da instabilidade caracterizado pelo crescimento de diferentes formas de precariedade e de exclusão. É apoiada na diminuição dos custos de produção a partir da flexibilização do trabalho. Considera-se, para fins de pesquisa, que a startup Uber seja bastante

representativa deste novo modelo de trabalho, uma vez que os trabalhadores nessa empresa estão sujeitos a um trabalho flexível e instável e que não gera custos de produção. Como problema de pesquisa levanta-se: qual a visão do trabalhador sobre a precarização das condições de trabalho nessa empresa? Supõe-se que, entre esses fatores podem estar a insatisfação ou necessidade de complemento de renda, ausência de qualificações de trabalho, insatisfação com o modelo tradicional de trabalho, entre outros.

Para responder ao problema de pesquisa levantado, o objetivo geral deste estudo é compreender a visão que o motorista do aplicativo da Uber tem sobre as suas condições de trabalho. Para o cumprimento deste objetivo geral foram traçados os seguintes objetivos específicos. São eles: (i) traçar o perfil de uma amostra de motoristas do aplicativo Uber; (ii) relacionar características demográficas dos entrevistados à sua visão sobre a situação; (iii) expor a realidade desses trabalhadores em relação à precarização das condições de trabalho.

Na observação prática, surgiu uma necessidade de exploração e entendimento sobre os fatores influenciadores na escolha desse tipo de carreira, uma vez que a individualidade e a flexibilização do trabalho desse modelo de negócio são fortes fatores caracterizadores e não necessariamente seguros para com o colaborador usuário desse modelo intermediador.

Referencial teórico

Nessa fundamentação teórica traremos uma evolução histórica sobre as relações de trabalho no Brasil iniciando-se na década de 1930 até o momento pós-pandemia de Covid-19 no início da década de 2020.

Segundo Luz e Santin (2010), a Revolução de 1930 no Brasil impactou a economia e a maneira tradicional de trabalho em alguns aspectos. Por um lado, começaram a surgir desmembramentos entre os cargos e funções, tornando-os cada vez mais especializados. Além disso, o trabalho começou a sofrer regulamentações requeridas pela população que buscava melhores condições oferecidas pelos empregadores.

Em 1934, foi criada uma Constituição, estabelecendo importantes mudanças nas leis trabalhistas, gerando benefícios ao proletariado (Galvão, 1981). Através de uma Assembleia Constituinte, foi

promulgada, em 18 de setembro de 1946, uma nova Constituição substituindo a anterior, outorgada em 1937, incluindo como órgão do Poder Judiciário, a Justiça do Trabalho (Luz; Santin, 2010). Este órgão foi organizado de acordo com o entendimento do trabalho como necessidade social, ou uma obrigação social, que traz algo totalmente positivo para a sociedade na busca por melhor qualidade de vida (Ferrari; Nascimento; Martins Filho, 1998).

Durante o regime militar, o direito à greve foi um dos direitos restringidos após a mudança de governo, sendo proibido nas instâncias dos serviços públicos, visto que greves poderiam gerar manifestações apoiadas por sindicatos e partidos de esquerda, tornando-se um ataque aos militares. Além dessa mudança, o trabalhador passou a criar uma maior relação com a empresa, integrando-se no desenvolvimento da companhia, passando a receber valores referentes à participação nos lucros e na gestão da empresa, ganhando mais espaço. A criação do PIS (Programa de Integração Social) e do PASEP (Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público) também ocorreram nessa época, geridos pela Caixa Econômica Federal e pelo Banco do Brasil, respectivamente (Ferrari; Nascimento; Martins Filho, 1998).

Devido à velocidade de crescimento da globalização, os pensamentos neoliberais, que também cresceram em paralelo, geraram a desregulação do trabalho que pode ser vista como um reflexo da heterogeneidade, diversidade e fragmentação da classe trabalhadora do século XXI (Oliveira; Moita; Aquino, 2016). A relação instituição do emprego assalariado constituiu-se como a base do emprego padrão e, em torno dela, aos poucos foram sendo estabelecidos direitos e benefícios para regulamentar as condições de uma relação de trabalho baseada em nítidas diferenças e subordinação (Tosta, 2018).

No Brasil, trabalhos flexíveis ou informais sempre estiveram presentes na sociedade. Em ambientes de alta competitividade e baixa disponibilidade de salários, a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) é satisfatória para proteger os direitos dos trabalhadores (Lima; Zuppani; MacLennan, 2017); contudo, em cenário de desemprego e baixo crescimento, trabalhos flexíveis e a informalidade tendem a emergir. A falta de qualificação de pessoas que não tiveram acesso à educação profissionalizante ou até mesmo básica tornou os meios de trabalhos informais a forma de sustento e sobrevivência possíveis (Tosta, 2018). Com um grande número de pessoas em busca de emprego, o maior intuito das empresas que tornam vigentes os novos modelos de contratação é a flexibilidade dos contratos. Nesse contexto, as relações laborais deixam de ser mediadas pela CLT e passam a ser

regidas por outros mecanismos. Os meios pelos quais as empresas flexibilizam o trabalho estão exemplificados nas variações de volume de trabalho diário, salários, horários e localização unindo a busca pela “recompensa” monetária dos colaboradores a algo mais produtivo para as companhias (Andrade, 2019).

O motivo da busca por recompensas monetárias mais flexíveis ou informais, muitas vezes como meio de sobrevivência em meio ao longo desemprego, está associado à crise econômica vivida na última década (2010-2020), a qual pressiona para a implantação de um novo modo de organização do trabalho, garantindo um amplo uso de subcontratações e terceirizações, tendo como exemplo de mudanças: a flexibilização contratual, o advento tecnológico, o aumento nos níveis de subemprego e/ou informalização de empregos, maior competitividade e obsolescência de profissões e novas cobranças/pressões para com o trabalhador, que agora passa a ter de se comportar, pensar e agir de acordo com o que o mercado estabelece (Oliveira; Aquino, 2016). Atualmente, o modelo tradicional da contratação de colaboradores assalariados e outros modelos mais flexíveis têm disputado espaço no mercado de trabalho. Novas propostas como tornar colaboradores pessoas jurídicas, trabalhos temporários, subcontratações e acordos são formas de contornar arranjos empregatícios regulamentados (Tosta, 2018).

Diante da nova tendência de empregos flexíveis, o trabalhador adapta-se à nova interpretação de empregabilidade, em que a empresa não é mais responsável pela aprendizagem e aperfeiçoamento técnico do trabalhador, passando agora a cada colaborador a responsabilidade pela absorção de novas competências por conta própria. Isso mostra a necessidade de educação técnica e/ou profissionalizante que adapte o colaborador ao meio de produção (Sá, 2010). O uso compartilhado na prestação de serviço, tem sido, em tempos modernos, uma nova forma de precarização do trabalho, profissionalizando novas maneiras de exploração. Grande parte da precarização do trabalho deve-se à “uberização” de parte dos empregos. O termo “uberização” tem como significado um “novo formato de fazer negócios, apoiado nas tecnologias móveis, que conectam o consumidor, da forma mais direta possível, ao fornecedor de produtos e serviços” (Kzam, 2016).

A nova a cultura de compartilhamento, ou utilizando a terminologia “uberização”, tem tomado cada vez mais espaço de empregos nos quais já existiam diferentes níveis de exploração (Córdova, 2020). Com o crescimento cosmopolita das cidades brasileiras, muitos empregos que sempre atenderam a sociedade e já eram conhecidos por apresentarem condições precárias, agora possuem seu nível de

precarização intensificado devido ao crescimento da digitalização da prestação de serviços; exemplos conhecidos de serviços que estão passando pela digitalização são: serviços de limpeza doméstica, *delivery* de objetos e alimentos, cuidado de crianças, transporte de cargas e pessoas, entre outros, que abusam da vulnerabilidade de trabalhadores muitas vezes economicamente fragilizados (Córdova, 2020).

A “uberização” da mão de obra seria, portanto, a utilização das capacidades e tempo disponível de trabalhadores sem sequer vincularem funcionários a uma companhia específica, característica muito similar à dos freelancers, os quais capitalizam suas habilidades atendendo as necessidades do mercado. A intermediação entre a oportunidade de serviço e a realidade de trabalhadores desempregados ou insatisfeitos com subempregos gera uma área de intersecção perfeita para o desenvolvimento de empresas que seguem a economia de compartilhamento e proporcionam maiores ganhos materiais em cima da produtividade (Andrade, 2019). A precarização engloba diversos aspectos, da saúde ocupacional até a ausência de direitos e a remuneração inadequada dos trabalhadores. Isso ressalta a importância do fortalecimento da representatividade sindical dessas classes de trabalhadores, visando proteger seus direitos e promover condições de trabalho mais dignas (Diniz; Carvalho Neto; Costa, 2024).

Um ponto que merece atenção é a relação que comumente se estabelece entre uberização e economia compartilhada. Cohen e Muñoz (2016) defendem que o conceito de consumo colaborativo ou economia compartilhada se refere à melhoria das relações humanas na aquisição de bens ou serviços dentro do contexto do capitalismo tradicional, no qual a posse e a compra individual eram mantidas sem espaço para empréstimos ou compartilhamentos com outras pessoas ou entidades. Do ponto de vista financeiro, Jiang e Tian (2016) consideram a nova economia como uma resposta alternativa às recessões econômicas globais, bem como uma possível redução do poder de compra da sociedade e um aumento na conscientização sobre o consumo sustentável.

Para Antunes (2020), a uberização do trabalho é uma tendência global que atinge diversas ocupações com diferentes qualificações e rendimentos, o que consolida a passagem do trabalhador para a condição de um autogerente subordinado, mas denominado “empreendedor”. O trabalhador uberizado é submetido a constante avaliação pelos consumidores e está sujeito a competição em ranqueamento sem sequer conhecer todas as regras às quais está submetido, realidade acentuada no contexto pós-pandemia de Covid-19 (Antunes, 2020).

Procedimentos metodológicos

Nesta seção, será descrito o percurso metodológico de pesquisa aplicada na investigação da situação laboral de motoristas de Uber. A precarização do trabalho e “uberização” de direitos já foram discutidos em outros estudos (Diniz; Carvalho Neto; Costa, 2024). Os participantes se encontram em diferentes regiões do Estado de São Paulo e responderam à pesquisa por meio de uma plataforma on-line. Com base no objetivo geral e objetivos específicos definidos, optou-se por uma pesquisa de caráter exploratório realizada através de levantamentos ou *survey*. A pesquisa quantitativa foi realizada com 123 profissionais cadastrados no aplicativo e que atuam como motoristas na região do grande ABCD e em outras localidades do estado de São Paulo. A amostra é caracterizada por uma amostragem por conveniência, obtida pela proximidade dos pesquisadores com a região (São Paulo) e o grupo específico de respondentes. O questionário foi elaborado a partir do referencial teórico. Foi disponibilizado na plataforma “Google Forms” e divulgado em grupos de WhatsApp dos quais os integrantes fazem parte e em grupos pertencentes a motoristas do aplicativo, através de contatos inseridos nesses grupos. O questionário foi aberto do dia 24 de abril ao dia 4 de maio de 2020. Além do WhatsApp, o Facebook foi uma plataforma também utilizada para a distribuição do *survey*. A pesquisa foi realizada totalmente via plataformas digitais devido ao momento vivido no ano de 2020 durante a pandemia do vírus da COVID-19, impossibilitando o contato direto com os entrevistados de acordo com os decretos de distanciamento social.

Para facilitar a análise a ser realizada, o questionário foi criado utilizando perguntas fechadas, claras, sem duplas interpretações e com quantidade de questões adequadas. Para tornar possível a compreensão da realidade de motoristas, foi estruturada uma pesquisa para a coleta de dados que engloba o real cenário vivido e a perspectiva das pessoas participantes. A abordagem utilizada é quantitativa e utiliza dados de frequência e intensidade obedecendo à escala Likert de questionário. Os níveis são classificados entre 1 e 5, sendo: 1 - correspondente à completa concordância com as afirmações expostas; 2 - sendo baixa concordância; 3 - como indiferença; 4 - como baixa discordância e 5 - completa discordância.

A coleta de dados foi obtida na forma de um questionário com vinte questões. Na elaboração desse questionário, as seis primeiras questões estão relacionadas ao perfil das pessoas que respondem à pesquisa, traçando os perfis de colaboradores respondentes. As demais buscam compreender as

opiniões e comportamentos desses mesmos colaboradores para com a empresa Uber, condições de trabalho e o estilo de vida que a empresa proporciona.

Os temas abordados no questionário estão relacionados à fundamentação teórica, especialmente aos estudos relacionados à “uberização”. A investigação das “maneiras e motivos para o ingresso no Uber” estão relacionadas às motivações mencionadas por Oliveira e Aquino (2016) que traduzem mudanças na relação dos trabalhadores com as empresas por pressões financeiras e de mercado. Estes autores também citam vantagens e desvantagens do trabalho flexibilizado, assim como Sá (2010), Kzam (2016), Tosta (2018) e Andrade (2019), que discutem aspectos como maior agilidade na contratação de trabalhadores, entre eles, os pouco qualificados, a flexibilidade de condições de trabalho, como horário e carga horária, em paralelo à falta de vínculos formais com a empresa que implicariam em cuidados da empresa em relação ao trabalhador e à maior segurança desses trabalhadores. Estas condições podem levar o trabalhador a ter vínculos simultâneos com empresas diferentes, o que leva à necessidade de se investigar, nesta pesquisa, a representatividade da Uber na vida de cada motorista.

Quadro 1 – Temas abordados no questionário x quantidade de questões

Temas abordados no questionário	Quantidade de questões
Maneiras e motivos para o ingresso no Uber	2
Representatividade do aplicativo na vida do motorista	4
Vantagens do trabalho flexibilizado	2
Desvantagens do trabalho flexibilizado	3
Cuidados da Uber para os colaboradores	1
Segurança e satisfação no trabalho	2

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Os principais tópicos abordados no questionário são: maneiras e motivos de ingresso na Uber, representatividade do aplicativo na vida do motorista, vantagens do trabalho flexibilizado, desvantagens do trabalho flexibilizado, cuidados que a empresa tem para com os colaboradores, segurança do trabalho e satisfação no trabalho. Conforme pode-se verificar no Quadro 1, foram relacionados os temas abordados no questionário e quantas questões foram associadas ao tema. A partir dos gráficos disponibilizados pela plataforma “Google Forms”, foi realizada, inicialmente, uma análise descritiva dos dados, os quais também são disponibilizados em formato de planilha, o que permite, com o uso do software Excel ou similar, o cruzamento dos dados coletados. Isso também foi utilizado neste estudo, como se verá na análise de resultados.

Resultados e discussão

Para a qualificação da amostra foram pesquisados os seguintes dados: idade, estado civil, renda mensal e classificação de renda adquirida através do aplicativo entre primária, secundária ou terciária. Eles são apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Idade dos entrevistados.

Sua idade é:	Percentual
De 18 a 30 anos	32,5%
De 31 a 40 anos	18,7%
De 41 a 50 anos	19,5%
De 51 a 60 anos	25,2%
Mais de 60 anos	4,1%

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Por meio dos dados, é possível compreender a tendência de adesão por trabalhadores mais jovens. Cerca de um terço dos respondentes da amostra informam que têm entre 18 e 30 anos de idade e, se somados aos participantes que responderam ter entre 31 e 40 anos, resultam na abrangência de 51,2% de toda a amostra. O estado civil dos motoristas está transmitido na tabela 2:

Tabela 2 – Estado civil dos entrevistados

Estado civil:	Percentual
Casado	32,5%
Divorciado	18,7%
Solteiro	19,5%
Viúvo	25,2%

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Mais da metade dos motoristas da amostra são casados e cerca de 15% são divorciados, levando-se a concluir que cerca de dois terços da amostra possuem responsabilidades familiares e com alta probabilidade de utilizar a empresa Uber como forma de sustento ou complemento financeiro de maior necessidade. O grau de importância que essa prestação de serviço tem para o motorista analisado está representado na Tabela 3, referente à pergunta sobre o tipo de renda que a Uber proporciona ao motorista. A seguir, a Tabela 3 apresenta os dados:

Tabela 3 – Classificação de renda adquirida através do aplicativo Uber dos entrevistados.

Classificação de renda adquirida através do aplicativo Uber:	Percentual
Fonte de renda primária	69,1%
Fonte de renda secundária	26,8%
Fonte de renda terciária	4,1%

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

A grande maioria dos motoristas entrevistados utiliza a empresa Uber como fonte de renda primária. Ao seguir o fator complementar de que a maioria dos entrevistados também são casados ou divorciados, pode-se supor que muitos consideram a Uber como uma forma de sustento para despesas familiares. A faixa de renda total dos entrevistados está na tabela 4:

Tabela 4 – Ganho mensal dos entrevistados

Qual o seu ganho mensal total? Considerando o salário mínimo (SM) a R\$ 1.412,00.	Percentual
Até 1 SM	10,6%
De 1 a 3 SM	61,0%
De 3 a 5 SM	18,7%
Acima de 5 SM	7,3%
Prefiro não responder	2,4%

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

É plausível dizer que mesmo que a grande parte dos motoristas utilize o aplicativo da Uber como fonte de renda primária e meio de sustento familiar, o total arrecadado não ultrapassa 3 salários mínimos na maioria dos casos pesquisados. Os dados sobre o nível de escolaridade estão na tabela 5:

Tabela 5 – Nível de escolaridade dos entrevistados

Nível de escolaridade	Percentual
Ensino fundamental incompleto	1,6%
Ensino fundamental completo	2,4%
Ensino médio incompleto	5,7%
Ensino médio completo	31,7%
Ensino superior incompleto	29,3%
Ensino superior completo	29,3%

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

É notório o fato de que pelo menos 90,3% dos participantes da pesquisa possuem o ensino médio completo e, entre eles, cerca de 58,6% estão cursando ou já cursaram o ensino superior. Esses fatos mostram que a falta de capacitação para outras funções não é o fator preponderante na escolha de prestar ou não esse serviço de transporte. Esses dados se contrapõem ao que sugere Tosta (2008) sobre a precarização ser motivada pela baixa escolaridade, falta de qualificação de pessoas que não tiveram acesso à educação. Os mesmos dados reafirmam Antunes (2020) que identifica a uberização do trabalho como uma tendência global que atinge diversas ocupações com diferentes qualificações e rendimentos.

Após estudo das características dos indivíduos entrevistados, pode-se estabelecer um perfil comum ao levantamento unindo as maiores porcentagens de cada questionamento. Seguindo este raciocínio, o perfil comum entre os entrevistados é: idade entre 18 e 30 anos, casado, que utiliza o aplicativo Uber como fonte de renda primária, estudante ou formado em algum curso de ensino superior e que possui um salário mensal de até 3 salários mínimos.

Para complementar a análise e cumprir os objetivos da pesquisa também foram realizados alguns cruzamentos de dados. Mesmo que 69,1% dos respondentes da pesquisa afirmem que utilizam a Uber como renda primária, quando questionados se “o Uber é um complemento de renda”, 59,4% deles concordam ou concordam parcialmente. Cruzando esses dois pontos, é levantado o questionamento) de que muitos motoristas da Uber só trabalham nesse tipo de serviço como forma de renda individual ou familiar porque não possuem outra alternativa independente da forma de inserção no serviço, da segurança financeira que ele proporciona ou se possui característica complementar ou não. Esta situação está de acordo com as características da uberização descritas por Kzam (2016) e Andrade (2019) como um novo formato de fazer negócios usando a tecnologia e seguindo uma tendência de empregos mais flexíveis.

Com o objetivo de identificar características do grupo que tem este serviço como complemento de renda, foi traçada uma comparação entre o estado civil dos entrevistados e as respostas à afirmação “o Uber é um complemento de renda”. Na Tabela 7, pode-se observar que a maioria dos entrevistados casados concordam ou concordam parcialmente que a renda adquirida através das corridas do aplicativo é um complemento de renda, visto que muitos empregos formais não oferecem um salário capaz de sustentar a família durante um mês completo, sendo necessário

buscar formas de renda extra. A Tabela 6 mostra os resultados sobre se o Uber é um complemento de renda para o motorista.

Tabela 6 – Comparação (complemento de renda x estado civil)

Estado Civil	Concordo	Concordo Parcialmente	Indiferente	Discordo parcialmente	Discordo
Solteiro	11	15	1	5	5
Casado	19	21	2	7	17
Divorciado	0	7	1	4	7
Viuvo	0	1	0	0	0
Total	30	44	4	16	29

Fonte: Elaboração dos autores (2020)¹.

Ainda segundo o intuito desta pesquisa também foi investigado o sentimento dos motoristas ao migrar para um modelo de trabalho flexibilizado. Por isso, foi levantada a questão se a insatisfação com o emprego estável pode afetar a escolha de mudança do profissional para um trabalho flexibilizado, como o que a Uber proporciona. Pelas respostas registradas na Tabela 8, 74% dos entrevistados afirmam que concordam ou concordam parcialmente que a insatisfação com o emprego faz o colaborador repensar em migrar para trabalhos mais flexibilizados, o que corrobora a tese de Andrade (2019), que cita a insatisfação com o emprego ou subemprego como motivação para a busca por um trabalho “uberizado”.

Os motoristas foram questionados sobre se a insatisfação com o emprego faz o colaborador repensar maneiras de obter sua renda mensal e o leva a preferir trabalhos flexibilizados como o que o Uber proporciona. Através do cruzamento desses dados com a idade dos motoristas, observa-se que a predominância de escolha dessas alternativas está presente em sua maioria nos perfis de pessoas com mais de 41 anos, podendo demonstrar as diferenças entre gerações na aceitação dos novos modelos de negócios e na probabilidade de se arrisquem em carreiras em serviços flexibilizados. A comparação é ilustrada na Tabela 7:

¹ Dados trabalhados pelos autores.

Tabela 7 – Comparação (insatisfação com o emprego x idade)

Idade (anos)	Concordo	Concordo Parcialmente	Indiferente	Discordo parcialmente	Discordo
18-30	17	12	5	4	2
31-40	9	10	0	2	2
41-50	10	5	4	1	4
51-60	12	13	0	4	2
Acima de 60	2	1	1	0	1
Total	50	41	10	11	11

Fonte: Elaboração dos autores (2020)².

Com 58,6% de discordância ou discordância parcial da afirmação, a maioria dos entrevistados afirma que a falta de capacitação técnica e atualização nos estudos não foi o motivo principal para que eles ingressassem no aplicativo, reforçando as respostas da questão acerca da insatisfação com o emprego serem um dos maiores motivos de optarem pelo cadastramento no aplicativo, novamente alinhando-se com Andrade (2019). É importante perceber o alinhamento entre as questões para garantir que o perfil dos entrevistados seja traçado, buscando entender suas percepções sobre o serviço. Para isso, foram cruzados dados com a escolaridade dos entrevistados. A questão da Tabela 9 questiona se a falta de capacitação técnica e a atualização nos estudos, as quais possibilitariam ingressar em outros ramos de negócio, foi o motivo principal pelo qual você se tornou motorista na Uber. A Tabela 8 mostra o cruzamento dos dados:

² Nota: dados trabalhados pelos autores.

Tabela 8 – Comparação (influência da falta de capacitação técnica e atualização dos estudos x nível de escolaridade)

Escolaridade	Concordo	Concordo Parcialmente	Indiferente	Discordo parcialmente	Discordo
Superior incompleto	2	13	0	4	17
Superior completo	2	7	1	8	18
Fundamental incompleto	1	1	0	0	0
Fundamental completo	6	7	6	2	18
Ensino médio incompleto	1	1	1	0	4
Ensino médio completo	0	1	1	0	1
Total	12	30	9	14	58

Fonte: Elaboração dos autores (2020)³.

Por meio dos dados da Tabela 9, pode-se verificar que a maioria dos entrevistados que informaram discordar ou discordar parcialmente da afirmação possui o nível superior completo ou incompleto, reiterando que existem muitas pessoas capacitadas tecnicamente que trabalham como motorista no aplicativo simplesmente por dificuldades de recolocação no mercado de trabalho em suas áreas estudadas. Isso mostra que trabalhar na Uber é, sim, uma escapatória em momentos de desemprego ou por estarem descontentes com as capacitações e áreas escolhidas, corroborando Andrade (2019).

Para 51,3% dos entrevistados trabalhar para a Uber é um serviço precário, considerando-se os que concordam ou concordam parcialmente com a assertiva “Trabalhar para a Uber é um serviço precário (péssimas condições de exercer a sua função, desgastante e sem apoio governamental)”. Com o objetivo de possibilitar o entendimento das respostas, uma comparação foi realizada a partir do cruzamento de dados de escolaridade, conforme a Tabela 9 abaixo:

³ dados trabalhados pelos autores.

Tabela 9 – Comparação (Uber – serviço precário x nível de escolaridade)

Escolaridade	Concordo	Concordo Parcialmente	Indiferente	Discordo parcialmente	Discordo
Superior incompleto	6	11	3	7	9
Superior completo	12	13	4	3	4
Fundamental incompleto	1	0	0	1	0
Fundamental completo	6	9	4	6	13
Ensino médio incompleto	3	1	3	0	0
Ensino médio completo	0	1	0	2	0
Total	28	35	14	19	26

Fonte: Elaboração dos autores (2020)⁴.

Na Tabela 9, é possível verificar que o nível de escolaridade pode ter influência na classificação de um serviço, visto que, dentre todos os níveis de escolaridade, os entrevistados que possuem ensino superior completo classificaram o serviço prestado à Uber precário, com embasamento nas análises das questões anteriores. Ainda que em outras questões os entrevistados tenham sido assertivos em afirmar que os benefícios de um emprego formal não são compensados na Uber, trabalham mais de 8 horas por dia em 7 dias da semana, não possuem segurança e nem suporte total da empresa, estes mesmos respondentes ficaram com opiniões equilibradas sobre considerar seu trabalho como precário, com apenas 51,3% de concordância. Observamos, portanto, que pouco mais da metade dos trabalhadores ouvidos nesta pesquisa discordam da situação de precarização. Ainda assim, um grande número deles enxerga a atuação no Uber como sendo precária, o que indica em parte uma concordância com Kzam (2016), Sá (2016), Andrade (2019) e Antunes (2020).

Considerações finais

A partir dos dados e análise apresentados, considera-se cumprido o objetivo geral deste estudo que foi compreender a visão que o motorista do aplicativo possui do modelo de negócio da empresa Uber, meta que foi buscada também através dos objetivos específicos de traçar o perfil de uma amostra de motoristas do aplicativo Uber, relacionar características demográficas dos entrevistados à sua visão sobre a situação e expor a realidade desses trabalhadores.

⁴ dados trabalhados pelos autores.

Perante os estudos realizados, ficou evidenciado que ainda há traços do antigo perfil do trabalhador que permanecem em pleno século 21. A característica que se destacou na construção deste trabalho foi a aptidão do trabalhador em se adaptar às oportunidades do mercado a fim de atender suas necessidades básicas para sua sobrevivência.

A contribuição do estudo reside na análise crítica do modelo de negócio da Uber e sua relação com os direitos trabalhistas dos trabalhadores. Percebe-se que em setores específicos de atividades, as plataformas de intermediação do trabalho, como o Uber, têm se apropriado do valor socialmente produzido. Essa análise oferece uma compreensão mais profunda das dinâmicas contemporâneas do mercado de trabalho e destaca questões importantes sobre justiça, equidade e regulação nessas novas formas de emprego.

Nota-se a fragilidade dos trabalhadores em relação ao seu vínculo empregatício com este modelo, mas ao mesmo tempo percebe-se a existência de um novo modelo de negócio já incorporado na sociedade, que predomina com a falsa impressão de autonomia, ocasionada pela alta flexibilidade de horário, ofuscando os malefícios gerados, aos motoristas como falta de regulamentação de horário de início e fim da jornada, renda instável e ausência de direitos trabalhistas, indo de encontro com todas as mudanças auferidas na Era de Getúlio Vargas em 1934, tais como a definição do salário mínimo, jornada de oito horas, férias anuais remuneradas, seguro desemprego e benefícios médicos ao trabalhador. A verdadeira essência dos estudos se resume na veracidade em que o trabalhador, que se permite viver nessa situação de trabalho flexível, sem direitos trabalhistas ou qualquer respaldo do empregador, a partir de um momento de dificuldade, tal como o desemprego. Neste caso, ele se vê sem alternativas, a não ser, aceitar as condições atuais de se integrar com a oportunidade momentânea, apesar de todas as suas qualificações.

Conclui-se, portanto, que o novo modelo de negócio Uber é uma oportunidade de inserção para trabalhadores que estão passando por momentos de crises e necessitam permanecer no mercado de trabalho, por mais que essa função seja reconhecida como precária pela maioria dos colaboradores. Eles antepõem suas necessidades de sobrevivência, acima de qualquer direito do trabalhador considerado básico.

Como sugestão para futuros estudos, para que haja maior aproveitamento e avanço desta pesquisa sobre o novo modelo de negócio, é inevitável entender a perspectiva do empregador: Uber. Será

que é vantajoso para o novo modelo de negócio que seus próprios funcionários não se sintam incentivados a continuar a trabalhar na empresa? Até que ponto ela se vale da insegurança de seus funcionários?

Além disso, devido à pandemia de COVID-19, a impossibilidade de realizar entrevistas presenciais com motoristas do aplicativo foi uma grande limitação para a expansão do estudo. Numa outra situação, com entrevistas diretas com os motoristas, poderia ser outro objeto para um estudo futuro, tentando entender o dia a dia, através das palavras sinceras desses trabalhadores, a possibilidade de traçar objetivos mais específicos e até mesmo analisar se os custos financeiros e econômicos são compensados no faturamento mensal do motorista.

Referências

- ANDRADA, Alexandre. **Chineses, Robôs e a “Uberização” das Relações de Trabalho**: Diga Adeus às Férias e ao 13º Salário. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/48549sW>. Acesso em 20 de mar. de 2023.
- ANDRADE, Cristiane Batista. Casulo AC; Alves G. (Orgs.). **Precarização do trabalho e saúde mental**: o Brasil da Era Neoliberal. Bauru: Projeto Editorial Praxis; 2018. Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 24, n. 12, p. 4739-4742, Dec. 2019.
- ANTUNES, Ricardo. **Uberização, trabalho digital e Indústria 4.0**. 1. ed. São Paulo: Boitempo. 333 pp.
- BORGES, Livia de Oliveira; YAMAMOTO, Oswaldo H. **Mundo do Trabalho**: Construção Histórica e Desafios Contemporâneos. Larpsi, 2004.
- COHEN, Boyd; MUNOZ, Pablo. Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, p. 87-97, 2016.
- CÓRDOVA, Yasodara. **Limpeza a R\$ 20? A economia compartilhada virou economia da exploração**. 2020. Disp. em: <https://bit.ly/41fJ4cV>. Acesso em 8 de mar. de 2023.
- DESEMPREGO. **IBGE**, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>. Acesso em 06 de mai. de 2023.
- DINIZ, D. M.; CARVALHO NETO, A.; COSTA, G. R. O trabalho uberizado de motoboys e bikeboys de aplicativos: entre uma flexibilidade enganosa e a ausência de direitos. **BASE - Revista de Administração e Contabilidade da UNISINOS**, v. 21, n. 1, p. 0-0, 2024.
- DRUCK, G.. Trabalho, precarização e resistências: novos e velhos desafios?. **Caderno CRH**, v. 24, n. spe1, p. 37–57, 2011.
- FERRARI, Irany; NASCIMENTO, Amauri Mascaro; MARTINS FILHO, Ives Gandra da Silva. **História do Trabalho, do Direito do Trabalho e da Justiça do Trabalho**. São Paulo, LTr Editora, 1998.
- GALVÃO, Paulo Braga. **Os Direitos Sociais nas Constituições**. São Paulo: LTr, 1981.
- JIANG, Baojun; TIAN, Lin. Collaborative consumption: Strategic and economic implications of product sharing. **Management Science**, v. 64, n. 3, p. 1171-1188, 2018.

- KOVÁCS, Ilona. **Reestruturação empresarial e emprego**. Periódicos, 2003. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/perspectiva/article/viewFile/9761/8997>. Acesso em 15 de mar. de 2020.
- KZAM, João. **Uberização: o que é, para que serve e como funciona**. 2016. Disponível em: <https://www.tecnoveste.com.br/uberizacao-o-que-e-para-que-serve-e-como-funciona/>. Acesso em 14 de mar. de 2020.
- LIMA, Luciana Campos; ZUPPANI, Tatiani dos Santos; MACLENNAN, Maria Laura Ferranty. Gestão de recursos humanos nos BRICS: uma análise comparativa. *Interações (Campo Grande)*, v. 18, n. 3, p. 69-82, 2017.
- LUZ, Alex Faverzani da; SANTIN, Janaína Rigo. **As relações de trabalho e sua regulamentação no Brasil a partir da revolução de 1930**. *História, Franca*, v. 29, n. 2, p. 268-278, Dec. 2010.
- OLIVEIRA, Eveline N. P; AQUINO, Cassio. A. B. **Empreendedorismo e Precarização Laboral: Reflexões a partir do Discurso de Pequenos Empreend. na Cidade de Fortaleza**. 2016.
- OLIVEIRA, Eveline Nogueira Pinheiro de; MOITA, Dimitre Sampaio; AQUINO, Cassio Adriano Braz de. **O Empreendedor na Era do Trabalho Precário: relações entre empreendedorismo e precarização laboral**. *Rev. psicol. polít., São Paulo*, v. 16, n. 36, p. 207-226, ago. 2016.
- SÁ, Teresa. **“Precariedade” e “trabalho precário”**: consequências sociais da precarização laboral. 2010. Disp. em: <https://journals.openedition.org/configuracoes/203>. Acesso em 10 de mar. de 2023.
- THÉBAUD-MONY, Annie. (2000). *L'industrie nucléaire: sous-traitance et servitude*. Paris: Inserm-Edk.
- TOSTA, Tânia Ludmila Dias. **Antigas e novas formas de precarização do trabalho: o avanço da flexibilização entre profissionais de alta escolaridade**. *Soc. estado.*, Brasília, v. 23, n. 3, p. 786-788, Dec. 2008.

Biomassa de banana verde: um ingrediente funcional na elaboração de sorvetes

*Green banana biomass: a functional ingredient
in the production of ice cream.*

Engenharia de Alimentos

Analia Verónica Gómez (pro17103@cefsa.edu.br)

Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Nacional de La Plata
e professora de Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro
Salvador Arena.

Giovana Roberta Alves (051210012@faculdade.cefsa.edu.br)

Graduanda em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro
Salvador Arena.

Klara Joaquim Piaia (051210023@faculdade.cefsa.edu.br)

Graduanda em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro
Salvador Arena.

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024
- ISSN 2525-8729

Submissão: 10 dez. 2023 Aceitação: 19 abr..2024

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 26 - 40

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

A agricultura familiar é vital na produção dos alimentos para a população brasileira. É essencial criar formas de renda complementar para esses pequenos produtores. Assim, este estudo focou em aproveitar bananas verdes descartadas para o consumo in natura, reduzindo o desperdício e perdas econômicas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver sorvetes com biomassa de banana verde como ingrediente funcional, transformando rejeitos em produtos nutritivos e lucrativos para pequenos bananicultores. Foram criadas duas formulações de sorvete sabor cacau com biomassa de banana verde (BBV), comparadas a um sorvete padrão. Os produtos passaram por análises físico-químicas, *overrun*, densidade aparente e taxa de derretimento. Assim, foi possível obter sorvetes sabor chocolate com biomassa de banana verde, tanto da polpa quanto do fruto integral, com boas características físicas, químicas e tecnológicas. Utilizar biomassa de banana verde na fabricação de sorvetes é uma alternativa atraente para criar produtos com maior valor nutricional e fomentar o comércio local. Isso pode gerar renda adicional crucial para as famílias de pequenos produtores.

Palavras-chave: Ingrediente prebiótico. Amido resistente. Aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Abstract

Family farming is vital in producing food for the Brazilian population. It is essential to create forms of supplementary income for these small producers. Therefore, this study focused on using discarded green bananas for fresh consumption, reducing waste and economic losses. The objective of this paper was to develop ice creams made of green banana biomass as a functional ingredient, transforming waste into nutritious and profitable products for small banana farmers. Two formulations of cocoa-flavored ice cream were created with green banana biomass (BBV), compared to a standard ice cream. The products underwent physical-chemical analysis, *overrun*, apparent density and melting rate. Thus, it was possible to obtain chocolate-flavored ice creams with green banana biomass, both the pulp and the whole fruit, with good physical, chemical and technological characteristics. Using green banana biomass in the manufacture of ice cream is an attractive alternative to creating products with greater nutritional value and promoting local commerce. This could generate crucial additional income for smallholder families.

Keywords: Prebiotic ingredient. Resistant starch. Use of agro-industrial waste.

Introdução

O Brasil é considerado o quarto maior produtor mundial de bananas, com uma produção de 6,6 milhões de toneladas por ano, a qual está concentrada na região do Nordeste (FAO, 2020). Embora a produção seja alta, do total produzido no Brasil, são perdidos aproximadamente 40 % dos frutos na fase de pós-colheita (Embrapa, 2008), sendo estes descartados de maneira inadequada, o que pode gerar resíduos com um alto potencial poluente, além de representar perdas de biomassa e de nutrientes de alto valor.

O considerável teor de amido resistente (AR) torna a banana verde um produto prebiótico pois o AR age como fibra alimentar no organismo. Além do mais, a banana verde também possui compostos antioxidantes, não contém glúten, lactose nem caseína, o que favorece o uso desta matéria-prima em diferentes preparações alimentícias focadas em públicos intolerantes ou alérgicos aos compostos supracitados. Segundo Valle e Camargos (2003), os benefícios notados no consumo da biomassa de banana verde (BBV) são os listados a seguir: maior absorção dos nutrientes; melhora da imunidade; aumento da saciedade; melhora do funcionamento intestinal; redução da velocidade de absorção dos carboidratos e redução da absorção das gorduras ingeridas (controle do colesterol). Além de não alterar o sabor do alimento, a incorporação de BBV na formulação proporciona mais nutrientes e menos calorias ao alimento preparado (Wrobel; Teixeira 2017). Por fim, levando em consideração todos os benefícios mencionados anteriormente, a BBV é uma excelente matéria-prima para ser incorporada em diferentes formulações de produtos alimentícios.

Diversas metodologias já foram desenvolvidas para melhorar a textura dos alimentos incorporando biomassa de banana verde na sua composição, com o intuito de obter uma melhor aceitação desses produtos por parte da população. Sorvetes, sucos de manga, pães, brigadeiros e hambúrgueres de peixe são alguns exemplos dos produtos já desenvolvidos. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo desenvolver formulações de sorvete utilizando biomassa de banana verde como ingrediente funcional, com o intuito de aproveitar as bananas rejeitadas para a venda *in natura*.

Metodologia

As bananas verdes foram colhidas das bananeiras em pomar, no estágio de maturação 1 (totalmente verdes). Os demais ingredientes utilizados para a elaboração do sorvete foram: leite integral da fazenda Sesmaria, leite em pó desnatado (Itambé), gordura vegetal a base de óleo de palma (AKOBAKE), cacau em pó alcalino (Machu Picchu Foods S.A.C.), açúcar refinado (Guacira) e liga neutra (*Vogler Ingredients*).

No decorrer do projeto foram realizados testes preliminares para definir as formulações de sorvetes que seriam utilizadas, assim como a quantidade de cada ingrediente e o balanceamento das caldas dos sorvetes, para se obter um produto de boa qualidade, similar ao disponível no mercado.

Inicialmente foi elaborada uma formulação padrão (sem adição de biomassa de banana verde) que foi utilizada como controle para avaliar as características físico-químicas e tecnológicas do sorvete. Uma vez obtido o sorvete, foram elaboradas duas formulações com incorporação de biomassa de banana verde, uma delas com biomassa obtida a partir da polpa (BBV) e a outra preparada a partir da banana verde integral (casca + polpa) (BBVI). As formulações dos sorvetes são mostradas na Tabela 1 e foram desenvolvidas utilizando-se como base o artigo publicado por Wrobel e Teixeira (2017).

Tabela 1 – Formulação de sorvete de chocolate padrão e com a incorporação de biomassa de banana verde.

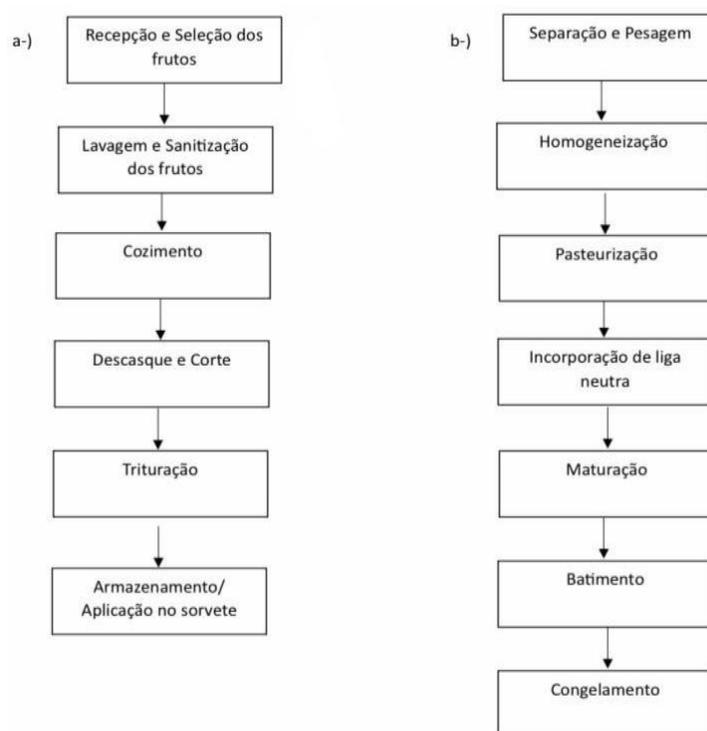
Ingredientes	Sorvete padrão	%	Sorvete com BBV*	%	Sorvete com BBVI*	%
Leite fluído integral	525,0 g	65,6	433,0 g	54,1	433,0 g	54,1
Leite desnatado em pó	80,0 g	10,0	80,0 g	10,0	80,0 g	10,0
Gordura de palma	40,0 g	5,0	40,0 g	5,0	40,0 g	5,0
Cacau alcalino em pó	16,0 g	2,0	16,0 g	2,0	16,0 g	2,0
Açúcar refinado	136,0 g	17,0	108,0 g	13,5	108,0 g	13,5
Liga neutra	3,2 g	0,4	3,2 g	0,4	3,2 g	0,4
BBV*	-	-	120,0 g	15,0	-	-
BBVI*	-	-	-	-	120,0 g	15,0
Total	800,2 g	100,0	800,2 g	100,0	800,2 g	100,0

* BBV=Biomassa obtida da polpa da banana verde. BBVI = Biomassa de banana verde integral obtida do fruto inteiro (casca + polpa).

Fonte: adaptado de Wrobel e Teixeira (2017)

O processo de produção da biomassa foi adaptado de Wrobel e Teixeira (2017), e foi composto pelas etapas de colheita, seleção, higienização, cozimento e batimento (Figura 1a).

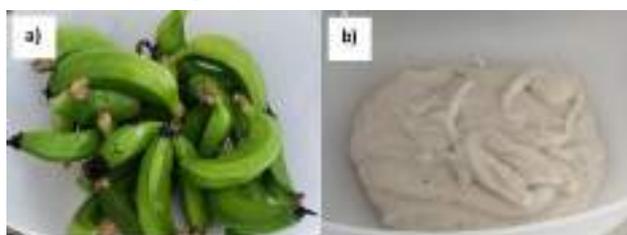
Figura 1 - a) Fluxograma do processo de produção da biomassa de banana verde. b) Fluxograma do processo de produção do sorvete.



Fonte: adaptado de Sena (2020) e Wrobel e Teixeira (2017)

Após a colheita das bananas, foi feita uma seleção e descartaram-se aquelas que estavam com ranhuras e/ou abertas. Em seguida, os frutos foram lavados com detergente neutro, higienizados com solução de 200 ppm de hipoclorito de sódio por 15 minutos e enxaguados em água corrente (Figura 2a). Posteriormente, as bananas foram imersas em uma panela de pressão e cozidas por 3 minutos. Uma vez retiradas da panela, as bananas foram descascadas e colocadas em liquidificador para batimento junto com 10mL de água filtrada para cada 100g de banana formando uma “massa” homogênea denominada BBV (Figura 2b). No caso da biomassa de banana integral (BBVI), o fruto inteiro foi colocado no liquidificador com 10 mL de água filtrada e seguido o procedimento realizado para a BBV.

Figura 2 – a) Banana verde logo após colheita, b) Biomassa de banana verde (BBV).



Fonte: Elaboração das autoras (2023)

Processo de produção de sorvete

O processo de produção do sorvete foi composto pelas etapas de preparação da mistura, homogeneização, pasteurização, maturação, batimento e incorporação de ar, acondicionamento e congelamento (Figura 1b). A elaboração do sorvete foi realizada de acordo com os procedimentos descritos por Oliveira e col. (2008) e Wrobel e Teixeira (2017), com algumas modificações.

Inicialmente, todos os ingredientes foram pesados separadamente. O leite integral, o açúcar, o leite em pó, o cacau e a gordura de palma foram misturados em liquidificador (SKYMSEN, mod. LI-1,5-N) durante 5 minutos e levados ao aquecimento em banho-maria (QUIMIS, mod. Q215M2) para o procedimento de pasteurização (80 °C, 25 segundos). Uma vez pasteurizada, a calda foi resfriada até atingir uma temperatura de 25° C. A amostra foi agitada em liquidificador junto à liga neutra por 10 minutos, até a obtenção de uma mistura homogênea. A calda obtida foi acondicionada em um recipiente de plástico fechado e levada à etapa de maturação, onde foi mantida em temperatura de refrigeração (2 a 5 °C) durante aproximadamente 24 horas. Posteriormente, a calda foi submetida ao processo de batimento e incorporação de ar em sorveteira de bancada (EOS, mod. EOS01B)

durante aproximadamente 60 minutos. Em seguida, o sorvete foi retirado da sorveteira, acondicionado em recipientes plásticos fechados e congelado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ em câmara de congelamento (São Rafael). As amostras de sorvete elaboradas foram mantidas sob congelamento até o momento de serem utilizadas.

Para a elaboração dos sorvetes com biomassa de banana verde, a BBV e a BBVI foram incorporadas à calda depois da pasteurização, quando a calda atingiu a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, para logo seguir para a etapa de maturação. O tempo de batimento na sorveteira foi de 35 minutos, tempo no qual ambos os sorvetes foram produzidos. Os sorvetes obtidos são mostrados na Figura 3.

Figura 3 - a) Sorvete padrão (sem adição de biomassa de BV). b) Sorvete com BBV. c) Sorvete com BBVI.



Fonte: Elaboração das autoras (2023)

Caracterização do sorvete

Para a realização das análises físico-químicas, as amostras de sorvetes foram preparadas e acondicionadas segundo a metodologia descrita no capítulo XXV (Gelados comestíveis) do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Para a caracterização do produto final, foram realizadas análises físico-químicas e análises de sólidos solúveis totais, teste de derretimento, cálculo de *overrun* e densidade aparente (Quadro 1).

Quadro 1 – Análises realizadas nas amostras de sorvete

Análise	Metodologia
Resíduo por incineração (cinzas)	485/IV*
Extrato seco total (resíduo seco a 105 °C)	429/IV*
pH	017/IV*
Acidez	426/IV*
Gordura	412/IV*
Protídeos	036/IV*
Carboidratos totais**	-
Sólidos solúveis totais	Carlos e col. (2019)
Overrun	Schein, 2016
Densidade aparente	Relação massa/volume
Taxa de derretimento	Correia e col. (2008) e Lomolino e col. (2020)

* Métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

** Estimados por diferença, subtraindo-se de cem os valores de umidade, proteínas, lipídios cinzas.

Fonte: Elaboração das autoras (2023)

Resultados e discussão

Análises físico-químicas

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas são mostrados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das análises físico-químicas realizadas nas 3 formulações de sorvete.

Determinação	Sorvete padrão	Sorvete BBV	Sorvete BBVI
Umidade (%)	50,87 ± 0,52	53,60 ± 1,13	58,28 ± 1,22
Cinzas (%)	1,438 ± 0,039	1,503 ± 0,042	1,485 ± 0,069
pH	6,89 ± 0,09	6,96 ± 0,10	6,85 ± 0,10
Acidez (% ácido láctico)	0,184 ± 0,004	0,206 ± 0,018	0,187 ± 0,012
Sólidos solúveis totais (°Brix)	46,9 ± 1,77	41,7 ± 2,19	41,2 ± 2,47
Protídeos (%)	5,91 ± 0,02	5,76 ± 0,08	5,88 ± 0,01
Lipídios (%)	1,27 ± 0,02	2,14 ± 0,01	2,20 ± 0,03
Carboidratos totais (%)*	40,5	37,0	32,2

* Estimados por diferença

Fonte: Elaboração das autoras (2023).

Umidade

As diferenças encontradas nos valores de umidade das 3 amostras analisadas (Tabela 2) podem ser explicadas pelo fato que os sorvetes com BBV e BBVI contêm amido, molécula que absorve e retém água durante a sua gelatinização (Rechsteiner, 2009). De acordo com Soler e Veiga (2001), quanto maior o nível de umidade, menor a concentração de sólidos, o que pôde ser verificado observando-se a quantidade de sólidos solúveis totais das amostras na tabela 2. Os sólidos são desejados, pois atuam melhorando a textura e a cremosidade do produto elaborado.

Teor de sólidos solúveis totais

Os resultados obtidos de sólidos solúveis totais das 3 amostras de sorvete analisadas são mostrados na Tabela 2. As formulações dos sorvetes com adição de biomassa de banana verde (BBV) e biomassa de banana verde integral (BBVI) apresentaram resultado de 41,7 e 41,2 °Brix”, respectivamente, sendo valores menores que aqueles da formulação padrão (46,9 °Brix). As diferenças encontradas no sorvete padrão podem ser atribuídas ao fato de ele conter em sua formulação mais quantidade de leite integral e açúcar refinado do que os sorvetes com BBV e BBVI, ingredientes que incrementam o teor de sólidos solúveis totais. Resultados com tendências semelhantes foram obtidos por Aragão (2018) em sorvetes que continham biomassa de banana verde na sua composição. Quando eles foram comparados com o sorvete padrão (sem adição de BBV), os sólidos solúveis totais foram superiores na amostra padrão.

Cinzas

Os resultados obtidos para os sorvetes padrão, BBV e BBVI, são mostrados na Tabela 2. O maior teor de cinzas encontrado nos sorvetes elaborados com biomassa de banana verde (BBV e BBVI) pode ser devido à quantidade de minerais que essa matéria-prima fornece ao sorvete. Resultados semelhantes foram encontrados por Cardoso e col. (2023) para sorvete de baunilha elaborado com o intuito de substituição de gordura láctea por biomassa de banana verde (BBV). Os autores desenvolveram 4 formulações, uma tradicional (sem a incorporação de BBV), e três formulações com quantidade crescente de BBV e decrescente de gordura. Os resultados obtidos estiveram entre 2,04% e 2,44%, porém, não foram encontradas diferenças significativas nas 4 amostras analisadas. Os diferentes valores de cinzas encontrados no presente trabalho e naquele realizado por Cardoso e col. (2023) podem ser relacionados com as diferentes matérias-primas e as quantidades utilizadas, sua procedência, assim como o processo de produção do sorvete.

pH

Analisando os resultados da tabela 2 foi possível observar que tanto a formulação padrão de sorvete quanto as amostras com biomassa (BBV e BBVI) continham pH próximo à neutralidade, na faixa entre 6 e 7, valores esperados para sorvetes que não têm incorporação de frutas cítricas ou de baixo pH. A incorporação de cacau alcalino nas três formulações não provocou um aumento no valor do pH.

Acidez

Para a acidez, foram obtidos valores na faixa de 0,18 e 0,20 g de ácido láctico em 100 g de sorvete (Tabela 2). Na legislação, não existem valores de referência para a acidez titulável em sorvetes, mas a acidez do leite é um dos parâmetros mais utilizados pela indústria de seus derivados para o controle da matéria-prima (BRASIL, 1995). Wrobel e Teixeira (2017) realizaram análise de acidez de sorvetes de chocolate com biomassa de banana verde e tiveram resultados entre 0,36 g e 0,38 g de ácido láctico em 100 mL de amostra. Os autores concluíram que as formulações que apresentaram maiores valores foram aquelas que tinham polpa de banana verde na sua composição, o que influenciou no aumento da acidez no sorvete. Ao considerar a acidez do leite, os valores encontrados para as três formulações foram maiores que 0,14 g a 0,18 g de ácido láctico em 100 mL, conforme estabelecido na Instrução Normativa nº. 62/2011 (Brasil, 2011).

Protídeos

Os resultados obtidos de proteínas para as 3 amostras analisadas foram similares e são mostrados na Tabela 2. Nas amostras testadas, as principais fontes de proteína foram o leite fluido e o leite em pó desnatado que compõem a formulação; esses ingredientes possuem caseína, que é responsável pela viscosidade da mistura, oferecer resistência ao derretimento e conferir textura ao produto (Senai, 2016).

Lipídeos

Os resultados obtidos da presença de lipídeos para as 3 amostras analisadas são mostrados na Tabela 2. Os teores de gordura obtidos no presente trabalho foram similares aos obtidos por Félix (2016), em que foram avaliadas diferentes marcas de sorvetes disponíveis no mercado, as quais apresentaram valores de lipídios entre 1,88 % e 2,60 %.

Carboidratos

Os carboidratos totais foram calculados por diferença, subtraindo-se de cem os valores obtidos para umidade, proteínas, lipídios e cinzas. O resultado obtido para cada uma das amostras desenvolvidas está apresentado na Tabela 2, sendo para o sorvete padrão 40,5 %, e para as amostras BBV e BBVI 37,0 % e 32,2 %, respectivamente. Nota-se que os valores obtidos para as formulações acrescidas de biomassa de banana verde obtiveram menor quantidade de carboidratos totais.

Overrun e densidade aparente

Segundo a Resolução RDC nº 266, de 22 de setembro de 2005, os sorvetes podem conter no máximo 110 % de ar incorporado no produto, não havendo um mínimo exigido (Brasil, 2005). Esse valor máximo de 110% de *overrun* corresponde a um valor mínimo de densidade aparente de 475g/L.

Considerando o mencionado anteriormente, as densidades aparentes das 3 amostras desenvolvidas no presente trabalho foram superiores (praticamente o dobro) do limite mínimo estabelecido pela legislação, estando na faixa de 801-894 g/L (Tabela 3). Referente ao valor obtido para o *overrun*, a amostra padrão teve um valor de 40,12 %, similar ao valor encontrado para o sorvete BBVI (39,42 %) (Tabela 3). Esses valores são esperados para sorvetes elaborados artesanalmente e foram similares aos reportados por Santos (2008), Aragão (2018) e Ramos (2016). Já a amostra de sorvete preparada com biomassa de banana verde (polpa) mostrou um valor de 24,5 % (Tabela 3), sendo o menor valor das 3 formulações. Esse fenômeno pode ser devido a que a amostra de sorvete BBV (polpa) possui mais amido que aquela com BBVI (polpa + casca). Portanto, a adição de amido ou amido resistente atuará como um estabilizador/agente espessante, aumentando a viscosidade, podendo provocar uma menor incorporação de ar no sorvete.

Tabela 3 – Resultados obtidos para *overrun* e densidade aparente para as 3 formulações de sorvete.

Formulação	Overrun (%)	Densidade aparente (g/L)
Sorvete padrão	40,12 ± 0,96	802,59 ± 7,17
Sorvete BBV	24,50 ± 2,52	893,96 ± 15,90
Sorvete BBVI	39,42 ± 1,50	801,55 ± 8,67

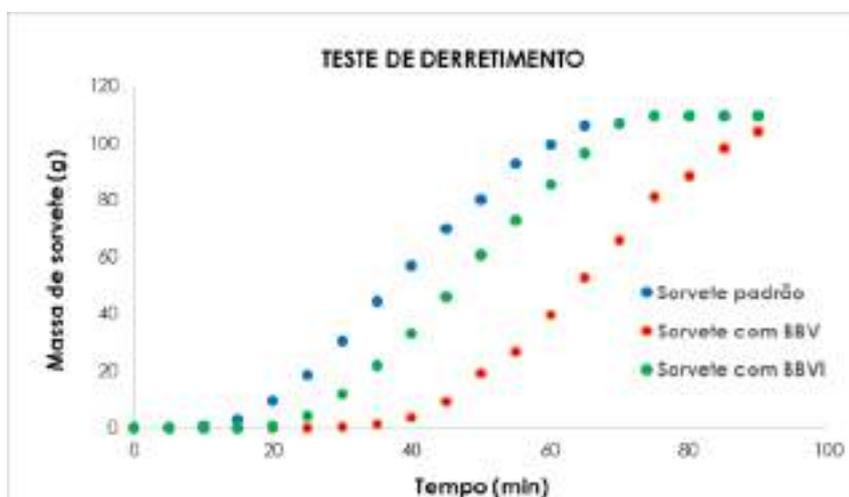
Fonte: Elaboração das autoras (2023)

Taxa de derretimento

O comportamento durante o derretimento foi analisado através do acompanhamento do gráfico do tempo versus massa de sorvete drenado (Gráfico 1), além dos parâmetros tempo inicial e velocidade de derretimento. A taxa de derretimento influencia na qualidade final do sorvete, pois ela está intimamente ligada a uma adequada resistência e a uma boa cremosidade, sendo um parâmetro importante a ser avaliado (SOUZA *et al.*, 2010).

As formulações de sorvete padrão e de BBVI tiveram curvas de taxa de derretimento similares (Gráfico 1), sendo que a amostra padrão começou a mostrar uma massa de sorvete derretida de maneira significativa aos 15 minutos, sendo que a amostra BBVI mostrou essa diferença a partir dos 25 minutos. A amostra de sorvete com BBV demorou um tempo maior para começar a derreter, sendo registrado um tempo de 40 minutos. A grande diferença encontrada na amostra BBV pode ser relacionada ao fato de que a biomassa de banana verde proveniente da polpa do fruto contém maior proporção de amido, o qual contribuirá com uma maior consistência da massa de sorvete, o que causará um retardo no tempo de derretimento do produto nas diferentes formulações de sorvetes.

Gráfico 1 – Taxas de derretimento das amostras de sorvete.



Fonte: Elaboração das autoras (2023).

Além do aumento de amido na formulação de sorvete com BBV, a maior taxa de derretimento observada na formulação padrão pode estar relacionada com a menor quantidade de sólidos totais presentes na sua composição. Segundo Correia et col. (2008), esse parâmetro é um dos fatores que podem estar associados ao derretimento mais rápido. A gordura também é um fator importante,

pois os sorvetes que contêm este componente derretem mais lentamente do que os sorvetes com baixo teor de gordura, uma vez que a gordura diminui a taxa de água e de transferência de calor (Akalin; Karagözlü; Ünal, 2008). Portanto, a BBV conferiu maior estabilidade às amostras, proporcionando maior resistência ao derretimento em relação à amostra controle e à amostra com BBVI; porém, longos tempos de resistência ao derretimento não são desejáveis. Segundo Estumano e Melo (2011), o derretimento ideal deve ocorrer entre 10 a 15 minutos, em temperatura ambiente, com a formação de um líquido homogêneo, com boa fluidez, parecido com a calda antes do congelamento.

Considerações finais

Quanto aos quesitos físico-químicos avaliados como pH, acidez, gordura, proteína, teor de cinzas, umidade, e as características tecnológicas de *overrun*, derretimento e densidade aparente, os sorvetes elaborados com biomassa de banana verde apresentaram resultados satisfatórios quando comparados à amostra de sorvete padrão (sem adição de biomassa), mas por se tratar de um produto inovador, existem aspectos que podem ser melhorados.

Em relação ao processo operacional, constatou-se que, para se produzir os sorvetes que são acrescidos de biomassa de banana verde integral ou biomassa de banana verde da polpa, conta-se com a vantagem de menor tempo de produção, ou seja, menor custo operacional e aumento da capacidade produtiva.

Referências

AKALIN, A. S.; KARAGÖZLÜ, C.; ÜNAL, G. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. **Eur Food Res Technol**, v. 227, p. 889–895, 2008.

ARAGÃO, D. M. et al. Sorvetes sabor maracujá elaborados com biomassa da banana verde e sucralose. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 483, 1 out. 2018. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i4.5353>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Agronegócio do Leite, Acidez Titulável**. Brasília, 1995. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-deinformacaotecnologica/criacoes/gado_de_leite/pre-producao/qualidade-eseguranca/qualidade/testes-dequalidade/acidez-titulavel. Acesso em: 25 abr. 2023

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 62**, de 29 de dezembro de 2011. Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade de Leite Tipo A. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-62-2011_78285.html. Acesso em: 25 abr. 2023

CARDOSO, I. G. et al. Unripe banana biomass as a dairy fat partial replacer in vanilla homemade ice cream. **Food Science And Technology, Campinas**, v. 43, n. 1, p. 1-9, maio 2023.

CARLOS, S. A. V. et al. Elaboração de sorvete de cupuaçu utilizando fibra de casca de maracujá como substituto de gordura. **Evidência - Ciência e Biotecnologia**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 23-44, 28 jun. 2019. Universidade do Oeste de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.18593/eba.v19i1.17300>.

CORREIA, R. T. P.; MAGALHÃES, M. M. A.; PEDRINI, M. R. S.; CRUZ, A. V. F.; CLEMENTINO, I. Sorvetes elaborados com leite caprino e bovino: composição química e propriedades de derretimento. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 251-256. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, 2008. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br> Acesso em: 23 fev. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Banana**. 2008. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/Abertura.html>. Acesso em 01/11/2022.

ESTUMANO, J. F.P., MELO K. C. N. **Cartilha de boas práticas de fabricação na indústria de gelados comestíveis**. Belém: SEBRAE; 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT statistic database. 2020. Disponível em: <http://faostat.fao.org> Acesso em: 01/11/2022.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 3. ed. São Paulo: IMESP, 2008.

LOMOLINO, G. et al. Ice recrystallisation and melting in ice cream with different proteins levels and subjected to thermal fluctuation. **International Dairy Journal**, v. 100, p. 1-9, 2020.

OLIVEIRA, K.H.; DE SOUZA, J.A.R.; MONTEIRO, A.R. Caracterização reológica de sorvetes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 592-598, 2008.

OLSON, D.; WHITE, C.; WATSON, C. Properties of frozen dairy desserts processed by microfluidization of their mixes. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 1157-1162, 2003.

RECHSTEINER, M. S. **Desenvolvimento de amidos fosfatados de batata doce e mandioca e aplicação como substitutos de gordura em sorvetes**. 2009. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2009.

RAMOS, Aurélia Faria. **Avaliação de aspectos físico-químicos, sensoriais e reológicos de sorvete gourmet elaborado com teor reduzido de lactose**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

SANTOS, G. G. **Características físicas, químicas e aceitabilidade de sorvete com mangaba e reduzido teor energético**. Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, 2008.

SCHEIN, M.F. **Desenvolvimento de torta de sorvete vegana**. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso –TCC (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SENA, Luise de Oliveira et al. **Produção de biomassa de banana verde**: comunicado técnico. EMBRAPA SP, Cruz das Almas, ed. 1, 2020. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121314/1/ComunicadoTecnico171ElisethAINFO.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2022.

SOLER, M. P.; VEIGA, P. G. **Sorvetes**. Campinas: ITAL; CIAL, 2001. 68 p. (Especial, 1). INDUSTRIALIZAÇÃO DE LEITES. Sorvetes. In: **Industrialização de Leites**. São Paulo: SENAI - SP, 2016. cap. 8, p. 88-110.

SOUZA, J. C. B.; COSTA, M. R.; DE RENSIS, C. M. V. B.; SIVIERI, E. Sorvete: composição, processamento e viabilidade da adição de probiótico. **Alimentos Nutrição**. Araraquara. v. 21, n. 1, p. 155-165, 2010.

VALLE, H.F.; CAMARGOS, M. **Yes, nós temos banana**. Histórias e receitas com biomassa de banana verde. 3. ed. 256 p. Editorial Senac. São Paulo, 2003.

WROBEL, A. M.; TEIXEIRA, E. C. O. **Elaboração e avaliação sensorial de um sorvete de chocolate com adição de biomassa de banana verde (*Musa spp*)**. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC (Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Digital Twins: controle dos movimentos de um braço robótico utilizando MQTT e NGSI

Digital twins: controlling the movements of a robotic arms using MQTT and NGSI

Engenharia de Computação

Fábio Henrique Cabrini (fabio.cabrini@usp.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Ysabela Akiyama Molero Rodrigues (ysabelamoleror@gmail.com)

Graduanda em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Caio Vinicius Magro (caio.magro21@gmail.com)

Graduando em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Matheus de Novais Sousa (math.novais@outlook.com)

Graduando em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Giovana Moreira da Silva (giovanamoreirasilva@outlook.com)

Graduanda em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

.FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024

• ISSN 2525-8729

Submissão: 14 dez.. 2023 Aceitação: 19 abr.2024

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p.41 - 62

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma Prova de Conceito, do inglês *Proof of Concept* (PoC), envolvendo o conceito de *Digital Twin* (DT) no contexto de indústria inteligente que estabeleça a comunicação bidirecional entre um braço mecânico IoT (do inglês, *Internet of Things*) e um modelo computacional tridimensional intermediado por um *broker* de contexto baseado em padrões abertos. O sistema possibilita que o braço mecânico e seu gêmeo digital realizem todas as manobras previstas no projeto do braço mecânico. O DT é uma ferramenta de simulação que usa modelos matemáticos avançados para criar uma réplica virtual idêntica à do ambiente físico. Este trabalho apresenta a construção de um protótipo de gêmeo digital e sua modelagem, integrada às tecnologias de processamento de informações de contexto e IoT, visando a aplicação nos cenários industriais para potencializar melhorias no processo produtivo. O estudo foi conduzido com base no FIWARE para o desenvolvimento da PoC, cujos experimentos práticos realizados em laboratório apresentam o fluxo de comunicação bidirecional entre o robô e seu gêmeo digital, demonstrando a viabilidade da solução para aplicações didáticas.

Palavras-chave: *Digital Twin*. Fiware. Indústria inteligente. *Internet of Things*.

Abstract

This paper aims to develop a Proof of Concept (PoC) involving the concept of Digital Twin (DT) in the context of Smart Industry, capable of establishing bidirectional communication between a Robot Arm and a 3D computational model mediated by an open standard based context broker. The system enables the mechanical arm and its digital twin to perform all maneuvers envisaged in the mechanical arm's design. DT is a simulation tool that uses advanced mathematical models to create a virtual replica identical to the physical environment. This article shows the construction of a digital twin and its modeling, integrated with context information processing and IoT technologies, aiming its application in industrial scenarios to enhance improvements in the production process. The study was conducted based on FIWARE for the development of the PoC, which practical laboratory experiments presented the bidirectional communication between the robot and its digital twin, demonstrating the efficiency of the proposed solution for didactic application.

Keywords: Digital Twin. Fiware. Smart industry. Internet of Things.

Introdução

Embora as Indústrias Inteligentes tenham trazido muitos benefícios e oportunidades para as empresas, ainda existem alguns desafios a serem enfrentados, como a falta de previsibilidade da produção, alto custo para manutenção e realização de melhorias, falta de padronização e dificuldade para integrar diferentes tecnologias. A ausência de um modelo para realizar simulações que não coloquem em risco a produção ou os equipamentos dificulta o gerenciamento, a execução de testes e as inovações no âmbito industrial (Bajic, *et al.*, 2020).

Como solução, esta pesquisa propôs o desenvolvimento de uma PoC envolvendo o conceito de um gêmeo digital para aplicações didáticas, simplificando a introdução no campo de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para esta tecnologia.

Os *digital twins* são modelos virtuais que reproduzem ambientes reais, e através da coleta de informações de contexto, permitem realizar simulações para prever o desempenho do mundo físico em diferentes cenários, englobando todo o ciclo de vida do processo (Bajic, *et al.*, 2020).

Nessa circunstância, este projeto apresentou o desenvolvimento de um protótipo que implementa o DT de um braço robótico, visando o contexto de indústrias inteligentes, para ser exercitado como um objeto de estudo, demonstrando dessa forma que o conceito aplicado em larga escala permite coletar métricas do ambiente produtivo real para acelerar a tomada de decisões nas indústrias. Essa técnica oferece a oportunidade de antecipar riscos que possam surgir na operação, permitindo que as empresas tomem medidas proativas sem desperdiçar seus insumos (Singh, *et al.*, 2021).

A criação do DT e sua modelagem foram realizadas através da integração de tecnologias de processamento de informações de contexto e a IoT para a prática em ambiente acadêmico. Para isso, foi necessária a utilização de um braço robótico equipado com servomotores que transmitem a informação de seus estados através de sensores internos, permitindo a reprodução do seu movimento pelo modelo virtual (Beek, Karkaria, Chen, 2023).

A avaliação dos resultados foi realizada a partir da transmissão bidirecional dos dados de movimento dos motores do braço robótico, através da criação de um modelo que implementa elementos que atuam como gerador de contexto baseado nos padrões abertos oferecidos pela

plataforma FIWARE e permitiram reproduzir os movimentos do robô virtual modelado com Unity, apresentando os conceitos estudados no artigo e demonstrados em trabalhos no estado da arte, como por exemplo, a perspectiva apontada por Rui Zhang na publicação “Digital twin and its applications: A survey” pelo periódico Springer Nature. O DT tem o potencial para melhorar a eficiência e a produtividade do negócio, ao mesmo tempo em que promove benefícios à empresa e ao meio ambiente em que está inserida (Zhang, *et al.*, 2022).

A justificativa para o estudo dessa solução tem base nos objetivos propostos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), através do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 4, que se refere à Educação de Qualidade. A implementação da PoC como MVP (*Minimum Viable Product*), ou Produto Mínimo Viável em português, nas empresas e instituições de ensino permite iniciar departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) que aperfeiçoem o tema internamente e promovam o desenvolvimento dos processos produtivos e tomada de decisões, auxiliando na formação de estudantes dos cursos de Engenharia (Nações Unidas Brasil, 2023).

Referencial teórico

Essa seção tem como objetivo apresentar alguns dos trabalhos, conceitos e ideias disponíveis na literatura específica, no estado da arte, que possibilitaram embasar o modelo tratado neste artigo, assim como uma base bibliográfica para validação das metodologias trabalhadas.

Nesse sentido, foram abordados o conceito de *digital twin* e sua modelagem, as tecnologias que permitem sua implementação, como o FIWARE, com foco de aplicação no cenário de Indústrias Inteligentes, o que é possível através da utilização de dispositivos que utilizam IoT para envio de informações de contexto em tempo de execução.

Digital twin

O DT é uma réplica virtual de um objeto ou ambiente físico que é utilizado para simular o comportamento e o desempenho de um determinado sistema em diferentes cenários. Este modelo digital pode promover uma redução do tempo de execução recebendo dados dos itens que o compõem, mantendo-se assim consistente com as entidades no ciclo de vida (Beek, Karkaria, Chen, 2023).

O gêmeo digital é um conjunto de construções de informação virtual que imita a estrutura, contexto e comportamento de um ativo físico único, ou um grupo de ativos físicos, e é atualizado dinamicamente com dados de seu gêmeo físico ao longo de seu ciclo de vida, transmitindo decisões que geram valor. Sua implementação ocorre com o suporte de tecnologias integradas que possibilitam desenvolver o modelo do DT e tratar seus dados para que sejam consumidos e analisados de acordo com seu objetivo de aplicação (Schroeder, *et al.*, 2016).

Conforme apresentado anteriormente, uma das principais aplicações do DT é no cenário de indústrias inteligentes em que ele pode ser modelado para o planejamento da produção, através de simulações que preveem o comportamento dos dispositivos de acordo com a projeção do teste, trazendo como resultado a quantidade de produtos fabricados, o tempo de vida das máquinas, alertas gerados sobre possíveis defeitos, orientações de quando devem ser feitas manutenções preventivas e até mesmo fornecer suporte de logística, monitorando o processo de transporte dos produtos e sugerindo melhores rotas de entrega (Tao, *et al.*, 2019).

Alguns exemplos na atualidade demonstram sua aplicabilidade e retorno de mercado para grandes empresas, como por exemplo, a SpaceX com a utilização de *digital twins* para mapear as trajetórias de lançamento de seus foguetes e satélites. A cada lançamento, centenas de dados são coletados de todos os sensores presentes no veículo de lançamento, para que métricas sejam geradas sobre as correções necessárias para manutenção das peças e até mesmo acelerar a tomada de decisão em tempo de execução. Além disso, sua utilização permite que as trajetórias de lançamento sejam exploradas em diferentes contextos, realizando simulações precisas sem a necessidade de relançar fisicamente o foguete, como foi apresentado no estudo de caso realizado pela Siemens, cujo resultado apontou um aumento de 50% na produtividade com a aplicação de plataformas digitais (Carlos, 2021).

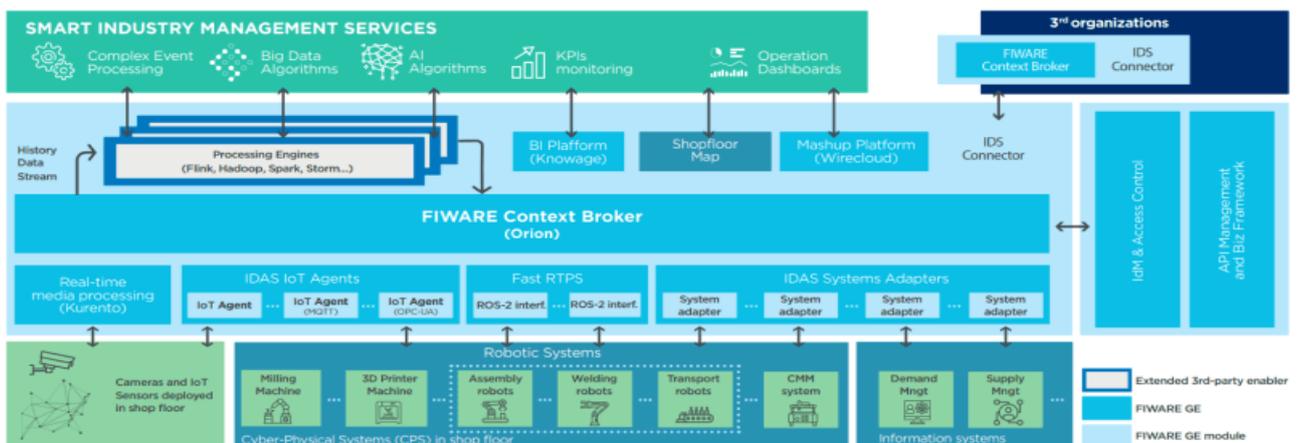
Outra inovação que utiliza DT para seu desenvolvimento é a iniciativa apresentada pela NVIDIA que utiliza *digital twins* para o planeta Terra, através do EARTH-2, para controle de mudanças climáticas, buscando acelerar o desenvolvimento de estratégias para controle dos efeitos causados à natureza e realizar projeções dos recursos disponíveis.

Fiware

O FIWARE é um *framework* composto por componentes modulares *open-source* cujos *Generic Enablers* (GEs) facilitam o desenvolvimento e a implementação de soluções inteligentes. Ele pode atuar como um *middleware* no gerenciamento dos dados em um DT e permitir o controle em tempo de execução (*runtime*) dos dados de contexto. Ele é fortemente escalável, porém sua implantação é altamente complexa, permitindo uma abordagem avançada de *Smart Data Models* (SDM) e interoperabilidade através do padrão NGSI (Next Generation Service Interfaces) (Gil, *et al.*, 2016).

A Figura 1 apresenta a arquitetura de referência utilizada pela FIWARE para aplicação em *Smart Industry* (Indústria Inteligente, em português), em que é possível observar em sua base a estrutura que recebe os dados dos dispositivos IoT e se comunica, de forma bidirecional, com os agentes que farão a conversão e o envio dos dados recebidos ao *broker* de contexto, Orion Context Broker, onde cada SDM irá realizar o consumo dos dados de acordo com sua aplicação, podendo alimentar também um DT, conforme evidenciado na arquitetura, motivo este que incentivou sua utilização como elemento central da solução, já que esta predisposição do Orion para aplicação em *digital twins* permite uma abordagem mais robusta na manipulação e gerenciamento dos dados que serão processados pelo *broker* (Bauer, *et al.*, 2021).

Figura 1 – Arquitetura de referência para solução de Indústria Inteligente estruturada pela FIWARE



Fonte: FIWARE (2022)

Next Generation Service Interface

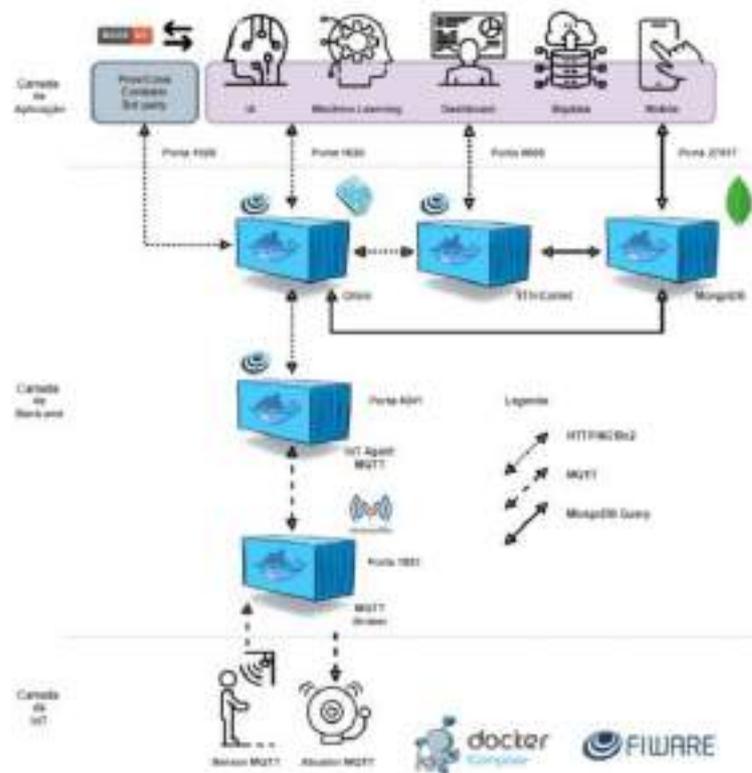
O padrão europeu de interface NGSI estabelece um modelo de dados consistente e uma API para troca de informação de contexto na plataforma FIWARE e outras aplicações, que podem ser utilizadas para a modelagem de DT em entidades, por exemplo, carros, pessoas, edifícios, entre outros. Os dados NGSI podem ser armazenados e disponibilizados utilizando *brokers* de contexto que implementam sua API, e têm como objetivo acessar informações de um DT específico, além de buscar ou descobrir novos DT disponíveis no ambiente (Conde et al., 2022).

O Fiware descomplicado

Outra tecnologia que deu apoio a este artigo foi o FIWARE Descomplicado, ferramenta que facilita o processo de instanciação dos GEs oferecidos pela FIWARE, destinado exclusivamente para atividades de PoCs que implementam soluções baseadas no processamento de informações de contexto que utilizam o NGSIv2 (Cabrini, 2023).

Na Figura 2, é possível visualizar as camadas da arquitetura dessa ferramenta; no topo, destaca-se a Camada de Aplicação, cuja função é voltada para o front-end tanto da aplicação quanto das ferramentas que irão interagir com os dispositivos IoT e os provedores de contexto. A camada seguinte é a de *back-end*, que abriga os GEs Orion Context Broker, STH-Comet, IoT Agent MQTT, *broker* Eclipse-Mosquitto, o banco de dados NoSQL MongoDB, que armazena as entidades e dados históricos. A última camada é a de IoT, que é responsável por estabelecer a comunicação com os dispositivos que se comunicam com a aplicação (Cabrini, 2023).

Figura 2 – Arquitetura da ferramenta FIWARE Descomplicado



Fonte: Cabrini (2023)

O grande diferencial do FIWARE Descomplicado é a utilização do STH-Comet, componente que permite o armazenamento de dados em larga escala e a consulta de séries temporais com maior eficácia, sendo um recurso mais aderente adequado à solução proposta por este estudo (Cabrini, 2023).

Componentes de comunicação

Para o desenvolvimento desta PoC foi importante identificar os componentes direcionados à comunicação entre as tecnologias envolvidas no processo, da coleta de informações dos sensores existentes no robô à transmissão desses dados ao Orion Context Broker presente no FIWARE Descomplicado. Dentre eles, estão as tecnologias existentes no braço robótico que permitiram a comunicação com os demais componentes da arquitetura deste protótipo.

IoT

Existem diferentes perspectivas para se analisar a definição de Internet das Coisas, e todas elas estão associadas à sua aplicação. Porém, no âmbito geral, IoT é uma tecnologia que possibilita a

conexão de dispositivos e objetos do cotidiano à internet, permitindo a troca de informações e ações automatizadas (Gil, *et al.*, 2016). Tendo como aliado o ambiente de computação em nuvem, seu escopo de aplicação é ampliado e as tecnologias se beneficiam entre si, permitindo uma gama de aplicações em múltiplas áreas, como casas, cidades inteligentes e indústrias inteligentes, bem como em áreas da saúde (Yassein, *et al.*, 2017)

Para garantir a segurança na troca de informações entre os dispositivos, foi proposta uma ontologia de segurança, projetada para ser leve e escalável, permitindo que dispositivos de IoT de baixo consumo de energia possam implementá-la sem problemas. Além disso, ela foi desenvolvida com base em padrões existentes de segurança de dados, como o *Web Ontology Language* (OWL) e o *Simple Knowledge Organization System* (SKOS), com o objetivo de fornecer uma estrutura comum para a troca segura e mais rápida de dados entre dispositivos IoT (Gil, *et al.*, 2016).

RoboARM

O RoboARM é um braço robótico desenvolvido para facilitar o aprendizado de robótica e programação, composto por 4 servomotores e projetado para evitar excesso de carga nos motores, concedendo mais torque para levantar objetos, suportando objetos de até 80g. Ele é desenvolvido e comercializado pela RoboCore e está disponível em um *kit* de montagem (Robocore, 2018).

Esse *kit* contém somente os componentes estruturais; para movimentá-lo, é preciso fazer a integração com uma placa auxiliar, cujas furações comportam a placa Arduino, Raspberry Pi ou a Vespa, uma placa própria do fabricante que pode ser comprada separadamente ou em um *kit* contendo todos os itens (Robocore, 2018).

Placas auxiliares

Arduíno

O Arduíno é uma plataforma *open source* desenvolvida para facilitar a prototipação e integração do hardware e software. Seu hardware é capaz de interpretar as requisições recebidas dos sensores e dispositivos conectados a ela e gerar uma resposta. Seu software, através de sua interface e linguagem de programação com suporte para C/C++, possibilita que o usuário estabeleça instruções que serão interpretadas pelos microcontroladores existentes na placa e transmitirão o comando específico para que as ações sejam executadas (Arduino, 2020).

Existem diferentes modelos de placa de acordo com a finalidade de sua aplicação. Para a aplicação neste estudo, foi utilizada a placa Arduino Mega 2560, cujo hardware também é *open source*, baseado no microcontrolador ATmega2560. Ela possui características encontradas no Arduino UNO R3 e R4, tendo algumas diferenças técnicas relacionadas ao seu tamanho, quantidade de pinos, além de apresentar maior capacidade de memória RAM e demais componentes (Arduíno, 2020).

Arduíno Ethernet Shield

A *shield* Ethernet é uma placa que permite conectar o Arduíno à Internet através do cabo Ethernet RJ45. Compatível com Arduíno UNO ou MEGA, ela é um hardware *open-source*; há diversas placas similares no mercado que foram baseadas em sua arquitetura e na interface Ethernet W5500 da Wiznet, o *upgrade* da versão W5100 utilizada nos primeiros Shields Ethernet fabricados pela marca Arduino.

Através do barramento SPI (*Serial Peripheral Interface*), ela utiliza os pinos 10, 11, 12 e 13 no UNO e 50, 51 e 52 no MEGA, para a conexão SPI com a interface WizNet, e suas versões mais recentes possuem cartão SD integrado (Arduíno, 2023).

Arduíno Ethernet Shield V5

O Arduíno Sensor Shield V5 é um *shield* do tipo expensor, de entradas e saídas, que permite a conexão de componentes e até outros módulos a placas como o Arduíno UNO ou MEGA, proporcionando maior área para se trabalhar com os componentes que serão integrados ao sistema. Ele é muito utilizado para projetos com servomotores, já que algumas características específicas para essa finalidade tornam a integração dos servomotores muito mais fácil, como por exemplo, barramentos tipo alimentação-sinal de 3 pinos e seu conector de alimentação auxiliar que permite uma alimentação separada aos pinos D0 ao D13 (Robocore, 2023).

Neste trabalho, ela foi conectada à placa *shield* Ethernet, que por sua vez estava conectada ao Arduíno MEGA, para que recebesse os pinos conectores dos 4 servomotores, permitindo a conexão do sistema como um todo.

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

O protocolo de comunicação MQTT tem como base o protocolo TCP/IP, utiliza o modelo cliente-servidor e surgiu como uma forma de simplificar essa comunicação para sensores, estruturado em uma arquitetura de três componentes: *publisher*, *broker* e *subscriber*. Criado pela IBM nos anos 1990, ele é um protocolo M2M (do inglês, *Machine to Machine*), orientado para mensagens, que utiliza o método *Publish-Subscribe* através do *broker*, que atua como um servidor intermediário, recebendo os dados e os trabalha para envio ao cliente e publicando a mensagem em um endereço popularmente chamado de tópico (Muneer et al., 2017).

O MQTT é um protocolo bastante usado na manipulação de dispositivos de IoT e recebimento de informações em tempo de execução, pelo seu baixo consumo de memória e pouca necessidade de processamento para envio das mensagens. Um exemplo de *broker* muito utilizado é o Mosquitto, por ser uma ferramenta *open source* de fácil implementação, o que auxilia na execução de testes (Muneer et al., 2017).

Este tipo de *broker* oferece suporte para implantação da versão com segurança *Transport Layer Security* (TLS), mais utilizada em aplicações executivas; dessa forma, para estudos e aplicações menores, o Mosquitto acaba sendo utilizado na versão MQTT padrão, por não exigir um nível elevado de protocolos de segurança, além de ser mais fácil de configurar (Muneer, et al., 2017).

Para os casos de aplicações mais robustas, principalmente para ambientes de produção, outros *brokers* como o EMQX acabam sendo utilizados por terem a opção embutida e oferecerem uma versão executiva com recursos específicos para o nível de complexidade exigido (EMQ Technologies Inc., 2023).

Unity

O Unity é uma plataforma, inicialmente desenvolvida para a criação de jogos 2D e 3D, que teve um grande desenvolvimento em modelagens para diversas aplicações como nas áreas automotiva, industrial, energética, aeroespacial e até para arquitetura e construção, pela facilidade na criação de componentes 3D, renderização e animação dos modelos. Seu desenvolvimento tem suporte para a linguagem C# e uma vasta comunidade que impulsionam o mercado, assim como sua capacidade de integração com múltiplas plataformas (Unity, 2022).

Sua criação veio com o objetivo de melhorar a indústria dos jogos, trazendo um novo motor gráfico focado na produção 3D. A grande razão para o sucesso da Unity foi o suporte aos pequenos produtores, já que lhes faltavam recursos para licenciar o desenvolvimento. Um clássico exemplo é o jogo GooBall, publicado em março de 2005, que trouxe a oportunidade ao time Unity de trazer melhorias de modo geral (Haas, 2014).

Recentemente, o Unity deixou de ser utilizado apenas para jogos; o motor 3D vem ganhando credibilidade em diversos meios: arquitetos podem desenvolver suas ideias de forma simples, artistas têm a capacidade de desenvolver exposições de artes interativas e pesquisadores encontram utilidade para a visualização de dados (Haas, 2014).

Blender

O Blender, de acordo com seus criadores, é uma “suíte de criação 3D gratuita e de código aberto” que permite a modelagem de objetos 3D, animações e efeitos especiais, podendo ser utilizado em multiplataformas, como Linux, macOS e Windows. Utilizando o OpenGL, consegue fornecer uma interface simples e consistente, sendo possível sua personalização com scripts em Python (Blender, 2023).

Metodologia

O desenvolvimento dessa PoC foi baseado nas arquiteturas propostas pela FIWARE para implementação de DT no cenário de indústrias inteligentes, buscando unir seus principais pontos e reproduzi-los para a construção de um gêmeo digital de um braço robótico. Esse robô é equipado com dispositivos de IoT que permitem alimentar o sistema com dados em tempo de execução, além de simular o ambiente produtivo em operação nas mais diversas situações, utilizando os dados obtidos para auxiliar na tomada de decisão.

Pela grande variedade de cenários de aplicação para a tecnologia a ser implantada, houve uma longa análise cujo caminho seria seguido como foco do estudo. Inicialmente, os autores consideraram utilizar como base as cidades inteligentes, mas a dificuldade para a manutenção dos sensores que

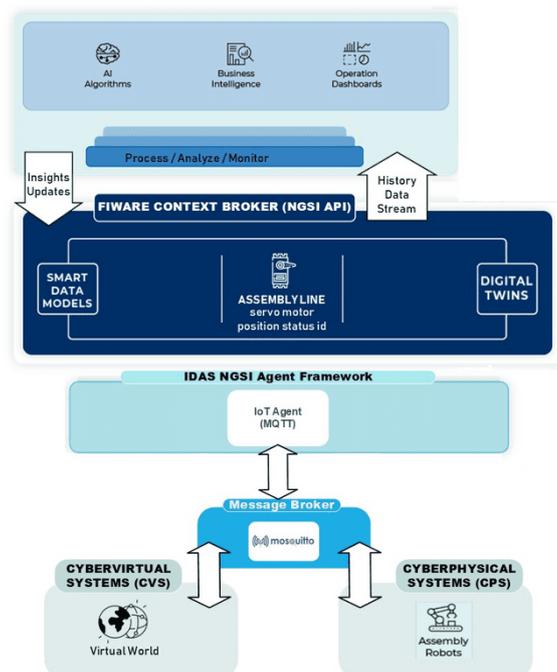
iriam coletar as informações de contexto para esse caso e a realização de testes inviabilizaram o estudo.

Diante disso, cogitou-se estudar o cenário de agricultura inteligente, para a análise do processo produtivo em fazendas, visando quantificar a previsibilidade de produção, mas as mesmas dificuldades acabaram por motivar a troca do escopo de aplicação.

Por fim, o cenário de aplicação escolhido foram as indústrias inteligentes, inspirado em um *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) que a princípio serviria como modelo para o DT, mas por ser um sistema mais antigo, cujo compartilhamento dos dados estava disponível apenas via comunicação serial, foi substituído por um braço robótico individual.

Para que os dados gerados pelo robô fossem transmitidos ao FIWARE Descomplicado, num fluxo de comunicação bidirecional que permitisse provar o conceito a ser modelado, foi necessário aplicar uma arquitetura conforme a demonstrada na Figura 3. Nela é possível identificar os protocolos de comunicação escolhidos para a coleta dos dados no dispositivo IoT, visualizar o fluxo de processamento da informação e a alimentação do gêmeo digital suportados pelas tecnologias FIWARE, assim como os *frameworks* de modelagem do robô que permitiram o desenvolvimento de um modelo virtual que replicará o comportamento real.

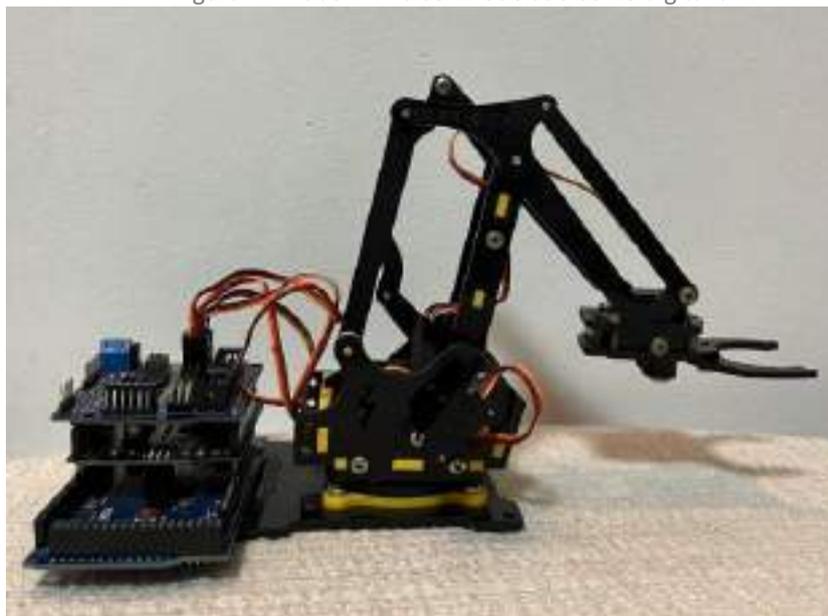
Figura 3 – Arquitetura utilizada para aplicação do DT de um braço robótico



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

O robô em questão é um RoboARM, e sua montagem foi o ponto de partida para o desenvolvimento desta PoC. Montado pelos próprios autores, é possível observá-lo na Figura 4. Ele é controlado por uma placa Arduíno MEGA integrada a uma Sensor Shield V5 e placa Ethernet que permitem a manipulação da garra e do braço robótico, assim como sua comunicação e envio de dados, através de dispositivos de IoT, ao *context broker*, por meio do protocolo MQTT.

Figura 4 – RoboARM a ser modelado como digital twin



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Para que isso fosse possível, foi utilizado o código disponível no repositório TCC-DT-Robot do GitHub através do *link*: <https://github.com/mathk9/TCC-DT-Robot/blob/master/roboArmMQTT.cpp>. Este script, escrito em linguagem C++, foi adaptado para esta finalidade e inserido na placa Arduino Mega acoplada no robô. Ele permite que o Arduino interprete os comandos enviados e transmita a posição escolhida ao servomotor, que irá se mover para a posição correta.

Com o robô funcionando, para dar continuidade no desenvolvimento do protótipo de gêmeo digital, a próxima etapa a ser definida é a integração com o *middleware* FIWARE Descomplicado. Para isso, foi criada uma conta estudantil no portal Azure, provedor de cloud da Microsoft, para a criação de uma máquina virtual (VM) de acordo com as especificações de configuração do *framework* disponíveis no arquivo ReadMe.md do GitHub, através do *link*: <https://github.com/fabioabrini/fiware/blob/main/README.md>.

Para a modelagem do DT, foi adquirida uma licença estudantil gratuita do Unity Hub, na categoria *Professional*, com validade de um ano. Nela, foi construído o modelo virtual do braço robótico idêntico ao real, cujo desenho 3D foi realizado no Blender, uma ferramenta *open source* que possibilita esse tipo de montagem.

Uma vez finalizado o desenho em 3D e seus eixos permitindo a movimentação do robô, foram incluídos no *script* os comandos que realizam a animação do modelo através do Unity, diferenciando as camadas do desenho e seus eixos para que, a cada requisição recebida pelo robô físico, o robô virtual saiba qual movimento deve realizar.

A etapa final do desenvolvimento consiste na integração dos ambientes físico e virtual; para isso, os dados são modelados em 4 subscrições diferentes, como se fossem *triggers*, ou seja, gatilhos que disparam a atualização dos motores para que os movimentos sejam realizados. Conforme as alterações são realizadas no robô físico, as subscrições são atualizadas e o robô virtual, que fica constantemente atualizando o status delas, reproduz o movimento da versão atual. E assim sucessivamente; no caso de o movimento ser realizado no robô 3D, a atualização da subscrição ocorre em tempo de execução e os movimentos são replicados pelo robô real.

É possível visualizar, na Figura 5, a consolidação de todas as etapas apresentadas neste capítulo para a criação do gêmeo digital do RoboARM, cujo fluxo de desenvolvimento do protótipo é exemplificado através de um diagrama, a fim de facilitar a replicação desse experimento em trabalhos futuros.

Figura 5 – Diagrama de desenvolvimento do protótipo de DT



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Os dados trabalhados neste estudo não se caracterizam como dados pessoais ou que manipulem informações sensíveis ou plausíveis de aplicação da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD); trata-se de dados públicos provenientes de experimentos realizados pelos próprios autores.

Resultados e discussão

Os testes iniciais com o robô foram realizados via comunicação serial; o envio era feito diretamente para o Arduino e o movimento era executado. Esses *setups* de calibração evoluíram e os ajustes finos foram aplicados no controle operacional do robô, assim como o refinamento do *script*, para que a comunicação fosse feita através da API, do inglês *Application Programming Interface*, e que os dados fossem armazenados no banco de dados MongoDB, que seria administrado pelo *middleware* FIWARE Descomplicado.

Para o envio das requisições ao robô foi utilizado o Postman, uma plataforma para criação e utilização de APIs, que centraliza e facilita o gerenciamento das requisições. A Figura 13 mostra parte do JSON responsável por criar a *collection* no Postman, disponível no repositório do GitHub com o *link*: [https://github.com/mathk9/TCC-DT-Robot/TCC Collection.postman_collection.json](https://github.com/mathk9/TCC-DT-Robot/TCC%20Collection.postman_collection.json) at master · mathk9/TCC-DT-Robot · GitHub.

Uma *collection* é uma série de requisições pré-definidas que padronizam o envio das solicitações para o robô. Através dos comandos definidos nela, é criada a entidade do robô que será

trabalhada e armazenada no banco, definindo o padrão que será utilizado para armazenar os dados no banco. Ela foi criada com base na *collection* disponível no repositório do FIWARE Descomplicado, através do *link*:

https://github.com/fabiocabrini/fiware/blob/main/FIWARE%20Descomplicado.postman_collection.json, sendo adaptada para as necessidades do projeto.

Tendo concluído a etapa de testes para a manipulação do robô através da API, deu-se sequência aos testes da animação do modelo virtual. O objetivo desta fase era separar as camadas do desenho 3D e agrupá-las no código conforme o robô real se movimentava, permitindo que as peças fossem ordenadas de acordo com o tipo de movimento realizado por cada peça. Este código foi escrito em linguagem C#, na versão suportada pelo Unity e está disponível na pasta “Scripts” através do *link*: https://github.com/mathk9/TCC-DT-Robot/tree/master/Robot_3D/Assets/roboarm/Scripts. A Figura 6 mostra o robô virtual disponível no Unity.

Figura 6 – Robô virtual no Unity



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Com os dois robôs funcionando, os testes finais foram iniciados para estabelecer a comunicação de ponta a ponta, permitindo o envio de dados do robô para a replicação de seu movimento pelo seu gêmeo digital, cuja manipulação das requisições através do Postman foi feita utilizando os métodos da TCC Collection. No método POST, chamado “Provisionar um dispositivo”, é criado o dispositivo “DeviceRoboArm001”, que armazena a entidade “RoboArm” e seus atributos para cada motor. Ele é executado inicialmente para criar esse dispositivo no MongoDB e definir a forma com que os dados serão armazenados.

Os métodos GET dessa *collection* permitem a consulta das entidades e atributos armazenados no banco de dados e facilitam o gerenciamento e visualização das informações. Para a movimentação do robô, é utilizado o método POST da categoria *Subscribe*, criado para cada um dos 4 servomotores. Através do *design pattern Publish-Subscribe*, conhecido como Pub-Sub, ele estabelece uma conexão onde há um ouvinte, aguardando as atualizações daquele que envia as requisições.

Dessa forma, a cada envio do POST com o método *Subscribe* do motor correspondente, ocorre a atualização no tópico MQTT, e aquele que está de como ouvinte no fluxo de comunicação atualiza seus parâmetros. Se as publicações são enviadas do robô físico, o modelo virtual se enquadra como ouvinte, e a cada atualização do tópico ele reproduz o movimento em tempo de execução. Se o cenário for inverso, a publicação é disparada pelo robô virtual e o ouvinte passa a ser o robô físico, concluindo o cenário de fluxo bidirecional.

Isso permite provar o conceito proposto por este estudo, demonstrando que, ao enviar um comando para o braço robótico executar, o seu movimento também é realizado por seu gêmeo digital através da validação dos dados de posição determinado pelo ângulo dos servomotores, fazendo com que o modelo virtual reproduza o cenário real, conforme evidenciado no vídeo em alta resolução disponível através do *link*: <https://youtu.be/azPzDzYlbdS>.

Esses dados históricos contendo o ângulo de posição dos motores são armazenados no MongoDB através da integração dos componentes FIWARE STH-Comet e Orion Context Broker, que permitem o registro dos referidos dados em série temporal, ou seja, eles registram o “*timestamp*” do atributo e seu valor em ordem cronológica, permitindo que aquele movimento seja recriado em análises futuras, já que se tem a sequência das posições que foram realizadas pelos motores. Conforme apresentado na Figura 7, em que é possível visualizar os registros dos itens 440 ao 432 através da ferramenta MongoDB Compass, um *dashboard* permite visualizar os *logs* armazenados no banco de dados, o que indica que seria possível simular o movimento exato realizado pelo robô seguindo essa sequência de registros.

Figura 7 – Registro de dados históricos de movimentação dos robôs

#	sth/_urn:ngsi-Id:RoboArm:001_RoboArm	_id	Objectid	recvTime	Date	attrName	String	attrType	String	attrValue	Int32
432	Objectid:'655b0e954e3aa90077..	2023-11-20T22:32:45.646+00:00	"motor4"	"Integer"	57						
433	Objectid:'655b0e954e3aa90077..	2023-11-20T22:32:49.787+00:00	"motor3"	"Integer"	122						
434	Objectid:'655b0e944e3aa90077..	2023-11-20T22:32:52.511+00:00	"motor3"	"Integer"	82						
435	Objectid:'655b0e954e3aa90077..	2023-11-20T22:32:56.916+00:00	"motor3"	"Integer"	42						
436	Objectid:'655b0e954e3aa90077..	2023-11-20T22:32:59.917+00:00	"motor1"	"Integer"	62						
437	Objectid:'655b0e9f4e3aa90077..	2023-11-20T22:33:03.766+00:00	"motor1"	"Integer"	91						
438	Objectid:'655b0e954e3aa90077..	2023-11-20T22:33:06.886+00:00	"motor1"	"Integer"	64						
439	Objectid:'655b0e954e3aa90077..	2023-11-20T22:33:10.661+00:00	"motor3"	"Integer"	88						
440	Objectid:'655b0e954e3aa90077..	2023-11-20T22:33:13.394+00:00	"motor3"	"Integer"	105						

Fonte:

Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Para demonstração da aplicação didática desta PoC foi desenvolvida uma experiência interativa em 3D, no Spline, que assim como o Blender, é uma ferramenta gratuita e *on-line* que possibilita criar modelos tridimensionais. Essa demonstração permite a navegação em um laboratório onde os alunos estão estudando um braço robótico e seu gêmeo digital. Nela é possível visualizar o robô se movendo no centro, e o seu DT no computador, replicando os movimentos, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Demonstração em 3D interativa da aplicação didática



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Além disso, é possível andar pelo ambiente através das teclas do computador ou do celular, e realizar a leitura dos textos de apoio que explicam a tecnologia. Esta experiência está disponível no [link: https://mathk9.github.io/Relatorio-TCC-Spline/labDTWebSite](https://mathk9.github.io/Relatorio-TCC-Spline/labDTWebSite).

Considerações finais

Este estudo delineou as fases de desenvolvimento de um protótipo de *digital twin* de um braço robótico, por meio de uma PoC que visou demonstrar o fluxo de comunicação bidirecional entre o robô físico e sua representação virtual, sendo este o objetivo central da pesquisa. A análise detalhada dos resultados apresentados na seção 4 (Resultados e discussão) ratifica o alcance do objetivo principal proposto.

Adicionalmente, foi possível atingir objetivos específicos, tais como a formulação de uma arquitetura simplificada, fundamentada na estrutura FIWARE para aplicações em indústrias inteligentes, que viabiliza a comunicação bidirecional entre o gêmeo digital e o robô físico. Além disso, foi demonstrada a aplicabilidade didática da solução, evidenciada pela experiência interativa em 3D, que apresenta a facilidade agregada à introdução do tema no âmbito acadêmico e implementação eficiente do modelo proposto.

O principal desafio enfrentado durante a pesquisa concentrou-se na integração entre o robô físico e seu modelo em 3D. Enquanto as etapas funcionavam separadamente, a integração exigiu uma atenção mais detalhada para garantir que o envio das requisições e a replicação dos movimentos fossem fiéis ao conceito proposto. Algumas limitações foram identificadas durante a condução do estudo, e os autores optaram por abordá-las em pesquisas futuras. Entre elas, destaca-se a complexidade na manipulação da comunicação MQTT com o protocolo TLS, que, por caracterizar-se como um protótipo de aplicação didática, não exigiu uma abordagem de segurança mais robusta. Como diretrizes para futuras pesquisas, está prevista a inclusão de elementos de previsibilidade nas métricas associadas aos movimentos do robô, bem como o aprimoramento da autonomia do sistema. Além disso, planeja-se a implementação de um ambiente que permita a realização de simulações comportamentais no contexto em que o robô está inserido, integrando-o a novos sensores capazes de agregar informações de contexto para enriquecer o conjunto de dados avaliados.

Durante a exposição dos resultados na banca, algumas sugestões de implementação futuras foram apresentadas e dentre elas houve destaque para a aplicação de um *dashboard* de visualização, em tempo de execução, do posicionamento, velocidade e força para os 4 eixos do RoboARM, assim

como a possibilidade de inclusão do comissionamento dos movimentos em um CLP (Controlador Lógico Programável), o que possibilitaria a utilização em um robô industrial, como o CIM.

Esses trabalhos futuros visam não apenas aprimorar a precisão e eficácia do modelo proposto, mas também ampliar suas capacidades ao introduzir elementos preditivos e simulações contextualizadas, a fim de oferecer uma representação mais fiel e útil do ambiente em que o robô opera além de trazer um viés de interdisciplinaridade ao permitir sua integração com o curso de Engenharia de Controle e Automação.

Uma importante contribuição deste projeto foi a publicação do artigo de título “Desenvolvimento de um protótipo de Digital Twin através do processamento de informações de contexto para identificar potenciais melhorias numa planta industrial”, submetido e aceito como trabalho em andamento, sem modificações, no V SIMAC (Simpósio Acadêmico da Faculdade Engenheiro Salvador Arena), apresentado no dia 11 de novembro de 2023 e indicado a premiação.

Referências

- ARDUINO. Arduino Ethernet Shield. **Arduino Docs**, 2023. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/retired/shields/arduino-ethernet-shield-without-poe-module>. Acesso em: 25 nov. 2023.
- ARDUINO. Arduino Mega 2560 Rev3. **Arduino Documentation**, 2023. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>. Acesso em: 21 out. 2023.
- BAJIC, Bojana et al. Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Managerial Perspective. **IEEE Systems Journal**, v. 15, n. 1, p. 546-559, 2020.
- BAUER, Martin et al. Urban Digital Twins—a fiware-based model. **Automatisierungstechnik**, v. 69, n. 12, p. 1106-1115, 2021.
- BEEK, Anton V.; KARKARIA, Vispi N.; CHEN, Wei. Digital twins for the designs of systems: a perspective. **Springer Nature**, v. 66, n. 3, p. 49, 2023.
- BLENDER. Introduction. **Docs Blender**, 2023. Disponível em: https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting_started/about/introduction.html. Acesso em: 13 nov. 2023.
- BRASIL, Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Nações Unidas Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 set. 2023.
- CABRINI, Fábio Henrique et al. Enabling the Industrial Internet of Things to Cloud Continuum in a Real City Environment. **Sensors**, v. 21, n. 22, p. 7707, 2021.
- CABRINI, Fábio Henrique. fiware. **GitHub**, 2023. Disponível em: <https://github.com/fabiocabrini/fiware>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- CARLOS, Juan. SpaceX: Enabling Space Exploration through Data and Analytics. **Harvard Digital Innovation and transformation**, 2021. Disponível em: <https://d3.harvard.edu/platform-digit/submission/spacex-enabling-space-exploration-through-data-and-analytics/#>. Acesso em: 29 nov. 2023.

CONDE, Javier et al. Modeling Digital Twin Data and Architecture: A Building Guide with FIWARE as Enabling Technology. **IEEE Internet Computing**, v. 26, n. 3, p. 7-14, 2021.

ENTERTAINMENT, Over T. E. GooBall. **Macintosh Repository**, 2023. Disponível em: <https://www.macintoshrepository.org/26983-gooball>. Acesso em: 15 nov. 2023.

GIL, David et al. Internet of Things: A Review of Surveys Based on Context Aware Intelligent Services. **Sensors**, v. 16, n. 7, p. 1069, 2016.

GONZALEZ-GIL, Pedro; MARTINEZ, Juan A.; SKARMETA, Antonio F. Lightweight Data-Security Ontology for IoT. **Sensors**, v. 20, n. 3, p. 801, 2020.

INC., EMQ T. EMQX Overview. **EMQX**, 2023. Disponível em: <https://www.emqx.io/docs/en/latest/>. Acesso em: 23 out. 2023.

NVIDIA. NVIDIA'S Earth -2: Digital Twins for Weather and Climate. **NVIDIA On-Demand**, 2022. Disponível em: <https://www.nvidia.com/en-us/on-demand/session/gtcfall22-a41326/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ROBOCORE. Braço Robótico RoboARM. **RoboCore**, 2018. Disponível em: <https://www.robocore.net/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

ROBOCORE. Shields. **Robocore**, 2023. Disponível em: <https://www.robocore.net/shields-arduino/arduino-shield-sensor-shield-v5>. Acesso em: 21 nov. 2023.

SCHROEDER, Greyce N. et al. Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 30, p. 12-17, 2016.

SIEMENS. PLM Software. **Siemens**, 2023. Disponível em: <https://www.geoplms.com/knowledge-base-resources/GEOPLM-Siemens-PLM-NX-SpaceX-cs-Z10.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SINGH, Maulshree et al. Digital Twin: Origin to Future. **Applied System Innovation**, v. 4, n. 2, p. 36, 2021.

SOUZA, Matheus de Novais. TCC-DT-Robot. **GitHub**, 2023. Disponível em: <https://github.com/mathk9/TCC-DT-Robot>. Acesso em: 20 ago. 2023.

TAO, Fei et al. Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. **Engineering**, v. 5, n. 4, p. 653-661, 2019.

TECHNOLOGIES, Unity. Unity User Manual 2022.3 (LTS). **Unity Documentation**, 2023. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>. Acesso em: 12 out. 2023.

YASSEIN, Muneer Bani et al. Internet of Things: Survey and open issues of MQTT protocol. In: 2017 international conference on engineering & MIS (ICEMIS). **IEEE Xplore**, 2017. p. 1-6

ZHANG, Rui et al. Digital twin and its applications: A survey. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 123, n. 11-12, p. 4123-4136, 2022.

Sistemas de comunicação de banda limitada baseada em caos: transmitindo sinais caóticos de fato

Bandlimited chaos-based communication systems: conveying chaotic signal indeed

Engenharia de Computação

Rodrigo Tadeu Fontes (rfontes@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Márcio Eisencraft (marcioft@usp.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP)

.FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024

• ISSN 2525-8729

Submissão: 21 out. 2023 Aceitação: 19 abr..2024

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 63 - 77

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

Neste trabalho, utilizam-se os expoentes de Lyapunov para analisar como as propriedades dinâmicas do mapa de Hénon modificam-se em função dos coeficientes de um filtro de resposta finita inserido na realimentação do sistema. Além disso, considera-se a influência da mensagem inserida na realimentação. Mostra-se também que o sinal gerado pelo sistema pode ser caótico ou não dependendo do filtro e da mensagem utilizados. Os resultados obtidos são relevantes no contexto dos sistemas de comunicação de banda limitada baseados em caos, recentemente propostos na literatura técnica.

Palavras-chave: Comunicação digital baseada em caos. Canal de banda limitada. Filtro digital. Sincronismo caótico. Expoentes de Lyapunov.

Abstract

In this paper, we use Lyapunov exponents to analyze how the dynamical properties of the Hénon map change as a function of the coefficients of a finite impulse response filter inserted in the feedback loop. Also, we consider the influence of a message inserted in the loop. We show that the generated signal can be chaotic or not, depending on the filter and the message used. The obtained results are relevant in the context of bandlimited chaos-based communication systems, that have recently been proposed in the literature.

Keywords: Chaos-based digital communication. Bandlimited channel. Digital filter. Chaotic synchronization. Lyapunov exponents.

Introdução

Um sinal caótico possui três características principais: é limitado em amplitude, é aperiódico e apresenta dependência sensível em relação às condições iniciais (DSCI) (Alligood; Sauer; Yorke, 1997). Essas características estimularam sua utilização em aplicações nas áreas de Telecomunicações e Processamento de Sinais a partir do trabalho original de Pecora e Carroll (Pecora; Carroll, 1990). Eles demonstraram que dois sistemas idênticos, geradores de sinais caóticos, poderiam ser sincronizados independentemente da DSCI. Desde então, algumas possíveis aplicações foram propostas como modulações digitais (Lau; Tse, 2003), marca d'água (Tsekeridou et al., 2001), compressive-sensing (Rontani et al., 2016), comunicações em largura de banda extrema (Dmitriev et al., 2006) entre outras.

Nas últimas décadas, o desempenho dos sistemas de comunicação baseados em caos (SCBC) foram estudados em cenários reais envolvendo distorções no canal, ruídos, limitações em banda e atrasos (Zhang et al., 2020; Liu et al., 2019). Um problema relevante na aplicação de sinais caóticos em sistemas de comunicação é a largura de banda ocupada pelo sinal. Como os canais de transmissão são naturalmente limitados em banda, torna-se necessário conhecer e controlar a largura de banda do sinal caótico transmitido.

Em Eisencraft, Fanganiello e Baccala (2009), foi proposto um SCBC utilizando filtros digitais para controlar a largura de banda do sinal. Para gerar o sinal caótico, foi utilizado o sistema de equações conhecido na literatura especializada como mapa de Hénon (Alligood; Sauer; Yorke, 1997). A inserção desse filtro digital no sistema gerador do sinal caótico resulta em dois problemas relevantes para os SCBC (Fontes, 2017): (i) perda do sincronismo entre os sistemas mestre (transmissor) e escravo (receptor) e (ii) perda da natureza caótica dos sinais transmitidos. As condições necessárias para sincronização com filtros digitais foram estudadas em Fontes e Eisencraft (2015); Fontes e Eisencraft (2016) mostrando-se analiticamente essas condições em função dos coeficientes dos filtros digitais para qualquer mapa. Em Eisencraft, Fanganiello e Monteiro (2011), a natureza caótica dos sinais transmitidos foi numericamente determinada utilizando-se os expoentes de Lyapunov. Entretanto, a mensagem codificada no SCBC foi desprezada.

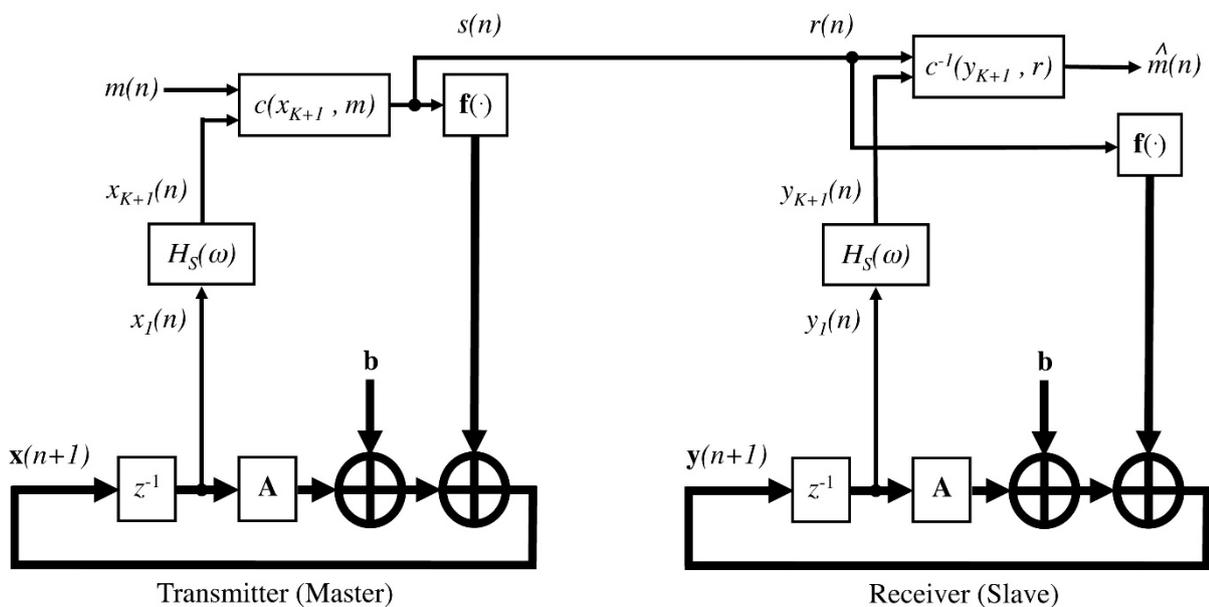
Neste trabalho, os resultados obtidos em Eisencraft, Fanganiello e Monteiro (2011) são ampliados, analisando-se como a mensagem e o filtro afetam a dinâmica caótica do sinal transmitido. Este artigo é organizado da seguinte forma: na Seção 2 revisita-se o SCBC digital de banda limitada proposto em

Fontes, Eisenkraft (2016) e Eisenkraft, Fanganiello e Baccala (2009). Seguindo, na Seção 3, observa-se como a propriedade caótica do sinal transmitido pelo SCBC pode ser medida. Na Seção 4, determinam-se numericamente os expoentes de Lyapunov dos sinais transmitidos e mostram-se, por meio de simulações, as condições nas quais o SCBC transmite sinais caóticos de fato. Finalizando, na Seção 5, descrevem-se algumas conclusões.

Revisão: SCBC digital de banda limitada

O SCBC mostrado na Figura 1 foi proposto em Fontes e Eisenkraft (2015).

Figura 1 – Sistema de comunicação de banda limitada baseado em sincronismo caótico



Fonte : Fontes e Eisenkraft (2015).

As equações do sistema transmissor e do sistema receptor são, respectivamente, descritas por:

$$x(n + 1) = Ax(n) + b + f(s(n)) \quad (1)$$

$$y(n + 1) = Ay(n) + b + f(r(n)), \quad (2)$$

em que o operador z^{-1} é o atraso unitário; as letras minúsculas em negrito representam vetores reais de tamanho $K \times 1$ e A é uma matriz real de dimensões $K \times K$.

A variável de estado $x_1(n)$ é filtrada pelo filtro passa-baixa de resposta ao impulso finito (FIR - *Finite Impulse Response*), $H_S(\omega)$, de comprimento N_S e frequência de corte ω_S . Dessa forma,

$$x_{K+1}(n) = \sum_{j=0}^{N_S-1} c_j x_1(n-j) \quad (3)$$

com c_j , $0 \leq j \leq N_S - 1$, temos os coeficientes do filtro.

A mensagem transmitida é codificada por

$$s(n) = c(x_{K+1}(n), m(n)) = (1 - \gamma)x_{K+1}(n) + \gamma m(n), \quad (4)$$

sendo $0 < \gamma \leq 1$ um parâmetro fixo que controla a proporção da soma dos valores da mensagem e da variável de estado na equação (4). A mensagem pode ser recuperada no receptor por meio de

$$\hat{m}(n) = c^{-1}(y_{K+1}(n), r(n)) = \frac{r(n)}{\gamma} - \frac{(1-\gamma)y_{K+1}(n)}{\gamma}. \quad (5)$$

Utilizando-se a transformação linear do mapa de Hénon (Alligood; Sauer; Yorke, 1997)

$$x(n+1) = \begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha - x_1^2(n) + \beta x_2(n) \\ x_1(n) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

como o sistema gerador de caos do transmissor da Figura 1, sendo $\{\alpha, \beta\} \subset \mathbb{R}$ parâmetros de controle do mapa, a equação (1) pode ser reescrita como:

$$\begin{cases} x_1(n+1) = \alpha - s^2(n) + \beta x_2(n) \\ x_2(n+1) = x_1(n) \\ x_3(n+1) = c_0 x_1(n+1) + c_1 x_1(n) + c_2 x_1(n-1) + \dots + c_{N_S-1} x_1(n - N_S + 2) \end{cases}, \quad (7)$$

com $s(n)$ descrita por (4) e $K = 2$.

Para $N_S > 3$, definindo-se as variáveis de estado auxiliares

$$\begin{cases} x_{K+2}(n+1) \triangleq x_2(n) \\ x_{K+3}(n+1) \triangleq x_{K+2}(n) \\ \vdots \\ x_{N_S}(n+1) \triangleq x_{N_S-1}(n) \end{cases}, \quad (8)$$

o sistema descrito em (7) pode ser reescrito como:

$$\begin{cases} x_1(n+1) = \alpha - [(1-\gamma)x_3(n) + \gamma m(n)]^2 + \beta x_2(n) \\ x_2(n+1) = x_1(n) \\ x_3(n+1) = c_0\{\alpha - [(1-\gamma)x_3(n) + \gamma m(n)]^2 + \beta x_2(n)\} + c_1 x_1(n) + c_2 x_2(n) + \\ \quad c_3 x_4(n) + c_4 x_5(n) + \dots + c_{N_S-1} x_{N_S}(n) \\ x_4(n+1) = x_2(n) \\ x_5(n+1) = x_4(n) \\ x_6(n+1) = x_5(n) \\ \vdots \\ x_{N_S}(n+1) = x_{N_S-1}(n) \end{cases}. \quad (9)$$

A mensagem $m(n)$ é escolhida de forma que

$$m(n) = \sum_{i=0}^{+\infty} b_i p(n - Mi) \quad (10)$$

sendo

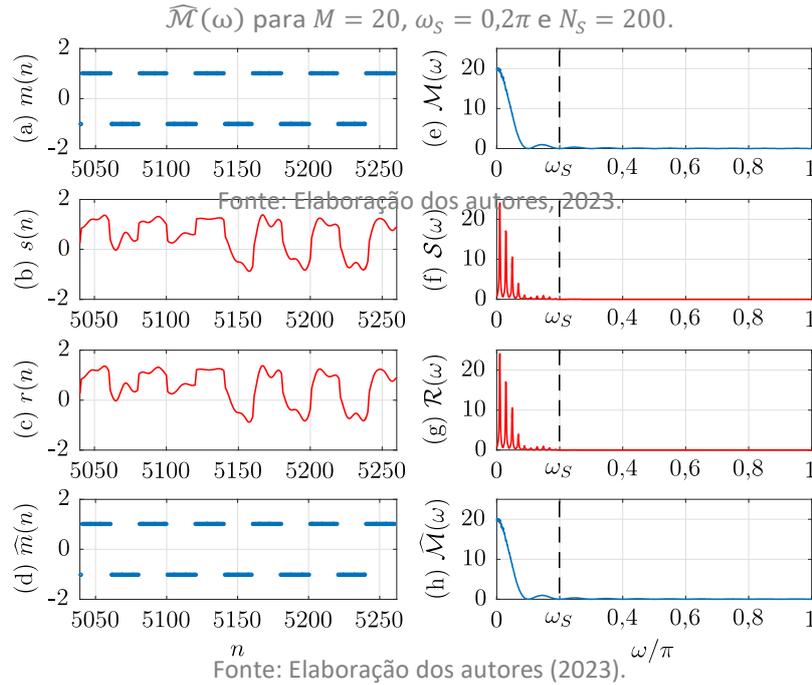
$$p(n) = \begin{cases} 1, & 0 < n < M - 1 \\ 0, & \text{demais valores de } n \end{cases}$$

um pulso retangular de M amostras e $b_i = \pm 1$ uma sequência de bits a ser transmitida. Como mostrado em Fontes e Eisenkraft (2016), considerando-se o segundo nulo da Densidade Espectral de Potência (DEP) de $m(n)$ como o critério para a determinação da largura de banda, ω_M , da mensagem $m(n)$, então

$$\omega_M = \frac{4\pi}{M}. \quad (11)$$

Assim, escolhendo-se $\omega_S > \omega_M$ o filtro $H_S(\omega)$ não afeta a mensagem. Para exemplificar esta afirmação, na Figura 2 mostram-se os sinais $m(n)$, $s(n)$, $r(n)$ e $\hat{m}(n)$ para $\omega_S = 0,2\pi$, $N_S = 200$ e $M = 20$ em canal ideal, ou seja, $s(n) = r(n)$. Os sinais caóticos são gerados utilizando-se $\alpha = 0,9$ e $\beta = 0,3$. Os gráficos mostram que $m(n)$ é claramente recuperada sem erros, ou seja, $\hat{m}(n) = m(n)$.

Figura 2 – Sinais: (a) $m(n)$, (b) $s(n)$, (c) $r(n)$, (d) $\hat{m}(n)$ e respectivas DEP: (e) $\mathcal{M}(\omega)$, (f) $\mathcal{S}(\omega)$, (g) $\mathcal{R}(\omega)$ e (h)



Na próxima seção, discute-se como medir numericamente a natureza caótica de (9). Essa medida permite determinar para quais condições o sinal transmitido $s(n)$ é caótico, para diversas escolhas de $H_S(\omega)$ e considerando-se $m(n)$ não desprezível.

Expoentes de Lyapunov e sinais caóticos

Os expoentes de Lyapunov podem ser utilizados para se medir a DSCI. Em geral, para uma função $x(n+1) = f(x(n))$, com derivadas contínuas em R^K , cada sinal $\{x(0), x(1), x(2), \dots\}$ tem K números de Lyapunov, os quais medem a taxa de separação ao longo de K em direções ortogonais.

O k -ésimo número de Lyapunov é definido por Alligood, Sauer e Yorke (1997)

$$L_k = \lim_{n \rightarrow \infty} r_k^{(n) \frac{1}{n}}, \quad (12)$$

se o limite existir, em que $r_k^{(n)}$ é o k -ésimo maior eixo ortogonal do elipsóide $J(x(n))U$, sendo $J(x(n))$ a matriz Jacobiana do mapa validado em $x(n)$ e U a hipersfera unitária e R^K centralizada em $x(0)$ (ALLIGOOD; SAUER; YORKE, 1997). O k -ésimo expoente de Lyapunov para condições iniciais $x(0)$ é $h_k = \ln L_k$. Note-se que, por definição, $L_1 \geq L_2 \geq \dots \geq L_K$ e $h_1 \geq h_2 \geq \dots \geq h_K$.

A matriz Jacobiana associada a (9) é

$$J(x(n)) = \begin{bmatrix} 0 & \beta & -2(1-\gamma)^2 x_3(n) - 2(\gamma - \gamma^2)m(n) & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ c_1 & c_0\beta + c_2 & -2(1-\gamma)^2 c_0 x_3(n) - 2(\gamma - \gamma^2)c_0 m(n) & c_3 & \cdots & c_{N_S-2} & c_{N_S-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Assim, usando-se (13) no método do mapa tangente descrito em ALLIGOOD, SAUER e YORKE (1997), pode-se calcular o maior expoente de Lyapunov h_1 de (9). Neste trabalho, para simplificar: $h \triangleq h_1$. Em Eisencraft, Fanganiello e Monteiro (2011), uma análise preliminar sobre a natureza caótica do sinal transmitido pelo SCBC da Figura 1 é apresentada considerando $m(n) \equiv 0$. Mesmo neste caso, o transmissor pode gerar sinais caóticos, periódicos e até ilimitados em amplitude, dependendo dos coeficientes dos filtros.

No trabalho aqui apresentado, esses resultados são expandidos considerando $m(n)$ um parâmetro variável no tempo como descrito em (10).

Análise numérica dos expoentes de Lyapunov

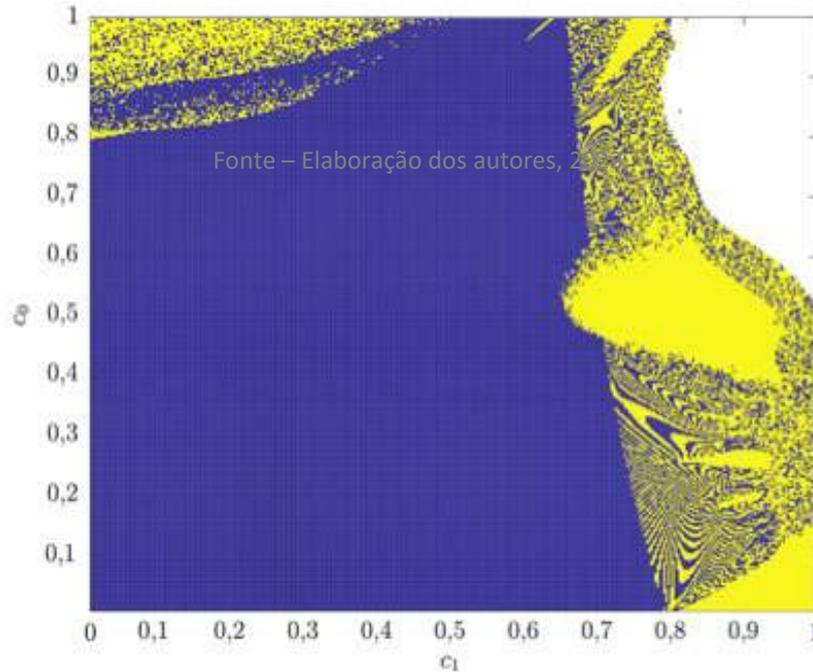
Em todas as simulações presentes neste trabalho, a não ser em casos mencionados, considera-se $\beta = 0,3$. O sistema dinâmico é iterado 10^4 vezes.

Considera-se também que os coeficientes dos filtros são projetados pelo método do janelamento com janelas de Hamming ou Blackman (Oppenheim; Schafer, 2009) e $m(n)$ é dada por (10).

Primeiramente, considera-se $N_S = 2$ de forma que o filtro tenha apenas dois coeficientes, c_0 e c_1 . Para esta primeira escolha, na Figura 3 mostra-se o maior expoente de Lyapunov, h , for $\alpha = 1,4$ e $\gamma = 0$. Nas regiões azuis (mais escuras) $h < 0$ e $s(n)$ não é caótico, enquanto na região amarela (mais claras) $h > 0$ e $s(n)$ é caótico. Nas regiões brancas $s(n)$ diverge.

Para $0,6 \leq c_1 \leq 1$ observam-se estruturas fractais (Alligood; Sauer; Yorke, 1997). Mesmo pequenas variações nos valores dos coeficientes podem mudar completamente a natureza caótica de $s(n)$.

Figura 3 – Expoentes de Lyapunov h para o plano $c_0 \times c_1$ com $\alpha = 1,4$ e $\{c_0, c_1\} \in [0,1]$. Nas regiões azuis (mais escuras) $h < 0$, nas regiões amarelas (mais claras) $h > 0$ e nas regiões brancas $s(n)$ diverge.

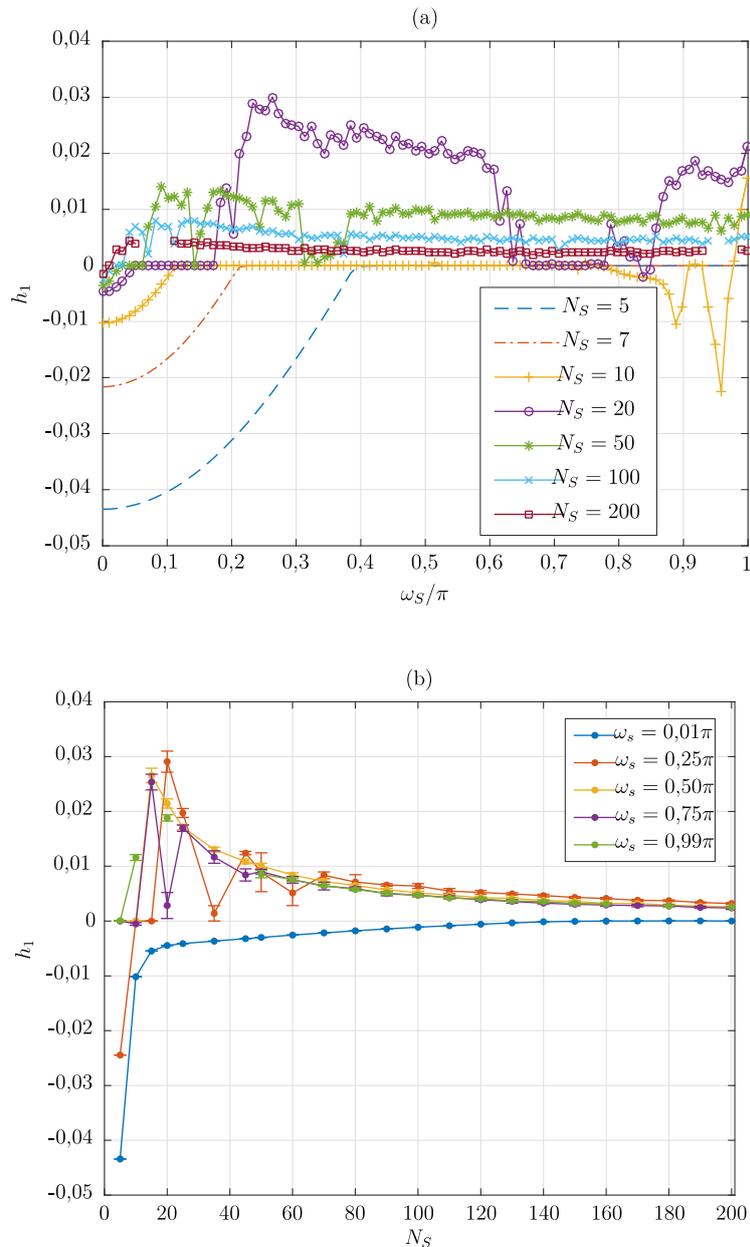


Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Seguindo com a análise, considera-se $N_S > 2$. Como o número dos coeficientes dos filtros é aumentado, projetam-se esses filtros usando as janelas de Hamming ou Blackman e realizam-se as análises em termos de N_S e da frequência de corte ω_S do filtro passa-baixo.

Na Figura 4 mostra-se h em função de (a) ω_S para N_S fixo e (b) N_S para ω_S fixo, e usando a janela de Hamming, $\gamma = 0$ considerando-se $\alpha = 0,9$. Essa escolha de α é baseada nos resultados prévios obtidos em Eisenkraft; Fanganiello e Monteiro (2011), nos quais, utilizando-se esse valor, é possível obter largas faixas de valores de ω_S e N_S em que $s(n)$ é caótico.

Figura 4 – Maior expoente de Lyapunov, h , para o sistema descrito em (9) usando-se filtros projetados com a janela de Hamming em função: (a) da frequência de corte ω_s e (b) do número de coeficientes do filtro N_S .



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

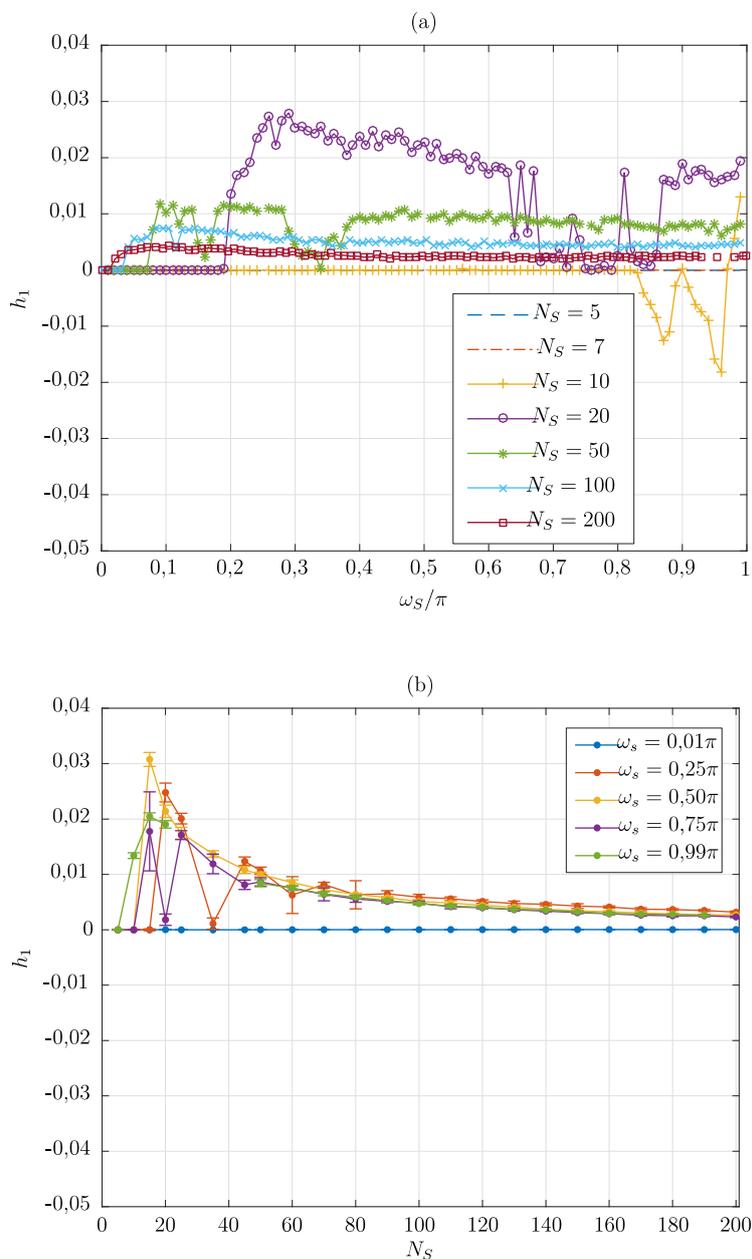
Na Figura 4 (a), observa-se que para $N_S > 10$, há um largo intervalo de valores de frequência de corte para os quais $s(n)$ é caótico ($h > 0$). Por outro lado, para $N_S \leq 10$ a condição caótica é praticamente nula com poucas exceções. Na Figura 4 (b), os valores mostrados nos gráficos são determinados tomando-se a média dos expoentes obtidos com 10 condições iniciais para o mesmo N_S e ω_s .

As barras horizontais em cada gráfico medem o desvio padrão em torno do valor médio de h . Para $N_S > 45$, exceto quando $\omega_s = 0,01\pi$, $s(n)$ é caótico.

Em geral, os resultados da Figura 4 mostram que o SCBC transmite sinais caóticos quando N_S é alto e ω_S não muito pequeno. Dado que os filtros podem mudar a natureza caótica de $s(n)$, é verificada a influência da janela usada no projeto do filtro FIR.

Nas Figuras 5 (a) e 5 (b), apresenta-se h em função dos mesmos parâmetros usados na Figura 4, para filtros projetados com a janela de Blackman (Oppenheim; Schaffer, 2009). Como pode ser observado a partir dos resultados, a escolha da janela dos filtros não interfere na natureza caótica de $s(n)$.

Figura 5 – Maior expoente de Lyapunov, h , para o sistema descrito na Equação (9) que usa filtros projetados com a janela de Blackman em função: (a) da frequência de corte ω_S e (b) do número de coeficientes do filtro N_S .

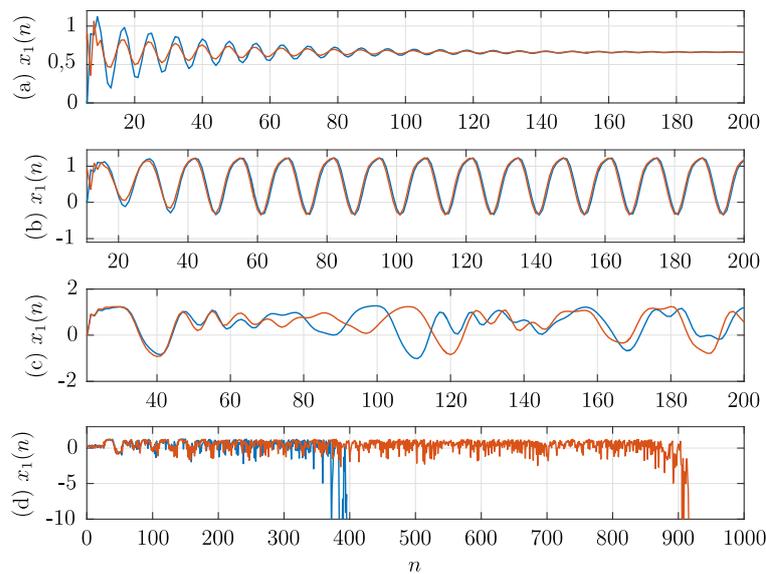


Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A Figura 6 ilustra a variedade de sinais $s(n)$ baseada nos expoentes de Lyapunov obtidos nas figuras anteriores. Na Figura 6 (a) mostra-se $s(n)$ for $N_S = 5$ e $\omega_S = 0,25\pi$ resultando em $h = -0,043$, ou seja, o sinal não é caótico. Mesmo com condições iniciais distantes, $s(n)$ converge para um ponto fixo.

Na Figura 6 (b), $N_S = 10$, $\omega_S = 0,25\pi$, para os quais $h \approx 0$, e, novamente, não é um sinal caótico. Nesse caso, $s(n)$ é periódico para condições iniciais distantes. Na Figura 6 (c) $N_S = 20$ e $\omega_S = 0,25$ resultando $h = 0,029$, e, dessa forma, um sinal caótico. Claramente $s(n)$ apresenta DSCI para condições iniciais próximas. Por fim, na Figura 6 (d), para $N_S = 25$, $\omega_S = 0,99\pi$ e condições iniciais distantes $s(n)$ diverge.

Figura 6 – Órbitas de $s(n)$ obtidas do sistema descrito em (9), considerando-se $\gamma = 0$, com filtros de Hamming para (a) $N_S = 5$, $\omega_S = 0,25\pi$ resultando $h = -0,043$ para $\mathbf{x}^{(1)}(0) = [0,001 \ 0,001 \ 0,001]^T$, $\mathbf{x}^{(2)}(0) = [0,900 \ 0,900 \ 0,900]^T$, (b) $N_S = 10$, $\omega_S = 0,25\pi$, resultando $h \approx 0$, para $\mathbf{x}^{(1)}(0) = [0,001 \ 0,001 \ 0,001]^T$, $\mathbf{x}^{(2)}(0) = [0,900 \ 0,900 \ 0,900]^T$ (c) $N_S = 20$, $\omega_S = 0,25\pi$, resultando $h = 0,029$, para $\mathbf{x}^{(1)}(0) = [0,001 \ 0,001 \ 0,001]^T$, $\mathbf{x}^{(2)}(0) = [0,000 \ 0,001 \ 0,001]^T$ (d) $N_S = 25$, $\omega_S = 0,99\pi$, para $\mathbf{x}^{(1)}(0) = [0,001 \ 0,001 \ 0,001]^T$, $\mathbf{x}^{(2)}(0) = [0,900 \ 0,900 \ 0,900]^T$ resultando em divergência.



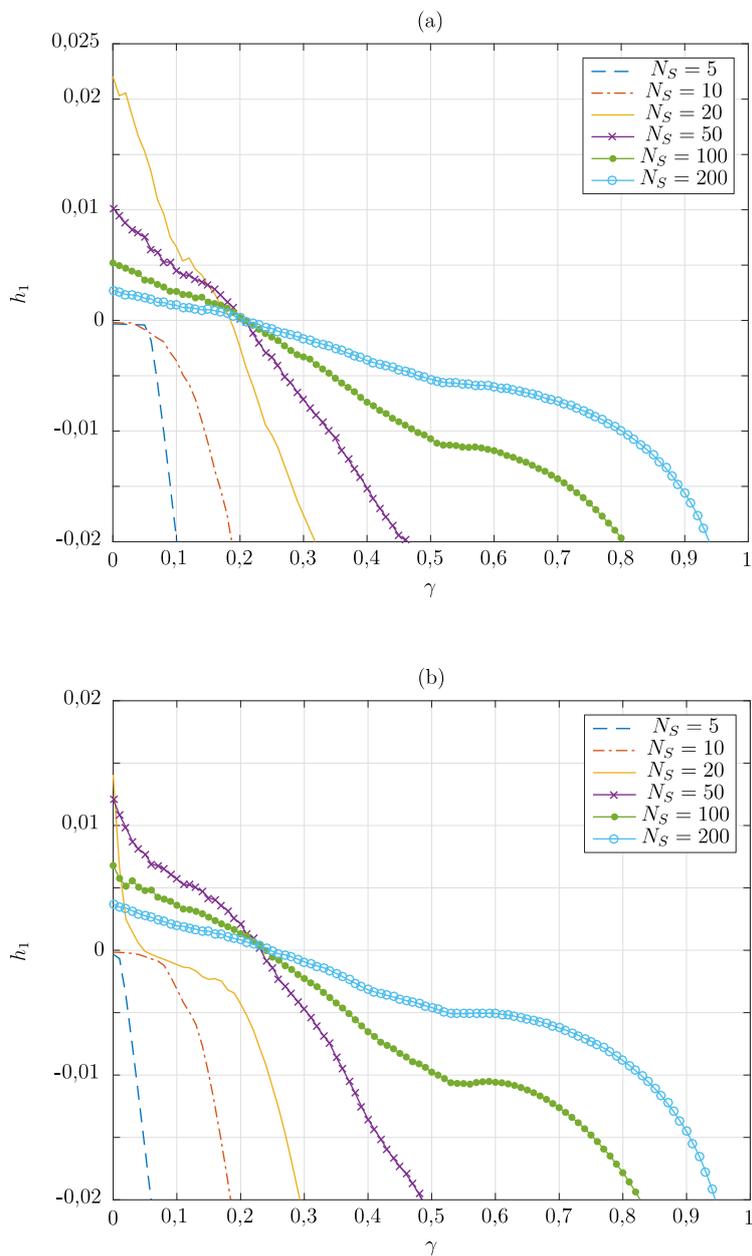
Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Completa-se a análise dos expoentes de Lyapunov determinando-se h em função do parâmetro γ de codificação da mensagem (4).

Na Figura 7, mostra-se h em função de γ para diversos valores de N_S , com $\alpha = 0,9$ e (a) $\omega_S = 0,5\pi$ e $M = 8$ e (b) $\omega_S = 0,2\pi$ e $M = 20$. Os filtros são projetados com a janela de Blackman.

O SCBC gera sinais caóticos quando $\gamma < 0,2$ e $N_S \geq 20$. Este resultado é importante pois γ controla a quantidade de $m(n)$ em $s(n)$. Isso significa que a função de codificação pode também modificar a natureza caótica de $s(n)$ e assegura que $m(n)$ não deve ser desprezada.

Figura 7 – Maior expoente de Lyapunov, h , para o sistema descrito em (9), em função de γ , para vários valores de N_S , usando a janela de Blackman e considerando $\alpha = 0,9$ para: (a) $\omega_S = 0,5\pi$ e $M = 8$ e (a) $\omega_S = 0,2\pi$ e $M = 20$.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para ilustrar a importância deste resultado, em Fontes e Eisencraft (2016) este parâmetro foi escolhido como $\gamma = 0,3$. Embora essa escolha produza um sinal $s(n)$ de banda limitada, os resultados apresentados aqui, na Figura 7, mostram que a natureza caótica de $s(n)$ foi perdida.

De modo geral, as simulações apresentadas neste trabalho mostram que um sistema de comunicação digital de banda limitada, baseado em sincronismo caótico pode, de fato, transmitir sinais caóticos entre seu transmissor e receptor, usando o mapa de Hénon, para $\alpha = 0,9$, $\gamma < 0,2$, $N_S > 45$ e $\omega_S > 0,1\pi$.

Considerações finais

Neste trabalho, apresenta-se uma análise estendida dos sinais transmitidos por um sistema de comunicação digital de banda limitada baseado em sincronismos que são de fato caóticos. Os filtros utilizados para controlar a largura de banda dos sinais podem alterar as propriedades caóticas desses sinais. Além disso, a mensagem é um parâmetro relevante e, combinada com os filtros, pode também afetar a natureza caótica dos sinais transmitidos. Determina-se analiticamente a matriz Jacobiana resultante da inserção dos filtros e da codificação da mensagem, para o mapa de Hénon. Os expoentes de Lyapunov são calculados para se determinar quais escolhas dos parâmetros do SCBC: α , γ , N_S e ω_S de fato permitem que o sistema transmita sinais caóticos. Os resultados obtidos mostram que o SCBC estudado neste trabalho transmite de fato sinais caóticos para $\alpha = 0,9$, $\gamma < 0,2$, $N_S > 45$ e $\omega_S > 0,1\pi$.

Referências

- ALLIGOOD, K.; SAUER, T.; YORKE, J. *Chaos: An Introduction to Dynamical Systems*. [S.l.]: Springer, 1997. (Textbooks in Mathematical Sciences). ISBN 9780387946771.
- DMITRIEV, A. et al. Ultrawideband wireless communications based on dynamic chaos. **Journal of Communications Technology and Electronics**, Nauka/Interperiodica, v. 51,n. 10, p. 1126–1140, 2006. ISSN 1064-2269.
- EISENCRAFT, M.; FANGANIELLO, R. D.; BACCALA, L. A. Synchronization of Discrete-Time Chaotic Systems in Bandlimited Channels. **Mathematical Problems In Engineering**, v. 2009, p. 1–13, 2009. ISSN 1024-123X.

EISENCRAFT, M.; FANGANIELLO, R. D.; MONTEIRO, L. H. A. Chaotic synchronization in discrete-time systems connected by bandlimited channels. **Communications Letters, IEEE**, v. 15, n. 6, p. 671–673, June 2011. ISSN 1089-7798.

FONTES, RODRIGO TADEU. **Sistema de comunicação digital em banda limitada baseado em sincronismo caótico**. 2017. Tese (Doutorado em Sistemas Eletrônicos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.3.2017.tde-12072017-133122.

FONTES, R. T.; EISENCRAFT, M. Conditions for synchronizing a master-slave bandlimited chaos-based communication system. In: **Proceedings of the VI International Workshop on Telecommunications (IWT2015)**. Santa Rita do Sapucaí: Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel (INATEL), 2015. v. 1, p. 1–4.

FONTES, R. T.; EISENCRAFT, M. A digital bandlimited chaos-based communication system. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, v. 37, p. 374–385, 2016. ISSN 1007-5704.

LAU, F. C. M.; TSE, C. K. **Chaos-based digital communication systems**. Berlin: Springer, 2003.

LIU, Z. et al. A secure and robust frequency and time diversity aided ofdm-dcsk modulation system not requiring channel state information. **IEEE Transactions on Communications**, p. 1–1, 2019. ISSN 1558-0857.

OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. **Discrete-Time Signal Processing**. 3rd. ed. [S.l.]: Prentice Hall Press, 2009. ISBN 0131988425, 9780131988422.

PECORA, L. M.; CARROLL, T. L. Synchronization in chaotic systems. **Phys. Rev. Lett.**, American Physical Society, v. 64, n. 8, p. 821–824, fev. 1990.

RONTANI, D. et al. Compressive sensing with optical chaos. **Scientific Reports**, v. 6, p. 35206 EP –, 12 2016.

TSEKERIDOU, S. et al. Statistical analysis of a watermarking system based on Bernoulli chaotic sequences. **Signal Processing**, ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, 81, n. 6, p. 1273–1293, JUN 2001. ISSN 0165-1684.

ZHANG, L. et al. Efficient and secure non-coherent ofdm-based overlapped chaotic chip position shift keying system: Design and performance analysis. **IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers**, v. 67, n. 1, p. 309–321, Jan 2020. ISSN 1558-0806.

Sistema de controle e monitorização IOT de uma estufa

Control and monitoring system for a greenhouse IOT

Engenharia de Controle e Automação

Victor Inácio de Oliveira (pro14724@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia de Automação e Controle pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Alex Paubel Junger (alexpaubel@hotmail.com)

Doutor em Energia pela Universidade Federal do ABC (UFABC) e professor do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Cuzeiro do Sul (Unicsul)

Bruno Luís Soares de Lima (bruno.lima@mackenzie.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Ricardo Janes (ricardo.janes@mackenzie.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade São Paulo (USP) e professor do Centro Universitário FEI e da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Rogério Issamu Yamamoto (pro15804@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Alex Lopes de Oliveira (alex.oliveira@mackenzie.br)

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Isabela Melo da Silva (051210023@faculdade.cefsa.edu.br)

Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

.FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024
- ISSN 2525-8729

Submissão: 21 out. 2022 Aceitação: 14 dez..2023

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 78 - 102

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de controle e monitorização de dados de uma estufa. Para isso, será utilizado um microcontrolador ESP32 e diversos sensores, como temperatura, vazão e luminosidade de modo que seja possível automatizar parte do processo trazendo conforto e segurança aos usuários. Este sistema poderá ser implantado tanto em âmbito residencial como em larga escala, ou seja, ele poderá ser aproveitado para aplicações no agronegócio. Já que o Brasil é um enorme produtor agrícola, essa característica se torna muito relevante. Através dos sensores e controladores foi possível monitorar e controlar o sistema climático da estufa. E através de processo de requisição TCP-IP foi possível verificar quais eram os requisitantes à visualização do sistema; além disso, todos os dados foram armazenados em banco SQL; adicionalmente, os dados em tempo real foram mostrados em ambiente Cayenne, via protocolo MQTT. Isso tudo possibilitou a visualização e monitoramento dos dados da estufa.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Estufa, Agronegócio.

Abstract

The present paper aims to develop a system for controlling and monitoring data from a greenhouse. For this purpose, an ESP32 microcontroller and various sensors, such as temperature, flow, and light sensors, will be used to automate part of the process, bringing comfort and safety to users. This system can be implemented both at a residential level and on a large scale, which means it can be utilized for agribusiness applications. Since Brazil is a large agricultural producer, this becomes very relevant. Through the sensors and controllers, it was possible to monitor and control the greenhouse climate system. Additionally, through the TCP-IP request process, it was possible to verify the users requesting system visualization, and all data was stored in an SQL database. Furthermore, real-time data was displayed in the Cayenne environment via the MQTT protocol. All of this enabled the visualization and monitoring of the greenhouse data.

Keywords: Internet of Things, Greenhouse, Agribusiness.

Introdução

No ano de 2022, a população mundial passou de 7 bilhões de pessoas para 8 bilhões, tendo decorrido 12 anos para que este fato ocorresse. A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que a população levará cerca de 15 anos para alcançar os 9 bilhões (ONU, 2022). Devido a isso, a produção de alimentos se torna cada vez mais importante.

A agricultura é uma das principais atividades praticadas pelo homem, sendo responsável por disponibilizar alimentos para a população; contudo, nações com menor desenvolvimento enfrentam problemas de insegurança alimentar, onde há falta de alimentos para a população, sendo esta situação agravada por efeitos climáticos extremos, conflitos e choques econômicos, como é o caso de países como: Afeganistão, Haiti, Nigéria, Burquina Fasso, Mali, Somália, Sudão do Sul, Sudão e Iêmen, que constam na lista de países com insegurança alimentar da ONU. Em Moçambique, apesar de não estar na lista de países com insegurança alimentar, até março de 2023, foram registrados pela ONU 3,1 milhões de pessoas que sofriam de insegurança alimentar aguda em seu território (ONU, 2023). Devido a isso, a criação de processos seguros e baratos de produção de alimentos ganha cada vez mais importância.

Durante o processo de cultivo de um alimento pode ocorrer uma alteração da qualidade e da quantidade do que é colhido nas lavouras, o que ocasiona uma alteração do valor das safras vendidas, afetando diretamente o preço cobrado aos consumidores. Quando a safra de um produto é ruim, ou quando ocorre algo que limite a quantidade desse produto nos mercados, o consumidor necessita gastar mais de acordo com a variação sofrida. Um exemplo dessas variações é o preço de produtos lácteos que em junho de 2023 tiveram uma queda de 3,2% em seus preços em relação a abril do mesmo ano e o preço do açúcar, que teve um aumento mensal consecutivo de 5,5% em seus preços em relação a abril, chegando a um valor 31% maior do que o mesmo período no ano de 2022 (ONU, 2023); sendo assim, o uso da tecnologia aplicada à produção de alimentos é muito importante.

A tecnologia denominada *Internet of Things* (IoT) pode ser utilizada para o monitoramento remoto, que pode ser utilizado para administrar o desempenho das máquinas, em tempo real e otimizar o consumo de combustível dos equipamentos, obtendo-se assim um aumento na disponibilidade dos equipamentos e um ganho na eficiência (Almeida, 2019).

Entre os oito eixos definidos no Plano Nacional de IoT, há um deles que define o uso eficiente de recursos naturais e insumos. Nesse eixo, são apresentadas aplicações que, caso sejam implementadas, proporcionarão um alto impacto à eficiência no plantio e na colheita. Algumas dessas aplicações são as que geram alertas sobre o potencial de chuvas e pragas, como o emprego de monitoramento de clima por sensores ou miniestações; práticas que apoiem a tomada de decisão na colheita, no plantio, no momento em que se deve retornar ao campo ou na quantidade de irrigação necessária. Outro tipo de solução importante é a utilização do monitoramento do solo para assim se aumentar sua fertilidade do solo e a produção (Almeida, 2019).

Para se incrementar uma rede de monitoramento remoto para realizar análises dos dados colhidos dos sensores dispostos numa estufa, exige-se um certo nível de infraestrutura, conhecimento e investimentos financeiros que pode inviabilizar o projeto. Portanto, realizar a implementação de um sistema simples e de baixo custo seria ideal para se atingir esse objetivo. Portanto, espera-se desenvolver um sistema de monitoramento via internet de dados extraídos de sensores e atuadores, presentes na estufa, que serão enviados para um servidor. Propõe-se integrar o microcontrolador ESP32 com três sensores DHT11, um sensor mq9, um sensor LDR, dois sensores sku:sen0193, com dois coolers e uma bomba d'água, obtendo-se os dados de umidade e temperatura do ambiente, umidade do solo, nível de gases nocivos no ambiente e quantidade de luz absorvida pela planta e os enviando para o servidor on-line. A partir desse envio ao servidor, será possível monitorar em tempo real a produção identificando-se possíveis falhas e melhorias.

Revisão de Literatura

Torna-se necessário o entendimento de todas as partes do processo para se realizar o estudo de caso. Por isso, neste tópico serão analisados os conceitos de IoT, IoT no agronegócio, microcontroladores, tecnologias da comunicação, atuadores e sensores utilizados no projeto.

IOT

A primeira utilização do termo *Internet of Things* (IoT) foi realizada por Kevin Ashton, pesquisador britânico, no ano de 1999. Este termo ganhou fama após ser realizada uma apresentação para a *Procter & Gamble* (P & G), na qual foi integrado o uso de tecnologias de endereçamento de dados e

sinais com a internet. A proposta apresentada para a P&G era que, ao utilizar a tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFI), seria alcançada uma melhora do fluxo dos produtos e informações sem ter ocorrido a interferência direta do homem (Costa et al., 2018).

A IoT passou por várias evoluções tecnológicas que possibilitaram a interligação e conexão dos dispositivos físicos, de forma inteligente, à internet. Estes dispositivos são, normalmente, aparelhos eletrônicos constituídos por circuitos integrados que possibilitam o envio de dados por meio de uma rede (Leite, 2019). Na Figura 1, pode ser vista a evolução sofrida pela IoT.



Fonte: Leite (2019).

As estimativas apontam que a economia mundial será impactada em 11 trilhões de dólares pelos sistemas IoT até o ano de 2025, contando com o fato de que os objetos conectados à internet, como arte, roupa, comida, móveis e papéis aumentará, chegando a aproximadamente 50,1 bilhões de objetos conectados no ano mencionado (Leite, 2019).

IOT no agronegócio

Para que ocorra uma expansão no agronegócio brasileiro oriunda da implantação da tecnologia IoT, é necessário que ocorra um aprimoramento da infraestrutura e dos sistemas de suporte à produção, além da melhora na disponibilidade da rede de internet sem fio.

A utilização de sistemas de IoT no agronegócio traz diversas vantagens, como a redução na utilização de água, facilidade na aplicação de agrotóxicos e produtos químicos. tendo como resultado um maior controle das pragas e doenças (Nascimento, 2022).

Microcontrolador

O microcontrolador possui as partes básicas de um microcomputador, como microprocessador, memórias não-voláteis e voláteis e portas de entrada e saída. É um circuito semicondutor em forma de circuito integrado que, normalmente, é limitado na quantidade de memória, sendo utilizado em aplicações que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados, como automação residencial, automação predial, automação industrial e automação embarcada (Ruano, 2019).

O ambiente Arduíno UNO possui um baixo custo e fácil configuração, sendo muito utilizado em prototipagens. Timmis (2011) informa que o Arduíno é um microcontrolador individualizado que possui um ambiente de desenvolvimento integrado - *Integrated Development Environment (IDE)* - onde é possível escrever o seu próprio software, realizando a programação em uma linguagem baseada em C++, sem a necessidade da utilização de um *firmware*. Por isso, Oliveira (2017, p.97) afirma que “A maior vantagem desse processo é garantir maior poder de processamento, visto que o processador ficará totalmente dedicado ao programa.”

Para controlar outros microcontroladores pode-se utilizar o Arduíno, como é o caso do módulo ESP32, que possibilita a comunicação via Bluetooth e WiFi do sistema com um servidor, por exemplo, podendo-se enviar dados para a monitorização. Por isso, o módulo ESP32 pode ser utilizado para aplicações de irrigação inteligente, devido à facilidade de configuração, manutenção e baixo custo.

O módulo ESP32 possui um microprocessador Xtensa Dual-Core 32-bit LX6, uma memória Flash programável de 4 MB, uma memória RAM de 520 KBytes, uma memória ROM de 448 KBytes, um *clock* que alcança uma frequência de até 240 MHz, 25 pinos digitais, que podem ser vistos na Figura 5, um módulo Wireless 802.11, o qual utiliza uma frequência de 2,4 GHz, que é responsável pelo acesso da placa à internet, um módulo Bluetooth Low Energy padrão 4.2; a tensão de alimentação pode ser de 4,5 a 9 V (Robocore, 2022).

Para a camada de enlace há o padrão IEEE 802.15.4 que a regulariza, sendo que o ZigBee se baseia nesse padrão. Conta com um consumo energético e custo reduzido por causa da sua baixa vazão. Normalmente o ZigBee opera na faixa de frequência ISM (2,4 GHz), sendo capaz de operar em outras duas faixas de frequências, 868 MHz e 915 MHz, tendo como taxa máxima 250 Kbps, mesmo que na prática as taxas alcançadas sejam inferiores (Jesus et al., 2021).

A Ericsson propôs a utilização do protocolo Bluetooth Low Energy para substituir a comunicação serial RS-232. O protocolo Bluetooth se divide em duas categorias: o Bluetooth clássico e o Bluetooth Low Energy (BLE), sendo que o clássico possui mais duas subdivisões, Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR), que é a subdivisão que engloba as versões 2.0 ou anteriores, enquanto o Bluetooth High Speed (HS) engloba a versão 3.0 e o BLE a versão 4.0 ou superior, posto que a versão BLE foi construída para dispositivos com baixo consumo de energia, enquanto as demais versões são focadas em aumentar a taxa de comunicação. Atualmente o Bluetooth se encontra na versão 5.3 (Bluetooth, 2022), lançada em 2021, que traz uma melhor capacidade de resposta, possui uma confiabilidade melhor e proporciona mais economia de energia para os dispositivos (Jesus et al., 2021).

É possível realizar a aplicação dos padrões de telefonia celular 3G/4G às aplicações IoT. Gerando um consumo energético muito alto, em relação a outras tecnologias, o padrão 3G/4G pode ser utilizado por projetos IoT quando estes abrangem grandes distâncias. As normas brasileiras especificam que as frequências que devem ser utilizadas para o protocolo 3G são 1900 MHz e 2100 MHz, estando na faixa UMTS, à medida que o 4G (LTE) utiliza a frequência de 2500 MHz. A diferença entre a taxa de comunicação entre os dois padrões é visivelmente grande, dado que o padrão 3G alcança 1 Mbps e o padrão 4G alcança 10 Mbps (Seunghwan, 2020).

O protocolo Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) foi planejado para que dispositivos operados por bateria e possuindo a capacidade de comunicação sem fio, pudessem fazer parte de redes de longa distância, podendo ser uma rede global, nacional ou regional, o protocolo LoRaWAN é responsável por criar as redes de longo alcance. O padrão LoRaWAN fornece suporte ao protocolo IPv6; este suporte é feito a partir do protocolo denominado 6LoWPAN, funciona sobre a topologia estrela, possui uma comunicação segura e bidirecional, tratamento e mobilidade de serviços de localização, incorporando assim os requisitos básicos presentes na IoT. A taxa de comunicação do sistema pode variar entre 300 bps e 50Kbps. O protocolo LoRaWAN atua na faixa ISM e utiliza

frequências em MHz, sendo as mais usadas: 109 MHz, 433 Mhz, 866 MHz e 915 MHz. Por utilizar tais frequências, as ondas transmitidas penetram e traspassam grandes estruturas e superfícies, com distâncias de 2 km a 5 km no meio urbano, ou até 45 km no meio rural. O Maximum Transmit Unit (MTU) utilizado pelo padrão LoRaWAN é de 256 bytes (Jesus et al., 2021).

A tecnologia Ultra Narrow Band (UNB) é utilizada pelo protocolo SigFox. Este protocolo foi projetado para ser usada na transmissão de pequenas taxas de transferência de dados. Dispõe de um suporte a diversos dispositivos, a SigFox atua como uma operadora para IoT. Para que os usuários consigam implementar sistemas de IoT com mais facilidade, a SigFox possui como sua maior incumbência abstrair as dificuldades de conexão e prover uma API. O SigFox pode abranger um raio de cobertura de 3 km a 10 km nas zonas urbanas e de 30 km a 50 km em zonas rurais, dispõe de uma taxa de comunicação que pode variar entre 10 bps a 1000 bps e com o MTU de 96 bytes. A faixa de frequência em que o SigFox atua é de 900 MHz (Santos, 2016).

Protocolo MQTT

O MQTT é um protocolo de mensagens que oferece suporte a mensagens entre dispositivos para a nuvem e da nuvem para os dispositivos, sendo baseado em conjunto de regras ou padrões. O protocolo SSL é utilizado para proteger os dados sigilosos na comunicação MQTT.

O protocolo MQTT, para que não ocorra a conversa direta entre o destinatário e o remetente, utiliza um padrão de publicação/assinatura, em que um terceiro componente, denominado agente de mensagens, realiza a comunicação entre publicadores (remetente) e assinantes (destinatário). O agente é responsável por filtrar e distribuir todas as mensagens recebidas dos publicadores para os assinantes corretamente (AWS, 2019).

Sensores

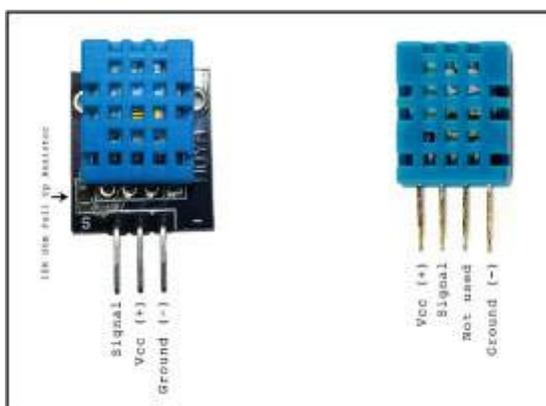
DHT11

O sensor DHT11 é utilizado para se realizar medições de temperatura e umidade, tendo como resposta de saída um sinal digital. Possui um microcontrolador de 8 bits e um elemento resistivo do tipo NTC; este resistor é responsável por realizar a medição da temperatura. Este aparelho mede, a

cada 2 segundos, a temperatura na faixa de 0 a 50°C, e a umidade é medida em porcentagem, sendo que a sua faixa de medição varia de 20 a 80%.

É um sensor de baixo custo em que a tensão de alimentação pode ser de 3 a 5 V, possui uma corrente durante as medições dos dados de 2,5 mA, com precisão de 5% para as medições de umidade e pode variar 2°C para as medições de temperatura. Dispõe de 15,5 mm de altura, 12 mm de largura e 5,5 mm de profundidade e quatro pinos sendo que o primeiro da esquerda para a direita é onde deve se conectar a alimentação (Vcc); o segundo é por onde será transmitida a informação (Signal); o terceiro pino não será utilizado e o último é ligado ao terra (Ground) (Robocore, 2022); a disposição dos pinos pode ser visualizada na Figura .

Figura 3 – Descrição da pinagem de um sensor DHT11.

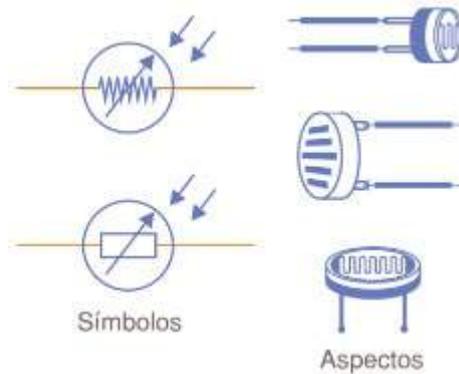


Fonte: <https://capsistema.com.br/index.php/2020/03/08/guia-de-como-instalar-o-sensor-de-umidade-dht11-em-um-arduino/>

LDR

O sensor LDR é o fotodetector mais simples existente, também chamado de célula ou dispositivo de fotocondutividade. A fotocondutividade é um fenômeno que ocorre quando a intensidade de luz sobre um material é alterada, ocasionando a variação da condutividade do material (Ruano, 2019). A Figura 3 mostra as simbologias para representar o LDR e alguns dos aspectos físicos do LDR.

Figura 3 – Simbologia e aspecto de um LDR.



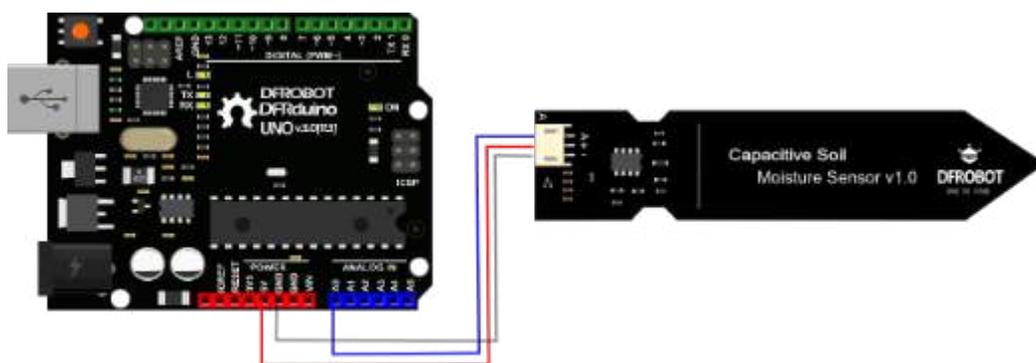
Fonte: Santos (2012).

O LDR é um resistor dependente da luz, agindo em função da quantidade de luz incidente na sua superfície. O Arsenieto de Gálio (GaAs) compõe a superfície sensível do LDR; este material altera a sua resistência de acordo com a incidência de luz; isto ocorre porque as partículas de luz liberam elétrons do material, causando a alteração da sua resistividade. Como estas são grandezas inversamente proporcionais, quanto menor a resistência existente no LDR, maior é a liberação de elétrons (Santos, 2012).

Umidade do solo capacitivo

O SKU:SEN0193 é um sensor de umidade do solo capacitivo de baixo custo facilmente adquirido no mercado, com dimensões de 9,8 x 2,3 cm. Ele pode ser facilmente integrado a microcontroladores de código aberto, como Arduino, ESP32 e outros. O *datasheet* do fabricante informa que o sensor opera na faixa de tensão entre 3,3 e 5,0 V, com tensão de saída entre 0,0 e 3,0 V, corrente de operação de 5 mA e peso de 15 g (Pereira, 2022). A Figura 4 demonstra como é realizada a conexão do sensor SKU:SEN093 com uma placa Arduíno UNO.

Figura 4 – Conexão entre uma placa Arduíno e um sensor sku:sen093



Fonte: https://wiki.dfrobot.com/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0193.

Foi realizada a caracterização elétrica do sensor SKU:SEN0193 e observou-se que a capacitância do sensor no ar era da ordem de 6,5 pF, enquanto a frequência do sensor variava de 260 Hz em um solo úmido a 520 Hz em um solo com baixa umidade (Pereira, 2022).

MQ-9

O MQ-9 é um sensor que possui a capacidade de verificar o nível de determinados gases existentes no ambiente; seu encapsulamento possui 6 pinos, dos quais 4 são utilizados para se obter sinais, e os outros 2 para fornecer corrente de aquecimento. Ele funciona com tensões entre 5V e 12V CA ou CC e suas vantagens são: boa sensibilidade a CO/gás combustível; alta sensibilidade a metano, propano e CO; longa vida útil e baixo custo; e possui um circuito de acionamento simples. Uma vez alimentado, a saída do sensor normalmente está em nível HIGH, mas fica em nível LOW quando o gás é detectado (Falohun, 2016). Na Figura 5, pode-se ver o sensor MQ-9 e a descrição dos seus componentes, como a descrição de cada pino e o seu potenciômetro de sensibilidade.

Figura 5 – Sensor MQ-9 e a descrição de seus componentes



Fonte: <https://quartzcomponents.com/products/mq-9-gas-sensor-module-for-carbon-monoxide-methane-and-lpg>.

Atuadores

Cooler

Para este projeto foram utilizadas duas ventoinhas alimentadas por uma tensão 12 V DC, sendo uma de 8cm x 8cm x 2,5cm e a outra de 6cm x 6cm x 2,5cm. Na Figura 6, é possível visualizar uma ventoinha.

Figura 6 – Ventoinha



Fonte: https://www.jelcoolers.com.br/MLB-1067774695-ventilador-cooler-ventoinha-adda-120x120x38-24v-rol-3000rpm-_JM.

Bomba d'água

Neste projeto será utilizada uma minibomba d'água que funciona com tensão de 3 a 6 V, com peso de 26g e 33mm de altura, sendo esta uma bomba d'água que funciona submersa na água. Na Figura 7, pode-se ver uma minibomba d'água.

Figura 7 – Minibomba d'água



Fonte: <https://www.electronicabyp.com.ar/producto/mini-bomba-de-agua-sumergible-2l-m-3v-5v-dc-arduino/>

Cayenne

Na plataforma Cayenne é possível criar um painel personalizado com *widgets* de arrastar e soltar para visualizar, gerenciar e controlar os dispositivos conectados. Os *widgets* são utilizados para visualizar os dados, status e ações dos dispositivos. Cada dispositivo, sensor e atuador adicionado ao Cayenne possui um ou mais *widgets* associados a eles, dependendo dos recursos de hardware.

Os projetos realizados na plataforma Cayenne podem ser acessados a partir de uma página da web, ao acessar sua conta Cayenne ou através de um aplicativo para celular. É possível conectar os dispositivos ao Cayenne para se realizar o envio dos dados via MQTT, sendo possível também conectar dispositivos para efetuar a sua transmissão dos dados através da rede LoRaWan (Cayenne, 2023).

Figura 8 – Imagem do Cayenne



Fonte: Cayenne (2023).

O Cayenne suporta vários tipos de dados, incluindo os de proximidade, temperatura, luminosidade e pressão. Os tipos de dados e a unidade de medida podem ser configurados no painel ou definidos diretamente ao enviar os dados (Cayenne, 2023).

Metodologia

Para a realização do estudo de caso de controle e monitoramento remoto de uma estufa IoT, inicialmente foi realizado um datagrama esquemático informando a função de cada dispositivo presente. Na Figura 9, é possível visualizar o datagrama com o funcionamento da estufa.

Neste projeto, os sensores DHT11 serão responsáveis por coletar os dados de temperatura e umidade do ambiente dentro da estufa e comparar com os dados do ambiente fora da estufa. O sensor MQ-9 verifica constantemente o nível de gases nocivos no local para informar, caso ocorra um incêndio, e ativar um led na própria ESP, sinalizando que o sistema de água foi acionado para apagar o fogo. Os sensores de umidade de solo são responsáveis por verificar se a planta necessita de mais água, ou se ela está com mais água do que o necessário. O LDR capta a quantidade de

Figura 10 – Código presente na *query* para a confecção do banco de dados

```
# Criação da tabela dht11:
CREATE TABLE `estufa_iot`.`dht11` (
  `id_dht11` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  PRIMARY KEY (`id_dht11`));

ALTER TABLE `estufa_iot`.`dht11`
ADD COLUMN `umidadeInterno1` FLOAT NULL AFTER `id_dht11`,
ADD COLUMN `temperaturaInterno1` FLOAT NULL AFTER `umidadeInterno1`,
ADD COLUMN `umidadeInterno2` FLOAT NULL AFTER `temperaturaInterno1`,
ADD COLUMN `temperaturaInterno2` FLOAT NULL AFTER `umidadeInterno2`,
ADD COLUMN `umidadeExterno3` FLOAT NULL AFTER `temperaturaInterno2`,
ADD COLUMN `temperaturaExterno3` FLOAT NULL AFTER `umidadeExterno3`,
ADD COLUMN `coolers` VARCHAR(45) NULL AFTER `temperaturaExterno3`;

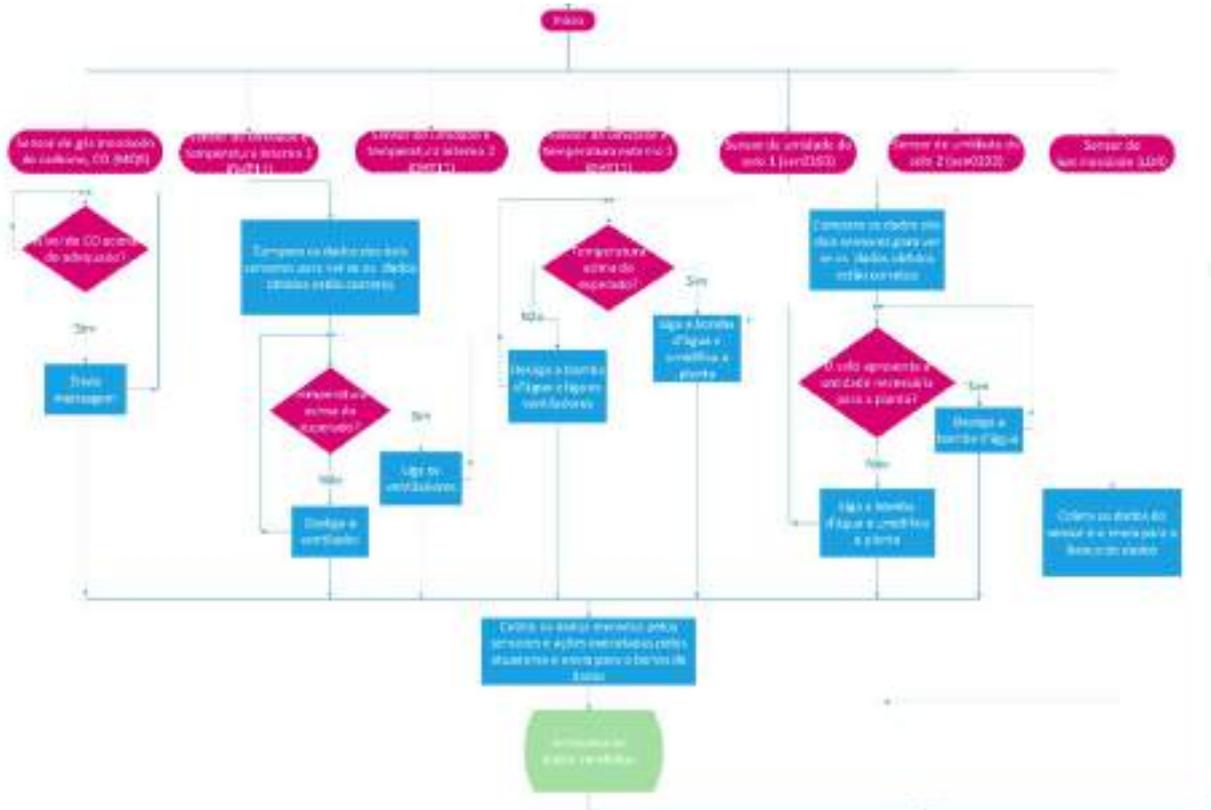
# Criação da tabela mq9:
CREATE TABLE `estufa_iot`.`mq9` (
  `id_mq9` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  PRIMARY KEY (`id_mq9`));
```

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para se obter uma maior segurança relacionada aos dados enviados pela ESP32, acrescentou-se ao código um trecho responsável por realizar a verificação da porta e do endereço IP para o qual os dados estão sendo enviados, permitindo assim que sejam visualizados caso haja uma invasão na rede e caso esteja ocorrendo um ataque *Man in The Middle* (MITM), em que um agente malicioso possa interferir na comunicação de dois dispositivos; portanto, um computador estará recebendo os dados de um dispositivo IoT, podendo assim, receber todo o tráfego que está ocorrendo entre esses dispositivos.

Para o melhor entendimento do projeto foi desenvolvido um fluxograma que demonstra o sistema de lógica de decisão utilizado na estufa. Na Figura 11 é mostrado o fluxograma com o funcionamento lógico da estufa.

Figura 11 – Controle da estufa IoT



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para facilitar a visualização das imagens do datagrama e do fluxograma, como não possuem uma boa definição neste documento, o pdf com os arquivos foi disponibilizado na nuvem pelo link https://drive.google.com/file/d/111MP6_vdF753evnawrPqTNNttrAfdW5a/view?usp=sharing. Após a confecção do fluxograma e do datagrama, foram realizados os testes individuais de cada sensor, sendo os sensores idênticos testados em conjunto.

Os sensores DHT11 foram programados para que fosse realizada a verificação do funcionamento de cada sensor e se, caso um deles, dois deles, ou todos os sensores não estivessem funcionando fosse mostrada uma mensagem de erro, que informa qual é o sensor com problema e possam ser exibidos os dados coletados pelos outros sensores. Os DHT11 também foram programados para, após serem coletados os dados, seja comparado o nível da temperatura interna da estufa com a temperatura máxima requerida e, caso o nível da temperatura esteja maior do que o desejado, que seja realizada a ligação das ventoinhas para arejarem a estufa. Para a calibração dos sensores foi utilizado um termo-higrômetro. Na Figura 12, vê-se o funcionamento dos sensores DHT11 com o termo-higrômetro ao lado.

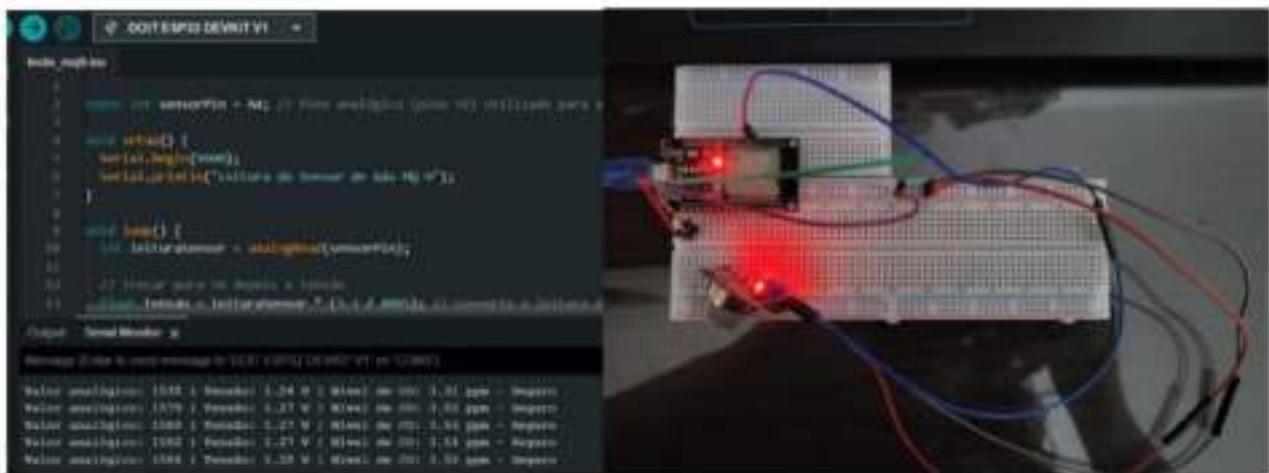
Figura 12 – Funcionamento dos sensores DHT11



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Foi realizada a medição do sensor MQ 9, sendo que o código mostra a tensão que está saindo do sensor, a sua conversão em partículas por milhão (ppm) e se o ambiente está seguro ou não com essa concentração de partículas nocivas. A Figura 13 mostra o funcionamento do teste do sensor MQ-9.

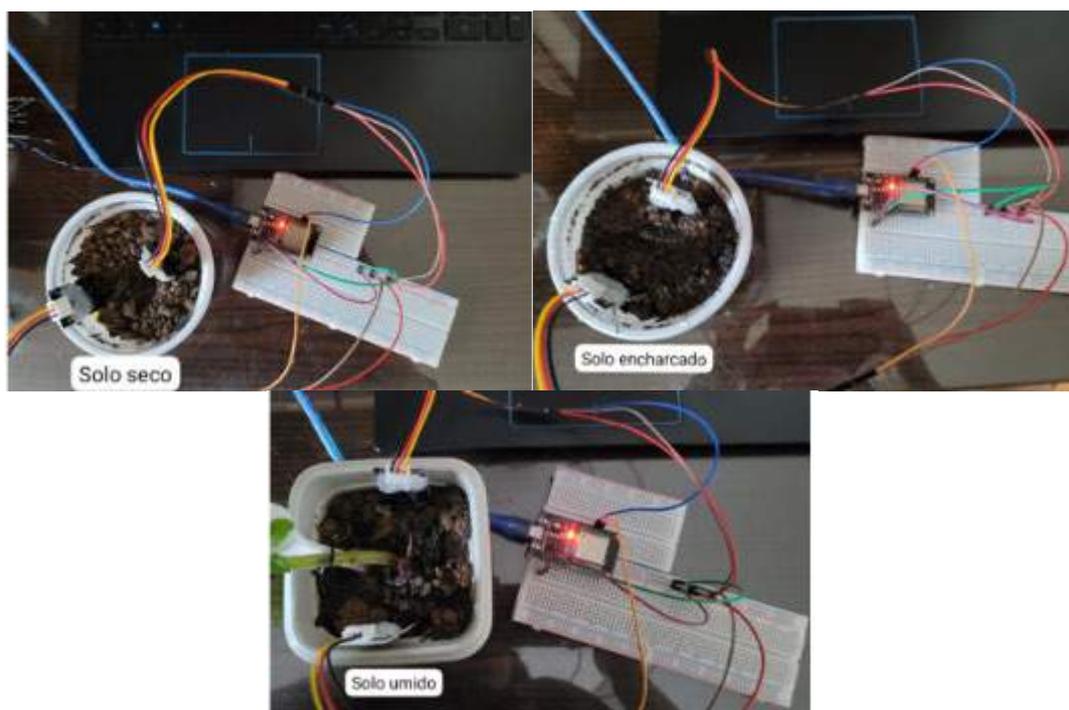
Figura 13 – Funcionamento do sensor MQ-9



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para a calibração do sensor de umidade de solo foi realizado teste para verificar a tensão fornecida pelos sensores com o solo seco, úmido e encharcado de água. Na Figura 14, são mostrados os testes realizados com o sensor de umidade do solo.

Figura 14 – Testes realizados com o sensor de umidade do solo



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para se aprofundar no sistema elaborado, a seguir apresenta-se uma breve descrição das principais bibliotecas utilizadas na confecção do código em C++ na plataforma Arduino.

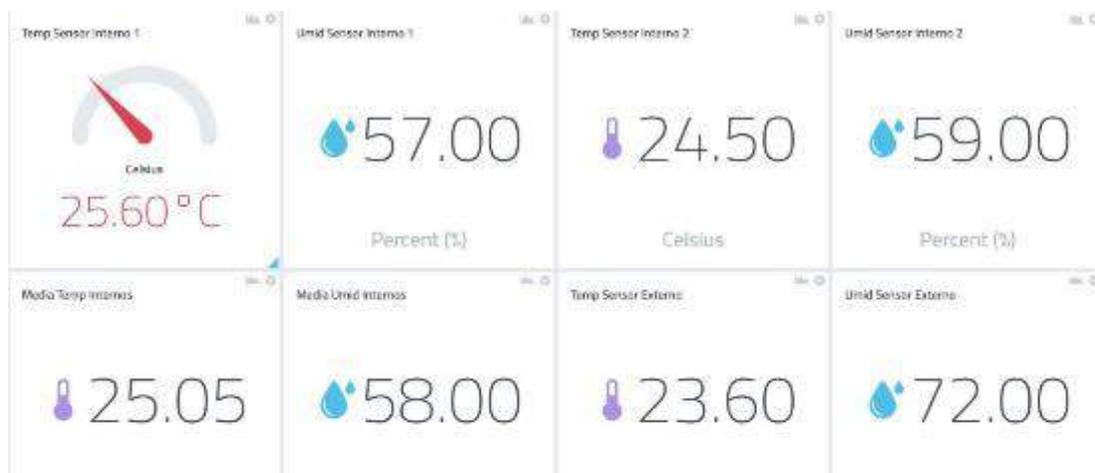
- AsyncTCP.h: é uma biblioteca que fornece uma implementação assíncrona do protocolo TCP para o ESP32. Isso permite que o ESP32 lide com várias conexões TCP de forma assíncrona e eficiente.
- ESPAsyncWebServer.h: é uma biblioteca que permite criar um servidor da Web assíncrono no ESP32. Ele fornece funcionalidades para lidar com solicitações HTTP e enviar respostas para os clientes.
- MySQL_Connection.h: é uma biblioteca que permite a conexão do ESP32 a um servidor MySQL para realizar operações de banco de dados relacionadas.
- MySQL_Cursor.h: é uma biblioteca que fornece um cursor para executar consultas e manipular resultados de consultas em um banco de dados MySQL usando o ESP32.
- DHT.h: esta biblioteca é usada para trabalhar com sensores DHT (umidade e temperatura) no ESP32. Ela fornece funções que permitem a leitura dos valores de umidade e temperatura do sensor DHT conectado ao ESP32.
- Wire.h: é uma biblioteca usada para comunicação I2C (Inter-Integrated Circuit). Ela permite que o ESP32 se comunique com outros dispositivos usando o protocolo I2C.

- CayenneMQTTESP32.h: é uma biblioteca utilizada para a integração do ESP32 com a plataforma de IoT Cayenne MQTT. Ela facilita o envio de dados do ESP32 para a plataforma Cayenne e permite o controle remoto do dispositivo.

Resultados e discussões

Os dados enviados ao servidor Cayenne puderam ser observados gráficamente em tempo real, vide Figura 15, e também foram exportados para um banco de dados MySQL local, Figura 16 e Figura 17.

Figura 15 – Gráficos apresentados no Cayenne



Fonte: Autor.

Figura 16 – Tabela de banco e tabelas criadas no SQL



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

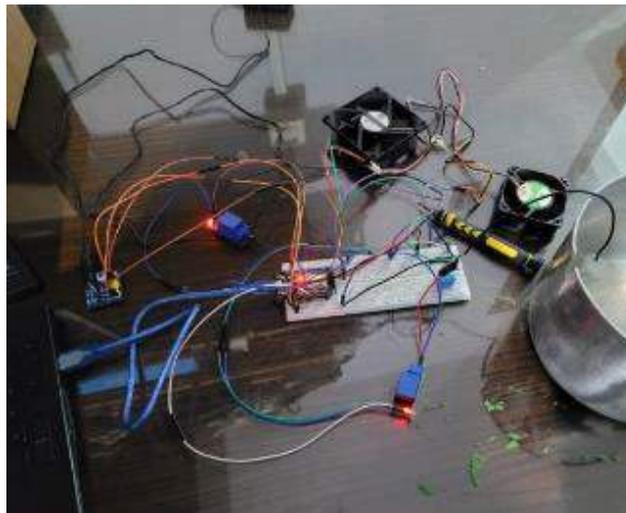
Figura 17 – Colunas existentes dentro da tabela dht11 e ldr



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

O circuito funcionou bem ao se conectar as ventoinhas com a bomba para serem ativadas de acordo com a umidade e a temperatura apresentadas, conforme pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Funcionamento das ventoinhas e da bomba em conjunto com os DHT11



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Após inserir no código os comandos para se verificar o IP e a porta do dispositivo que está recebendo os dados enviados pela ESP, foi possível visualizar o trecho da requisição HTTP que fornece essas informações, como pode ser verificado na Figura 19.

Figura 19 – IP e Porta do cliente que está recebendo os dados da ESP32

```
Nova requisição:  
Método: GET  
URL: /  
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/114.0.0.0 Safari/537.36  
Corpo:  
Endereço IP do cliente: 192.168.1.10  
Porta do cliente: 59520
```

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A parte estrutural da estufa foi desenhada no AutoCad Lite, utilizando a unidade de medida em milímetros. O desenho foi passado para uma cortadora a laser, que cortou peças de acrílico de 30 mm, que foram agregadas com cola de silicone, obtendo-se a estrutura mostrada na Figura 20, onde pode-se ver que na lateral de frente para a câmera encontra-se o buraco para a passagem da mangueira d'água; à esquerda, encontra-se o espaço para a ventoinha de 6 cm com um furo na parte de baixo para a conexão da ESP32. No lado seguinte estão localizados os furos para a conexão da ventoinha de 8 cm.

Figura 20 – Estrutura da estufa



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Após conectar todos os sensores à estrutura da estufa, ela ficou como apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Estufa IoT montada



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Considerações finais

É possível realizar um sistema visando o controle e monitorização dos dados de uma estufa tanto em âmbito residencial como em larga escala.

O sistema construído, além de permitir a visualização em tempo real, com até 20 indicadores obtidos com o aplicativo Cayenne gratuitamente, possibilita o controle manual da estufa, garantindo não só uma forma automatizada, como também um modo prático de se realizar o processo confortavelmente. Uma vez montado, pode-se realizar o procedimento a partir de qualquer lugar do mundo.

Como forma de ministrar os dados de maneira que, além de visualizados também fossem armazenados de forma segura, o banco de dados feito em SQL trouxe uma grande facilidade, visto que sua arquitetura permite trabalhar com grande volume de dados e de forma gratuita.

É possível afirmar que é um sistema de baixo custo, já que utiliza elementos de baixo custo e plataformas gratuitas.

Por fim, é imprescindível declarar que o sistema de monitorização do protocolo TCP-IP entre ESP e cliente oferece uma segurança maior, principalmente para a área do agronegócio, visto que vazamento de dados é algo preocupante entre quaisquer usuários, principalmente aqueles que trabalham com grande volume de dados.

Referências

- ALMEIDA, Rafael Chiaradia. **Internet das Coisas e as Agtechs no Brasil**. 2019. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14165>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- AWS. O que é MQTT? – **Explicação sobre o protocolo MQTT** – AWS. 2019. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/mqtt/>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- CAYENNE. **Developer** | **myDevices.com**. 2023. Disponível em: <https://developers.mydevices.com/cayenne/features/>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- COSTA, Cainã L.; OLIVEIRA, Letícia; MÓTA, LS Michele. **Internet das coisas (IOT): um estudo exploratório em agronegócios Internet of Things (IOT):** na exploratory study in agribusiness. VI Simpósio da Cienc. do Agronegócio, 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/cienagro/wp->

content/uploads/2018/10/Internet-das-coisas-IOT-um-estudo-explorat%C3%B3rio-em-agroneg%C3%B3cios.docx-Cain%C3%A3-Lima-Costa.pdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

FALOHUN, A. S. et al. Dangerous gas detection using an integrated circuit and MQ-9. **International Journal of Computer Applications**, v. 135, n. 7, p. 30-34, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Falohun-As/publication/295278328_Dangerous_Gas_Detection_using_an_Integrated_Circuit_and_MQ-9/links/56cae7e708aee3cee541204d/Dangerous-Gas-Detection-using-an-Integrated-Circuit-and-MQ-9.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

JESUS, Klebio de; SILVA, Ronaldo Ferreira da; VIEIRA, Cecília Cândida Frazão. APLICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS (IoT) NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2021. Disponível em: <http://aprender.posse.ueg.br:8081/jspui/handle/123456789/274>. Acesso em: 20 nov. 2022

LEITE, Leandro Rogério Corrêa. **Internet das Coisas (IoT): vulnerabilidades de segurança e desafios**. 2019. Disponível em: <http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/3978>. Acesso em: 10 out. 2022.

NASCIMENTO, Hugo Gomes do. **Avaliação e prospecção do uso da IoT no setor agrícola no município de Petrolina/PE**. TCC (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, PE, 23 f., 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/843>. Acesso em: 30 out. 2022.

OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. [S.L.]: Novatec, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=vBjfJOnE1foC&pg=PA12&lpg=PA12&dq=practical+arduino#v=onepage&q=practical%20arduino&f=false>. Acesso em: 16 maio 2023.

ONU. **Haiti está entre os 18 focos de fome e situação deverá piorar**. 31 mai. 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/05/1815122>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ONU. **População mundial atinge 8 bilhões de pessoas**. 15 nov. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342#:~:text=ONU%20ressalta%20que%20n%C3%BAmero%20de,a%209%20bilh%C3%B5es%20em%202037>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ONU. **Um mês após leve alta, preço dos alimentos volta a cair em maio**. 2 jun. 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/06/1815307>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PEREIRA, R. M.; SANDRI, D.; SILVA JÚNIOR, J. J. da. Evaluation of low-cost capacitive moisture sensors in three types of soils in the Cerrado, Brazil. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, [S. l.], v. 30, n. Contínua, p. 262–272, 2022. DOI: 10.13083/reveng.v30i1.14017. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/14017>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ROBOCORE. ESP32 - WiFi + Bluetooth - RoboCore. 2022. Disponível em: <https://www.robocore.net/wifi/esp32-wifi-bluetooth>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ROBOCORE. Sensor DHT11 de Temperatura e Umidade - RoboCore. 2022. Disponível em: <https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-temperatura-dht11>. Acesso em: 15 nov. 2022.

RUANO, T.; SERRÃO, L. DA S.; SANTANA, K.; NASCIMENTO, D. A. DO; TRUQUETE, M. K. PID Algorithm Applied on Led Lamps Luminosity Control. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 12, 7 dez. 2019. Disponível em: <http://journal-repository.theshillonga.com/index.php/ijaers/article/view/1384>. Acesso em: 16 mai. 2023.

SANTOS, B. P., Silva, L. A., Celes, C. S., Borges Neto, J. B., Peres, B. S., Vieira, M. A. M., ... & Loureiro, A. A. (2016). **Internet das coisas: da teoria à prática**. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 23 out. 2022.

SANTOS, Diego Zeuner Fagundes. **Controle de luminosidade de alta eficiência, adaptável ao ambiente, utilizando lâmpada de led**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/3100>. Acesso em: 16 maio 2023.

SEUNGHWAN, Won; CHOI, Sang Won. **Three Decades of 3GPP Target Cell Search through 3G, 4G, and 5G**. Acesso em IEEE, vol. 8, pp. 116914-116960, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9119377>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TIMMIS, Harold. **Practical Arduino Engineering**. [S.L]: Technology In Action, 2011. 307 p. Disponível em:
<https://books.google.com.br/books?id=vBjfJOnE1foC&pg=PA12&lpg=PA12&dq=practical+arduino#v=onepage&q=practical%20arduino&f=false>. Acesso em: 16 maio 2023.

VIEIRA, Rony Anderson Uliana. **Aplicação de processamento de imagens no controle de planta modelo: interoperabilidade com controles industriais utilizando comunicação Ethernet**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle>

Aprendizagem baseada em projetos: a percepção dos estudantes de curso de tecnologia

Project-based learning: the perception of technology course students

Gestão Educacional

Valter João de Souza (jvalter2002@yahoo.com.br)

Doutor em Administração pela Universidade Nove de Julho (Uninove) e professor da Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos (Fatec-SJC).

Roque Antonio de Moura (roque.moura@fatec.sp.gov)

Doutor em Engenharia Biomédica pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC) e professor da Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos (Fatec-SJC).

Messias Borges Silva (messias.silva@usp.br)

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (USP).

Érica Carvalho Siqueira (erica.siqueira@fatec.sp.gov.br)

Graduada em Gestão da Produção Industrial pela Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos (Fatec-SJC).

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024
- ISSN 2525-8729

Submissão: 01 set. 2023 Aceitação: 19 abr. 2024

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 103 - 118

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

Os ingressantes em cursos universitários têm mudado bastante de perfil e, atualmente, são formados por uma geração que tem acesso a uma grande variedade de ferramentas em volume bastante abrangente. A transformação desses ingressantes em cursos superiores em profissionais que atendam às necessidades do mercado de trabalho aponta para um problema ao mesmo tempo crítico e negligenciado pelas instituições formadoras de futuros profissionais. O objetivo deste artigo é analisar a percepção, sob a ótica dos estudantes, dos reflexos do ensino baseado em projetos realizados em parceria com empresas, na inserção ou condução de sua vida profissional. Para atingir esse objetivo optou-se pela realização de uma pesquisa exploratório-descritiva, por meio de um estudo de caso. A coleta de dados utilizou-se de entrevistas semiestruturadas, os quais foram examinados com a ajuda da análise de conteúdo. Como resultado, acreditava-se conseguir mapear os principais reflexos (ganhos ou perdas) na aplicação dessa metodologia de ensino aprendizagem, em um curso de tecnologia, sob a ótica de seus estudantes. Conclui-se, a partir desses resultados, que é importante que se faça um esforço no sentido de modernização e adequação dos métodos de ensino para a melhoria da qualidade dos egressos de cursos superiores.

Palavras-chave: Aprendizagem baseada em projetos; Metodologias ativas; Cursos de Tecnologia.

Abstract

College courses have changed their profile a lot and are currently formed by a generation that has access to a wide variety of tools in a very comprehensive volume. The transformation of higher education students into professionals who meet the needs of the job market points to a problem that is both critical and neglected by institutions that prepare future professionals. The objective of this paper is to analyze the perception, from the perspective of students, of the reflexes of teaching based on projects carried out in partnership with companies, in the insertion or conduct of their professional life. To achieve this objective, an exploratory-descriptive research was carried out, through a case study. Data collection using semi-structured interviews was made and analyzed with the help of content analysis. As a result, it was possible to be able to map the main reflexes (gains or losses) in the application of this teaching-learning methodology, in a technology course, from the perspective of its students. Based on these results, it is concluded that it is important to make an effort to modernize and adapt teaching methods to improve the quality of graduates of higher education courses.

Keywords: Project Based Learning; Active Methodologies; Technology Courses.

Introdução

As mudanças tecnológicas das últimas décadas têm apresentado desafios aos mais diversos campos da sociedade no sentido de adaptação a uma realidade altamente mutável para organizações e pessoas, sendo que novas ferramentas tecnológicas são necessárias para contribuir para a sobrevivência organizacional.

Nesse sentido, pode-se afirmar que o desenvolvimento, fortalecimento e renovação das competências tecnológicas empresariais terão uma relação direta com o perfil de seus funcionários. Essa questão endereça para a formação do profissional, a maior possibilidade de sucesso das organizações.

As discussões a respeito do processo de formação do tecnólogo de forma a estar mais apto e preparado para atendimento das necessidades de um contexto organizacional altamente competitivo e que atende, minimamente, as necessidades das organizações têm ganhado bastante espaço nos meios educacionais e profissionais.

Um novo perfil de estudantes juntamente com uma instituição de ensino que esteja em mudança, ainda que lenta, certamente buscará a formação de egressos que possam efetivamente contribuir com as expectativas de ambos os atores: estudantes e organizações.

No caso específico dos cursos de tecnologia, as cobranças para seus egressos são ainda maiores em virtude de seu caráter de aplicação prática das teorias ao longo do curso. O dilema é entender como formar profissionais para o futuro próximo quando não sabemos ainda qual a tecnologia dominante.

Conforme Caldwell e Spinks (1998), mudanças profundas deverão direcionar a estrutura e as funções das instituições de ensino, devendo ocorrer, entre outras mudanças, a inserção de um modelo de ensino-aprendizagem que premie a utilização de práticas de solução de problemas, inovações e empreendedorismo, desenvolvimento de senso crítico aguçado e a aplicação das competências previstas no curso para a solução dos diversos desafios das organizações.

Os cursos superiores de tecnologia (CST) começaram a ser oferecidos na década de 1970 com o objetivo de suprir as necessidades de formação de trabalhadores em atendimento a uma demanda do parque industrial e também para a modernização do campo profissional promovida pelo governo brasileiro em meados do século passado.

No Estado de São Paulo, criou-se em 1969 o Centro Estadual de Educação Tecnológica do Estado de São Paulo (CEETEPS), que trazia em seu decreto de criação, no artigo 2º inciso I a seguinte definição para as faculdades de tecnologia: “Incentivar ou ministrar cursos de especialidades correspondentes às necessidades e características dos mercados de trabalho nacional e regional, promovendo experiências e novas modalidades educacionais, pedagógicas e didáticas, bem assim o seu entrosamento com o trabalho.”

Atualmente, diversas instituições de ensino têm se utilizado de metodologias ativas para a obtenção de melhores resultados em seu processo de ensino-aprendizagem. A utilização da Aprendizagem Baseada em Problemas faz parte desse conjunto de formas de aprendizagem.

Este trabalho pretende analisar a percepção de alunos dos cursos de tecnologia de uma faculdade pública do Estado de São Paulo, que seguiram um modelo de aprendizagem baseado em projetos desenvolvidos em conjunto com empresas situadas no entorno da instituição e que visava a aplicação das competências desejadas propostas pelo curso para a superação desafios das referidas empresas.

Assim sendo, a pergunta que norteou este trabalho foi: “A aprendizagem baseada em projetos integrados entre instituição de ensino e organizações do mercado de trabalho contribui para a melhor adaptação dos egressos no mercado de trabalho, sob a ótica dos estudantes dos cursos de tecnologia?”

Para responder a esta pergunta procedeu-se a uma pesquisa exploratório-descritiva, por meio de um estudo de caso. A coleta de dados foi realizada utilizando-se de entrevistas semiestruturadas com alunos que concluíram o curso de tecnologia e estão atualmente no mercado de trabalho.

Referencial teórico

Neste item, serão conceituados, sob a ótica de autores e especialistas da área, os temas abordados ao longo do trabalho.

Teorias do Ensino Aprendizagem

Cada pessoa aprende de maneira diferente umas das outras, ou seja, a forma como a mente recebe e processa a informação é inerente a cada ser humano. Vários estudiosos pesquisam nesta linha e serviram de base para este estudo, tais como: Alonso; Gallego e Honey (1994); Portilho (2003); Felder e Silverman (1988); Kolb (1984), entre outros. Carter (2000) aponta que não há uma maneira certa de aprender. Na verdade, existem vários estilos que se adaptam a diferentes situações. Cada pessoa tem seu próprio estilo de aprender e saber como a pessoa aprende é o passo inicial para saber quem ela é. (Trevelin et al., 2013).

Diversas teorias foram propostas, abordando diferentes ângulos e plataformas epistemológicas, desde o final do século passado. Alonso, Galego e Honey (1994), em sua teoria dos estilos de aprendizagem, preconizavam que o ideal nesse processo é instigar a discussão da aprendizagem com o envolvimento do professor e do aluno.

As teorias de aprendizagem buscam reconhecer a dinâmica envolvida nos atos de ensinar e aprender, partindo do reconhecimento da evolução cognitiva do homem, e tentam explicar a relação entre o conhecimento pré-existente e o novo conhecimento a ser adquirido.

Os estilos de aprendizagem na vida das pessoas adultas estão relacionados com suas experiências anteriores e com as exigências do ambiente em que elas se encontram (Kolb, 1976). Esse autor, conforme Cerqueira (2008), define um modelo de aprendizagem que considera o encadeamento de quatro etapas: experiência concreta, observação e reflexão, conceituação abstrata e experimentação ativa. Ou seja, uma experiência concreta permitirá ao aluno uma reflexão sob diferentes perspectivas, tais como conceituar o problema, criar generalizações e, finalmente utilizar essas generalizações para futuras decisões. A Teoria Experiencial tem como foco a experiência de cada indivíduo como fonte da aprendizagem, ou seja, a aprendizagem nasce da experiência. O currículo é baseado na experiência e nas necessidades dos estudantes, respeitando a individualidade de cada indivíduo, em um formato abrangente e flexível.

Conforme Pimentel (2007), as ideias se formam a partir dos sentidos atribuídos à experiência e, ainda, o conhecimento se aprofunda e se torna mais complexo quando está presente na elaboração dos novos conhecimentos capazes de transformar o saber preexistente.

Felder e Silverman (1988) acreditam que a aprendizagem está relacionada com a forma preferencial de se receber e processar o conhecimento, sendo que as dimensões da relação com o objeto de

aprendizagem para cada indivíduo é composta por diversas dimensões, podendo ocorrer desde a forma como processa a informação (ativa ou reflexiva), a preferência pelo tipo de informação (sensitiva ou intuitiva), a forma de recepção da informação (visual ou verbal) até o processo evolutivo (sequencial ou global).

Segundo Ausubel (1982), o estudante aprende construindo, ativamente, ideias, gerando significados, interpretando as informações, tomando como base o conhecimento e as experiências preexistentes, o que caracteriza a aprendizagem significativa, na qual há a interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que não é literal nem arbitrário, o novo conhecimento adquire significado para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico tornando-se mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados e adquire mais estabilidade (Moreira; Masini, 1982; Moreira, 1999).

Na Teoria Social Cognitiva, Albert Bandura trabalha o conceito da autorregulação, ao longo de sua trajetória investigativa, como um processo consciente e voluntário do indivíduo, o qual possibilita o controle dos próprios comportamentos, pensamentos e sentimentos, ciclicamente, voltados e adaptados para a obtenção de metas pessoais e guiados por padrões gerais de conduta (Azzi; Bandura; Polydoro, 2008).

John Sweller, no final da década de 1980, propôs a teoria da carga cognitiva, a qual é constituída de princípios. Essa teoria discute a respeito da quantidade de informações que a memória de trabalho pode apreender de uma vez, considerando-se que a arquitetura cognitiva humana é constituída por uma memória de trabalho limitada e uma memória de longo prazo ilimitada que contém esquemas cognitivos (Ceara, 2012).

As transformações da profissão docente constantemente afetam os professores do ensino superior: saberes curriculares estão sujeitos a novas diretrizes, novas orientações ou teorias, assim como o modo como as aulas são ministradas, os saberes didáticos e acadêmicos, além do acesso às diversidades tecnológicas. O desenvolvimento de novos saberes contribui para o desenvolvimento e a formação das diversas habilidades didático-pedagógicas aplicadas nas estratégias de aprendizagem e nas atividades de ensino para que os alunos também estejam imbuídos do conhecimento de ensino-aprendizagem. No entanto, os professores vivenciam diversas situações, como dificuldades para planejar e executar aulas ou elaborar exercícios e avaliações (Silva et al., 2019).

Existem diferentes teorias na literatura da área pedagógica a respeito das diversas metodologias de ensino-aprendizagem, porém, neste trabalho, abordaremos a aprendizagem baseada em projetos, cuja ideia fundamental é organizar os conhecimentos escolares de forma que os alunos, por iniciativa própria, aprendam procedimentos para organizar informações, estabelecendo relações entre temas e problemas. Ao professor, cabe a figura do facilitador, que recolhe, favorece e interpreta as diversas contribuições dos alunos. Dos alunos, é esperado um comportamento ativo, crítico e criativo (Matos, 2009).

Aprendizagem Baseada em Problemas

Surgida na década de 1960, no Canadá, e implementada nos cursos de medicina em suas primeiras aplicações, a Aprendizagem Baseada em Problemas tem sido apropriada por diversas outras áreas como Ciências Sociais, Engenharia, Ciências da Computação, dentre outras (Araújo, 2011 apud Barbosa; Moura; 2013).

Esse tipo de aprendizagem consiste em trabalhar com problemas como meio de se alcançar os objetivos propostos no processo de ensino aprendizagem, partindo do entendimento inicial do problema proposto, passando pelas fases de análise e busca de uma solução até a apresentação do projeto e análise dos resultados obtidos.

No método ABProb, Aprendizagem Baseada em Problemas, o foco está no aluno que deve ser o agente do seu aprendizado, através de contextualização de uma situação problema, análise e busca por soluções tendo a função de buscar seu conhecimento através da elaboração de um determinado trabalho. Nesse contexto, o professor atua como orientador nos grupos de trabalho, nos quais a interação entre professor-aluno é mais intensa do que em aulas expositivas (Barbosa; Moura; 2013).

Hung et al. (2008 apud Rocha e Lemos; 2014, p. 3) citam como as principais características da Aprendizagem Baseada em Projetos;

...(i) Os alunos, em grupos de cinco a oito, começam a aprender, abordando simulações do problema não estruturado. O conteúdo e as habilidades a serem aprendidas são organizados em torno de problemas, e não como uma lista hierárquica de tópicos, havendo uma relação recíproca entre o conhecimento e o problema: a construção do conhecimento é estimulada pelo problema e aplicada de volta para o problema; (ii) É centrada no aluno, porque faculdade não dita o aprendizado; (iii) É autodirigida, de modo que os alunos assumem a responsabilidade individual e colaborativa para gerar questões e processos de aprendizagem pela autoavaliação e avaliação por pares e avaliação de seus próprios materiais de aprendizagem. Estudantes coletam informações e dividem seu aprendizado

com o grupo; (iii) É autorreflexivo, de tal forma que os alunos monitoram sua compreensão e aprendem a ajustar as estratégias para a aprendizagem; (iv) Professores são facilitadores (não disseminadores de conhecimento), que apoiam e modelam os processos de raciocínio, facilitam processos grupais e dinâmicas interpessoais, sondam o conhecimento dos alunos e nunca inserem conteúdo ou fornecem respostas diretas às perguntas; e (v) No final do período de aprendizado (geralmente uma semana), os estudantes resumem e integram seus aprendizados (Rocha; Lemos, 2014, p. 3).

É esperado que o ABProb se diferencie dos métodos convencionais; em relação a esta metodologia, existe uma grande diferença nas funções dos professores e alunos. A Figura 1 ilustra algumas dessas diferenças.

Figura 1 – Requisitos para professor e aluno no ensino convencional e no ABProb

	ENSINO CONVENCIONAL	ABORDAGEM DA ABPROB
PROFESSOR	Função de especialista ou autoridade formal	Orientador, co-aprendiz ou consultor
	Trabalho isolado	Trabalho em equipe
	Transmissor de informação	Aluno gerencia a aprendizagem
	Conteúdo organizado em aula expositiva	Curso organizado em problemas reais
	Trabalho individual por disciplina	Estímulo ao trabalho interdisciplinar
ALUNO	Receptor passivo	Valora conhecimento prévio
	Trabalho individual isolado	Interação colegas-professores
	Transcreve, memoriza, repete	Busca/constrói o conhecimento
	Aprendizagem individualista e competitiva	Aprendizagem em ambiente colaborativo
	Busca resposta certa para sair bem na prova	Busca questionar e equacionar problemas
	Avaliação dentro de conteúdos limitados	Análise e solução ampla de problemas
	Avaliação somativa e só o professor avalia	Aluno e o grupo avaliam contribuições
	Aula baseada em transmissão da informação	Busca de soluções com orientação e contextualização

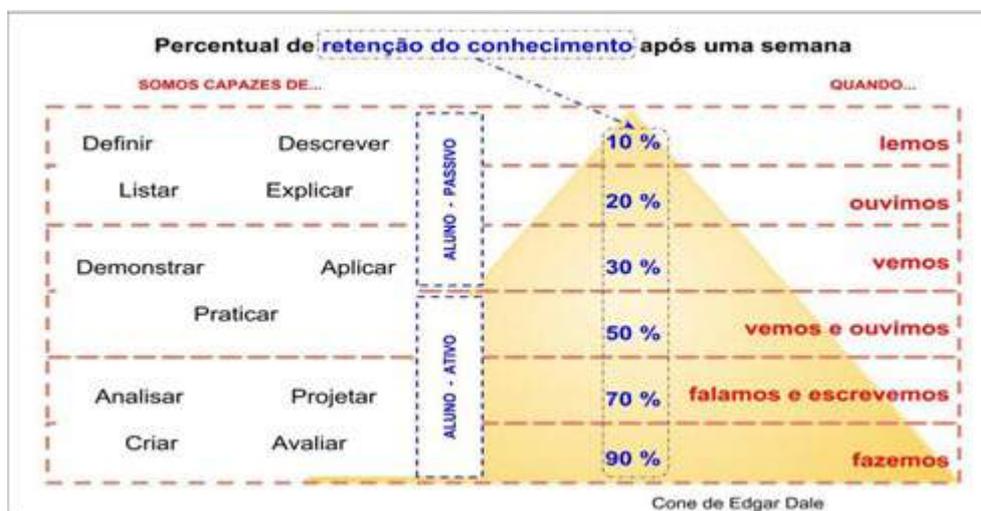
Fonte: Barbosa e Moura (2014).

Para esses autores, nesse método, os professores têm funções mais abrangentes do que no método tradicional como: mediar discussões, manutenção do foco do aluno no problema analisado, estimular a busca de soluções de problemas, promover o desenvolvimento do senso crítico, entre outras.

Esse método difere dos convencionais, que são aqueles de transmissão de conhecimento focada no professor, a famosa aula com lousa ou slide na qual são transmitidos conteúdos programáticos, em que o aluno apenas recebe as informações através de um método passivo, absorvendo, em média, apenas 30% do conhecimento após uma semana da aula expositiva. Já no método ABProb, Aprendizagem Baseada em Problemas, o aluno adquire as informações em uma postura ativa,

envolvendo-se em tarefas que favorecem a assimilação e a fixação do conhecimento, aumentando a média de absorção em aproximadamente 90% do conhecimento após passar pelas fases do projeto. A retenção de aprendizado inclui os processos mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Retenção de conhecimento



Fonte: adaptado de Litto (2009. p.361)

Aprendizagem em cursos de tecnologia

Conforme Araújo (2004), o objetivo da educação tecnológica é garantir a aprendizagem de princípios científicos subjacentes a cada tecnologia e aplicada em diferentes setores para a introdução de soluções tecnológicas na gestão das organizações, bem como na melhoria da qualidade de vida da sociedade.

Diversos tipos de mudanças e experimentações têm sido introduzidas nos ambientes de ensino com o objetivo de melhorar os resultados no processo de aprendizagem atuais, visto que os resultados têm se apresentado cada vez piores. Ou seja, problemas como evasão e as mudanças no perfil do atual estudante dos cursos superiores exigem das instituições de ensino o desenvolvimento e aplicação de novos métodos de ensino.

Na busca por mudanças e transformações no contexto educacional, surgem as metodologias ativas de ensino e aprendizagem e o marco conceitual do ensino para a compreensão, com o propósito de auxiliar na educação permanente dos docentes a planejar, analisar, implementar e avaliar a prática (Gemignani, 2013; Sewell, 2019).

Portanto, ao introduzir as metodologias ativas de ensino-aprendizagem na prática docente, como o método da problematização e a aprendizagem baseada em problemas, somados ao marco conceitual do ensino para a compreensão por meio de unidades curriculares, o professor torna-se mais reflexivo, dialógico, multiprofissional e competente para atuar nos processos de gestão e planejamento educacional em cenários de aprendizagens significativos e na intervenção em problemas demandados pelos ambientes de aprendizagem.

Metodologia

Um trabalho científico necessita ser elaborado obedecendo a uma metodologia e a um método específico. Para que fosse possível alcançar os objetivos propostos neste trabalho decidiu-se pela realização de uma pesquisa exploratório-descritiva, por meio de um estudo de caso.

Para Gil (2002), uma pesquisa exploratória é realizada no sentido de se obter uma visão mais abrangente a respeito de determinado objeto. Já Andrade (2002) afirma que uma pesquisa descritiva deve preocupar-se em observar, registrar, analisar, classificar e interpretar os fatos sem a interferência nos mesmos.

Um estudo de caso é caracterizado como um estudo exaustivo de um ou de poucos casos, concentrando-se nesta característica de reunir informações detalhadas e numerosas a respeito do objeto analisado.

A coleta de dados neste trabalho ocorreu por meio de entrevistas semiestruturadas, as quais tiveram uma duração média de 40 minutos; tendo sido transcritas posteriormente e, com a ajuda da técnica de análise de conteúdo, chegou-se à análise e discussão dos resultados. As questões que compuseram as entrevistas foram elaboradas a partir dos objetivos propostos para a pesquisa; entretanto, serviram apenas como um roteiro que foi adaptado na medida da condução das entrevistas, para possibilitar o sucesso do trabalho.

As categorias encontradas, a partir da transcrição e de reiteradas leituras das entrevistas, são apresentadas na Figura 3 e representam os principais fatores intervenientes no processo de ensino-aprendizagem utilizando-se de projetos para esta finalidade e sob a ótica dos estudantes de um curso de tecnologia. O Quadro 1, a seguir, apresenta as principais categorias que emergiram a partir dessa etapa da pesquisa.

Quadro I – Categorias emanadas a partir da análise dos dados

Categorias	Descrição
Fatores psicológicos	Forma como os respondentes reagem ao novo processo de ensino apresentado
Professores	Fatores relacionados ao relacionamento com os professores e que interferem no processo de aprendizagem.
Mercado	Visão dos entrevistados a respeito do processo de inserção no mercado de trabalho.
Empresa / Desafio	Fator considerado contribuinte no processo de inserção no mercado de trabalho.

Fonte: Elaboração dos autores (2023)

O ambiente da amostra refere-se a um grupo de seis estudantes provenientes dos cursos de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Tecnologia em Banco de Dados e Tecnologia em Gestão da Produção Industrial. Para melhor entendimento serão identificados como E1 a E6.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos por meio da coleta e análise dos dados permitiram a identificação das principais percepções dos alunos a respeito dessa metodologia adotada pela instituição de ensino analisada. As empresas envolvidas no processo de aprendizagem elaboram desafios que estejam de acordo com o programa curricular para o semestre em que os estudantes estão inseridos, acompanhando e avaliando os resultados.

A Figura 3, a seguir, apresenta os diversos fatores intervenientes nesse processo e que de alguma forma contribuem (ou não) para uma melhor formação do futuro profissional.

Analisando-se esses fatores, consegue-se diferenciar os que contribuem para a formação do egresso do curso daqueles considerados como itens que não contribuem para a boa formação, e em alguns casos, podem causar a evasão.

Figura 3 – Fatores intervenientes na adoção da Aprendizagem Baseada em Projetos



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Os fatores indicados pelos entrevistados podem, em grande parte, ser encontrados na literatura a respeito do tema, mesmo que apresentados de outra forma.

Como primeiro fator apontado pela pesquisa, pode ser citado os professores ou, de outra forma, a postura do professor de cada disciplina em relação à elaboração do projeto integrador. Observou-se que os alunos acreditam que o professor é elemento primordial para que a metodologia funcione, uma vez que ele atua como ponte de comunicação entre empresa e faculdade (aluno); o estímulo desse profissional na elaboração do projeto integrador tem grande influência no resultado entregue para a empresa parceira.

Essa preocupação com o papel do docente para o sucesso do projeto é relatada na literatura, por exemplo quando Barbosa e Moura (2014) ressaltam que o professor pode exercer a função de orientador, co-aprendiz ou consultor.

De acordo com as entrevistas, foi possível notar que existem ainda professores que não entenderam a proposta da metodologia e acabam focando apenas na matéria teórica, o que, conforme os resultados da pesquisa, foi declarado como um fator dificultador, pois, de acordo com a Figura 1, referente à revisão da literatura, um dos papéis do professor é estimular o trabalho interdisciplinar. Essas percepções, por parte dos alunos, demonstram a necessidade de maior convencimento e participação do grupo de professores envolvidos no projeto.

A empresa parceira, proponente do desafio, foi evidenciada como um fator de relevância na percepção dos alunos; os desafios por ela apresentados são considerados um grande ponto na

aplicação da metodologia no projeto. Vários dos entrevistados apontaram como importante o papel da empresa no desenvolvimento de *soft skills*, uma vez que a empresa abre suas portas para que o aluno desenvolva trabalhos baseados em problemas reais. Ao entrar em contato com uma nova empresa, os entrevistados alegaram que tiveram a oportunidade de aprender a se comunicar melhor e apresentar projetos que podem (ou não) atender às expectativas do cliente, uma vez que, utilizando essa parceria entre empresa e faculdade o aluno conta com uma margem para o erro e sua correção, aprendendo de forma mais efetiva o que o mercado de trabalho atual procura.

Ainda no quesito empresa, os entrevistados apresentam também as dificuldades que encontram nas propostas de trabalhos solicitadas, uma vez que elas nem sempre têm clareza dos problemas para os quais desejam uma solução. É necessário que o aluno faça uma análise geral da empresa para definir como elaborar uma proposta de solução; para isso, a comunicação da empresa com os estudantes é fundamental e os entrevistados nem sempre conseguiram esse contato de forma fácil, aumentando o grau de dificuldade na utilização dessa metodologia de ensino. Portanto, pode-se supor que os desafios apresentados devem ter uma sintonia muito próxima das competências exigidas no semestre em que aluno está estudando.

No fator mercado de trabalho, 86% dos entrevistados consideram a metodologia Aprendizagem Baseada em Projetos como uma ferramenta de grande êxito para a inserção no mercado de trabalho. Grande parte dos entrevistados receberam propostas de trabalho na área em que estavam cursando, após a elaboração de um projeto para empresas parceiras. Isso fez com que fosse possível observar que o networking é um elemento importante no mercado de trabalho.

Os outros 14% dos entrevistados não demonstraram confiança na metodologia estudada como elemento de ajuda na inserção do mercado de trabalho, pois relataram que encontraram algumas dificuldades na sua aplicação, pois a comunicação entre aluno e empresa não funcionou, não contribuindo para melhoria da sua carreira profissional.

Um aspecto interessante evidenciado nas entrevistas foram os fatores psicológicos: alguns entrevistados relataram que passaram por dificuldades durante a participação em um projeto integrador. De acordo com a análise, o grau de dificuldade na elaboração de um projeto real fez com que os alunos sentissem uma pressão psicológica que contribuiu para sua evasão; uma vez que os estudantes precisam desempenhar um papel mais ativo, tendo que buscar o conhecimento; sendo um método muito diferente do tradicional, os alunos não se sentiam capazes de tal realização.

O entrevistado 4 disse a seguinte frase:

“Uma coisa que eu acho importante e seria legal ter é um apoio psicológico para os alunos também durante a elaboração do projeto integrador, porque como eu falei, o método é muito bom; estou colhendo resultados agora no último semestre daquilo que eu apanhei para aprender a fazer, mas o desgaste ao longo desse processo é muito grande mesmo. Resiliência é muito importante para as pessoas conseguirem chegar até o último semestre”.

A resiliência também apareceu como um dos fatores psicológicos de forma positiva para alguns dos entrevistados, pois foi colocada em prática ao longo do processo de realização do projeto; entretanto, a falta de resiliência pode fazer com que alguns alunos abandonem o curso já nos primeiros semestres, contribuindo com um dos graves problemas para as instituições de ensino: a evasão.

Apesar de Hung et al. (2008) afirmar que o processo deve estar centrado no aluno, porque a faculdade não dita o aprendizado, os projetos, conforme declarado pelos entrevistados, seguem a proposta de criação de competências existente no projeto pedagógico do semestre cursado.

Considerações finais

Este trabalho objetivou a identificação da percepção dos alunos de uma instituição de ensino tecnológico, buscando entender o impacto da metodologia de aprendizagem baseada em problemas na formação de suas capacidades para terem condições de se inserir no mercado de trabalho.

Entende-se que uma mudança nas metodologias de ensino aplicadas atualmente deverá ocorrer da mesma forma que se verificou nas últimas décadas, tanto na evolução das tecnologias quanto no perfil dos estudantes.

Foi possível confirmar com a pesquisa que existem instituições de ensino buscando encontrar um método de ensino-aprendizagem que propiciem o melhor resultado possível nesse processo de formação profissional para o mercado de trabalho.

A parceria entre empresa e universidade pode, sem dúvida, ser um caminho bastante promissor, principalmente quando são considerados os ganhos para todos os envolvidos no processo (instituição de ensino, organização e estudante).

Este artigo não teve a intenção de esgotar o assunto, portanto, sugere-se como pesquisa futura a aplicação dessa pesquisa em outras formações (instituições de ensino diferentes da analisada neste trabalho, outras formações, outras regiões, dentre outras possibilidades).

Referências

- ALONSO, Catalina M.; GALLEGO, Domingo J.; HONEY, Peter. **Los estilos de aprendizaje: procedimientos de diagnóstico y mejora**. Bilbao, España: Mensajero, 1997.
- AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.
- ARAUJO, A. M. A Construção e o Desenvolvimento de Currículo em Parceria. **VIII Congresso Luso-Brasileiro de Ciências Sociais**, em Coimbra/Portugal, setembro, 2004.
- AZZI, Roberta Gurgel; BANDURA, Albert; POLYDORO, Soely AJ. **Teoria social cognitiva**. São Paulo: Artmed, 2008.
- BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem na educação profissional e tecnológica. **Boletim Técnico do Senac**, v. 39, n. 2, p. 48-67, 2013.
- BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. In: **Anais International Conference on Engineering and Technology Education**, Cairo, Egito. 2014. p. 110-116.
- CALDWELL, B. J.; SPINKS, J. M. **Beyond the self-managing school**. London: Falmer Press, 1998.
- CERQUEIRA, T. Estilos de aprendizagem de Kolb e sua importância da educação. **Revista Estilos de Aprendizaje**, v1, n1, 2008.
- CEARÁ, Governo do Estado do; RODRIGUES, PAULO MARCELO MARTINS. Projeto político pedagógico. **E EMEF Francisco Melo e Silva. Secretária de educação. Ipaumirim-Ce**, 2012.
- MATOS, Marilyn A. Errobidarte. A metodologia de projetos, a aprendizagem significativa e a educação ambiental na escola. **Ensino, saúde e ambiente**, v. 2, n. 1, 2009.
- FELDER, R. M.; SILVERMAN, L. K. Learning and Teaching Styles In Engineering Education. **Engr. Education**, v. 78, n. 7, p. 675-681, 1988. Disponível em: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2022.
- GEMIGNANI, Elizabeth Yu Me Yut. Formação de professores e metodologias ativas de ensino-aprendizagem: ensinar para a compreensão. **Fronteiras da Educação**, v. 1, n. 2, 2013.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- KOLB, D. Management and the learning process. **California Management Journal**, 18(3), 21-31, 1976.
- KOLB, D.A. **Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development**. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ, 1984.

- MOREIRA, N. R. **Estudo comparativo e correlacional das competências psicolinguísticas e motoras em crianças com e sem dificuldades de aprendizagem**. 1999. Tese (Doutorado em Educação Especial e Reabilitação). Faculdade de Motricidade Humana da U.T.L. - Lisboa, 1999
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Ed. Moraes, 1982, 7-52 p.
- PIMENTEL, Alessandra. A teoria da aprendizagem experiencial como alicerce de estudos sobre desenvolvimento profissional. **Estudos de Psicologia (Natal)**, v. 12, p. 159-168, 2007.
- PORTILHO, E. M. L. **Aprendizaje Universitario: un enfoque metacognitivo**. 2003. Tese (Doutorado). Facultad de Educación. Departamento de Psicología Evolutiva y de la Educación. Madrid, 2003.
- ROCHA, H. M.; LEMOS, W. M. Metodologias ativas: do que estamos falando? Base conceitual e relato de pesquisa em andamento. **IX Simpósio Pedagógico e Pesquisas em Comunicação**. Resende, Brazil: Associação Educacional Dom Boston, v. 12, 2014.
- SEWELL, Justin L. et al. Cognitive load theory for training health professionals in the workplace: A BEME review of studies among diverse professions: BEME Guide No. 53. **Medical teacher**, v. 41, n. 3, p. 256-270, 2019.
- SILVA, L. B.; WILL, J. M. de S. Tecnólogos em Logística: da graduação a docência no Ensino superior. **Revista Humanidades e Inovação**, p. 192-202, 1 jun. 2019.

Construindo consciência ambiental desde a infância: um estudo sobre sustentabilidade e gamificação

Building environmental awareness from childhood: a study on sustainability and gamification

Gestão Educacional

Diogo Martins Gonçalves Morais (pro17103@cefsa.edu.br)

Doutor em Administração pela Universidade Municipal de São Caetano do Sul (USCS) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e professor do Instituto de Tecnologia e Liderança (Inteli).

Fábio Zegunis (fzegunis@yahoo.com.br)

Especialista em Gestão de Projetos em Inovação e Sustentabilidade pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Fernanda de Souza Rocha (fernanda.rocha2207@gmail.com)

Especialista em Gestão de Projetos em Inovação e Sustentabilidade pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Hanns Schults (sunny.be@gmail.com)

Especialista em Gestão de Projetos em Inovação e Sustentabilidade pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Lais Pulls Ferretti (lais@lsanalyses.com.br)

Especialista em Gestão de Projetos em Inovação e Sustentabilidade pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

Patrícia Francisco Duin (paty.fco83@gmail.com)

Especialista em Gestão de Projetos em Inovação e Sustentabilidade pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024
- ISSN 2525-8729

Submissão: 14 dez. 2023 - Aceitação: 19 abr..2024

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double-blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 119 -137

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

O presente estudo apresenta uma solução para conscientizar crianças de 5 a 13 anos sobre sustentabilidade por meio de um aplicativo gamificado. A pesquisa quali-quantitativa exploratória mapeou o nível de conhecimento das crianças sobre o tema e identificou necessidades e expectativas relacionadas à gamificação. A metodologia incluiu pesquisa de campo com questionários aplicados a crianças e gestores educacionais. Os resultados mostraram que conceitos de sustentabilidade são pouco abordados em lares e escolas, destacando a necessidade de uma abordagem lúdica e interativa. O estudo culminou no desenvolvimento do aplicativo EkoPlay, que utiliza jogos para ensinar sustentabilidade.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Aprendizagem. Crianças. Inovação. Gamificação.

Abstract

This study presents a solution to raise awareness about sustainability among children aged 5 to 13 years through a gamified application. The exploratory qualitative-quantitative research mapped the children's knowledge level on the subject and identified needs and expectations related to gamification. The methodology included field research with questionnaires applied to children and educational managers. The results showed that sustainability concepts are rarely addressed in homes and schools, highlighting the need for a playful and interactive approach. The study culminated in the development of the EkoPlay app, which uses games to teach sustainability.

Keywords: Sustainability. Learning. Children. Innovation. Gamification.

Introdução

Sustentabilidade é um tema popular, relevante e necessário na atualidade. No Brasil, apenas 4% dos resíduos sólidos que poderiam ser reciclados passam pelo processo de reciclagem, um número significativamente menor em comparação com países de renda e desenvolvimento econômico similares, que reciclam em média 16%, segundo a International Solid Waste Association (ISWA) (Agência Brasil, 2022). Além disso, 80% das pessoas acreditam que estamos rumando para um desastre ambiental, a menos que os hábitos sejam mudados rapidamente (IPSOS, 2023).

A relevância desse tema é ainda mais pronunciada quando se considera que cerca de um terço da população global é composta por crianças, que são e serão desproporcionalmente afetadas pelas mudanças climáticas. O Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) destaca que crianças com menos de cinco anos enfrentarão as consequências mais severas das doenças associadas às mudanças climáticas. No Brasil, o risco é alarmante: 8,6 milhões de crianças e adolescentes com menos de 18 anos estão expostos à falta de água, 13,6 milhões aos riscos de ondas de calor e 24,8 milhões à poluição do ar (UNICEF, 2022).

Dada a urgência de abordar as mudanças climáticas desde os primeiros anos de vida, é fundamental oferecer aprendizado sobre sustentabilidade para as crianças. No entanto, surge a pergunta: como educar as crianças sobre práticas sustentáveis e conscientizá-las sobre a importância dessas práticas para si mesmas e para o planeta?

Recursos lúdicos, como jogos educativos, podem desempenhar um papel crucial no ensino da sustentabilidade na Educação Infantil, pois motivam e engajam as crianças através de atividades recreativas. Dessa forma, o lúdico transcende a mera brincadeira e se torna essencial para o comportamento humano, proporcionando divertimento e a oportunidade de aprender sobre sustentabilidade (Roberto, 2020).

As tecnologias móveis, como computadores e dispositivos eletrônicos, têm o potencial de enriquecer as oportunidades educacionais e promover a aprendizagem em qualquer lugar e a qualquer hora. No entanto, o trabalho deve ser desenvolvido de forma continuada, visando à construção de uma sociedade sustentável. Isso requer a recriação de diversas funções e papéis

profissionais, pessoais e institucionais na sociedade, para garantir um futuro melhor para as próximas gerações (Verderio, 2021).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo geral apresentar uma solução para conscientizar crianças sobre sustentabilidade. Para alcançar esse objetivo, são necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) mapear o nível de conhecimento das crianças de acordo com as faixas etárias e instituições de ensino;
- b) identificar necessidades e expectativas em relação à gamificação;
- c) desenvolver um aplicativo que utilize a gamificação para abordar questões de sustentabilidade.

Este estudo visa estimular as crianças a crescerem com consciência sobre o que é sustentabilidade e como aplicá-la no dia a dia. A proposta alinha-se com recomendações de especialistas, que defendem a introdução do estudo da sustentabilidade desde cedo como parte fundamental da educação infantil.

Referencial teórico

O referencial teórico é subdividido em duas partes. Primeiramente, aborda-se a temática sustentabilidade aplicada ao ambiente educacional; neste tópico, são apresentados os posicionamentos de organizações como a ONU e sua agência especializada, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), livros, artigos e disposições legais relacionadas. Nesta primeira parte, também são mostradas as considerações de estudos recentes sobre o tema.

No segundo tópico, aborda-se a importância da gamificação - jogos de aplicativos - na educação sobre sustentabilidade, com referência às abordagens de diversos autores e fontes de pesquisa que revelam informações da atualidade.

O cenário da Educação Ambiental para o desenvolvimento sustentável

A sustentabilidade é uma preocupação crescente; o cenário atual requer medidas urgentes para as mudanças climáticas (ONU, 2015). E a Educação Ambiental é um dos principais pilares para o plano de ação das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável destinado a assegurar as necessidades das gerações presentes e futuras. No entanto, estudos revelam que o ensino sobre sustentabilidade com crianças ainda é limitado (Ribeiro et al., 2022, p. 264).

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu durante a Comissão de Brundtland, na década de 1980, com a seguinte definição: “Forma como as atuais gerações satisfazem as suas necessidades sem, no entanto, comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (Relatório Brundtland, 1988).

O plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade, a Agenda 2030, aborda questões fundamentais para um futuro sustentável. Destacam-se os desafios dos ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - da ONU (2015) e, no contexto da Educação Ambiental, o objetivo 4.7 que, dentre os demais objetivos, busca “garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessários para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de gênero, promoção de uma cultura de paz e não violência, cidadania global e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável”, e o objetivo 13.3, que visa “melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima”. A Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, institui que a Educação Ambiental é um elemento fundamental e duradouro no contexto da educação nacional, devendo ser integrada de maneira coordenada em todos os níveis e formas de ensino, abrangendo tanto o ambiente formal quanto o não-formal.

Para Dias (2023, p. 112), grande parte das pessoas possui uma visão isolada e distante da realidade e dos fenômenos ambientais, o que perigosamente impede a visão holística em compreender o impacto que uma sociedade gera sobre as demais e sobre o ambiente global. A Educação Ambiental pretende abrir caminhos para atitudes e soluções sustentáveis, para isso, um dos seus desafios é o de criar as bases para a compreensão holística da realidade.

É de fundamental importância repensar o papel da educação no desenvolvimento global, pois ela desempenha uma função crucial no bem-estar das pessoas e no futuro do planeta. Neste momento, mais do que nunca, a educação precisa se ajustar aos desafios e objetivos do século 21, promovendo os valores e habilidades necessários para alcançar um crescimento sustentável (UNESCO, 2020).

O papel da gamificação na Educação Ambiental

Define-se gamificação como a aplicação de elementos de jogo em atividades que originalmente não são jogos. Isso envolve a incorporação de elementos como recompensas e níveis para motivar e engajar as pessoas em uma determinada atividade. A sociedade contemporânea está cada vez mais interessada em jogos e tecnologia (Fadel. et al., 2014, p. 124).

As ferramentas de ensino, os métodos de aprendizado e o acesso ao conhecimento estão sendo revolucionados com o avanço da tecnologia (UNESCO, 2018) e a expansão da digitalização da educação já é uma realidade; os jogos sobre sustentabilidade possuem a tendência de serem cada vez mais utilizados (Santos; Strada; Bottino, 2019). Tais jogos podem ser vistos como ferramentas para aumentar o conhecimento das pessoas sobre questões de sustentabilidade e a conscientização de seus comportamentos, sendo que os conceitos de sustentabilidade incorporados nos jogos, juntamente com a dinâmica da jogabilidade, impulsionam os efeitos educacionais (Chappin; Bijvoet; Oei, 2023).

Mylonas et al. (2023) afirmam que intervenções lúdicas simples podem ser muito eficazes em ambientes escolares, demonstram que uma experiência simples e divertida pode produzir bons resultados em ambientes educacionais para alunos e educadores, os quais podem aplicar esse tipo de intervenção no dia a dia das aulas.

Aplicativos gamificados mostram-se ferramentas eficazes para promover comportamentos sustentáveis, particularmente em comparação com outros métodos existentes de mudança de comportamento, nos quais elementos de gamificação, como ganho de pontos por recompensa em jogos de aplicativo são classificados de maneira mais positiva pelos usuários do que métodos que fornecem as informações isoladamente, pois possuem um maior envolvimento psicológico, segundo Douglas e Brauer (2021).

Metodologia

No desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com base em artigos científicos, livros e documentos oficiais, além de uma pesquisa exploratória de caráter quali-quantitativo. O foco foi a observação e compreensão das questões relacionadas à sustentabilidade na perspectiva das crianças, dos gestores educacionais e das tendências do mercado. O público-alvo incluiu crianças (usuários), gestores educacionais, familiares e a sociedade em geral (possíveis adquirentes da solução). A seguir, é apresentada a esquematização da metodologia utilizada durante o estudo.

Figura 1 – Processo metodológico



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Conforme abordado por Gil (2017), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito e permitindo a construção de hipóteses. Esse tipo de pesquisa possui um planejamento flexível, considerando diversos aspectos da temática estudada. Em geral, envolve levantamentos bibliográficos, análises de exemplos que buscam a compreensão dos fatos estudados e entrevistas com pessoas que possuem experiência prática no assunto.

Para a pesquisa de campo com crianças e gestores educacionais, foi utilizada uma amostragem não probabilística e por conveniência, uma vez que o público-alvo possui o perfil adequado para a elaboração do aplicativo desenvolvido neste estudo. A análise dos resultados foi realizada a partir de técnicas de análise de conteúdo e discurso.

A região considerada para o estudo foi o Grande ABC, localizada no estado de São Paulo, devido à sua diversidade de municípios e realidades sociais. Essa escolha se tornou fundamental para compreender as particularidades do ensino oferecido tanto nas escolas públicas quanto nas particulares. A região também apresenta um número significativo de crianças matriculadas, totalizando 379.929 matrículas, sendo 134.365 em escolas públicas estaduais (37%), 147.485 em escolas municipais (39%) e 88.079 em escolas particulares (23%), segundo dados do INEP para o ano de 2022.

Pesquisa de campo com as crianças

A Pesquisa de Campo “Sustentabilidade e a infância” foi o fundamento da percepção do quão defasado é o conhecimento das crianças sobre o assunto atualmente. A pesquisa foi realizada por meio de um questionário elaborado e estruturado por meio da ferramenta *SurveyMonkey* e ficou disponível pelo período de 7 dias, durante o qual as crianças responderam às questões sob a supervisão de um responsável, porém sem a sua intervenção.

A seleção das crianças respondentes foi realizada considerando a idade entre 5 e 13 anos, tendo como base a definição do ECA (Estatuto da Criança e do Adolescente, 2021) sobre a idade em que se considera criança e, desse modo, determinar a faixa etária ideal para a amostra da pesquisa. A pesquisa foi composta por 10 questões: 1) Qual é a sua idade?; 2) Você estuda em colégio particular ou público?; 3) O que você entende por sustentabilidade?; 4) Quanto tempo você demora para tomar banho?; 5) Quando você sai do seu quarto ou da sala, você apaga todas as luzes ou deixa tudo ligado, pois você pode voltar logo ou nem repara se estavam acesas ou apagadas?; 6) Quando você escova os seus dentes, você só abre a torneira para enxaguar a boca ou deixa a torneira aberta do início ao fim da escovação?; 7) Como são descartados os lixos na sua casa?; 8) Você sabe o que é coleta seletiva e reciclagem?; 9) O que você e sua família fazem com as sacolinhas do mercado?; 10) Qual a origem da água que chega pra gente e nós usamos em nossa casa, na escola, na piscina do

clube ou do prédio?. As respostas do questionário estão disponíveis no capítulo 4 - Resultados e discussão.

Pesquisa de campo com gestores educacionais

A “Pesquisa com os Gestores Educacionais” foi realizada a fim de se conhecer o ponto de vista de gestores educacionais de escolas públicas e particulares, tendo em vista que este é um dos públicos que podem adquirir o aplicativo; logo, suas perspectivas serviram como direcionador no desenvolvimento deste estudo. Foram registradas as respostas de 7 Gestores Educacionais. A seleção dos respondentes ocorreu sob alguns critérios, como a atuação em cargos de gestão em escolas públicas e privadas do Estado de São Paulo; outro critério foi o tempo de trajetória no ambiente educacional. A pesquisa foi composta por 12 questões: 1) E-mail; 2) Qual é o seu nome?; 3) Quantos anos você tem?; 4) Qual é o nome da sua instituição de ensino?; 5) Quais são as principais características que você considera em um aplicativo de ensino de sustentabilidade para crianças?; 6) Qual critério você mais levaria em consideração ao escolher um aplicativo de ensino sobre sustentabilidade para as crianças em sua escola? 7) Quais seriam os dois maiores desafios na implementação de um aplicativo de educação sustentável na sua escola?; 8) Selecione as duas estratégias que considera mais importantes para incentivar o uso do aplicativo pelos professores; 9) Você conhece algum aplicativo de ensino de sustentabilidade que tenha sido bem-sucedido? Se sim, poderia compartilhar detalhes sobre ele?; 10) Qual seria o impacto financeiro que um aplicativo de ensino sobre sustentabilidade teria na sua escola?; Quais fatores influenciariam na sua decisão de adquiri-lo?; 11) Você pagaria pela aquisição desse aplicativo em sua escola? Se sim, até quanto você investiria?; 12) Você possui algum comentário ou sugestão não mencionados durante esta pesquisa que gostaria de compartilhar conosco?. As respostas do questionário estão disponíveis no capítulo 4 - Resultados e discussão.

Desenvolvimento da solução: aplicativo EkoPlay

Brainstormings foram realizados pela equipe, juntamente com estudos sobre inovação e sustentabilidade; assim surgiram as ideias para a prospecção do estudo, no qual a ferramenta Miro (<https://miro.com/>), solução disponível no mercado em algumas versões gratuitas, foi utilizada para representar o que se esperava do estudo e, após a análise do escopo, desenhar o protótipo da solução.

Criado o protótipo e elaborado o desenho na ferramenta de como as telas do aplicativo deveriam se comunicar entre si e o que deveria compor cada tela (imagens, perguntas, interação com o usuário etc.), foi realizada uma seleção interna entre os alunos da graduação da Faculdade Engenheiro Salvador Arena para que, dentro da própria instituição, fosse gerada a versão inicial do aplicativo. Um cronograma foi definido durante o estudo, utilizando metodologia ágil nas entregas.

Iniciado o desenvolvimento, para realizar o design das telas foi utilizada a ferramenta Figma, que permite criar protótipos e gerar códigos que serviram de base para implementação do “frontend” do aplicativo. A linguagem utilizada neste desenvolvimento foi o Visual Studio Code, que fornece uma gama de ferramentas e atuação em diversas outras linguagens de programação, escolhida pela equipe de desenvolvimento por utilizar o Typescript/Javascript.

Além disso, para auxiliar o desenvolvimento, optou-se pela ferramenta React Native, que nos dias de hoje vem sendo muito utilizada para os desenvolvimentos de aplicativos nativos, tanto para o sistema operacional Android, como para IOS, aliado ao React Native; foi também utilizado o Expo, uma plataforma que oferece suporte para o React Native no desenvolvimento, permitindo assim que uma prévia do aplicativo seja executada no smartphone, antes de sua publicação nas lojas de aplicativos dos sistemas operacionais. Esta execução atualiza praticamente de forma instantânea as eventuais mudanças aplicadas no código.

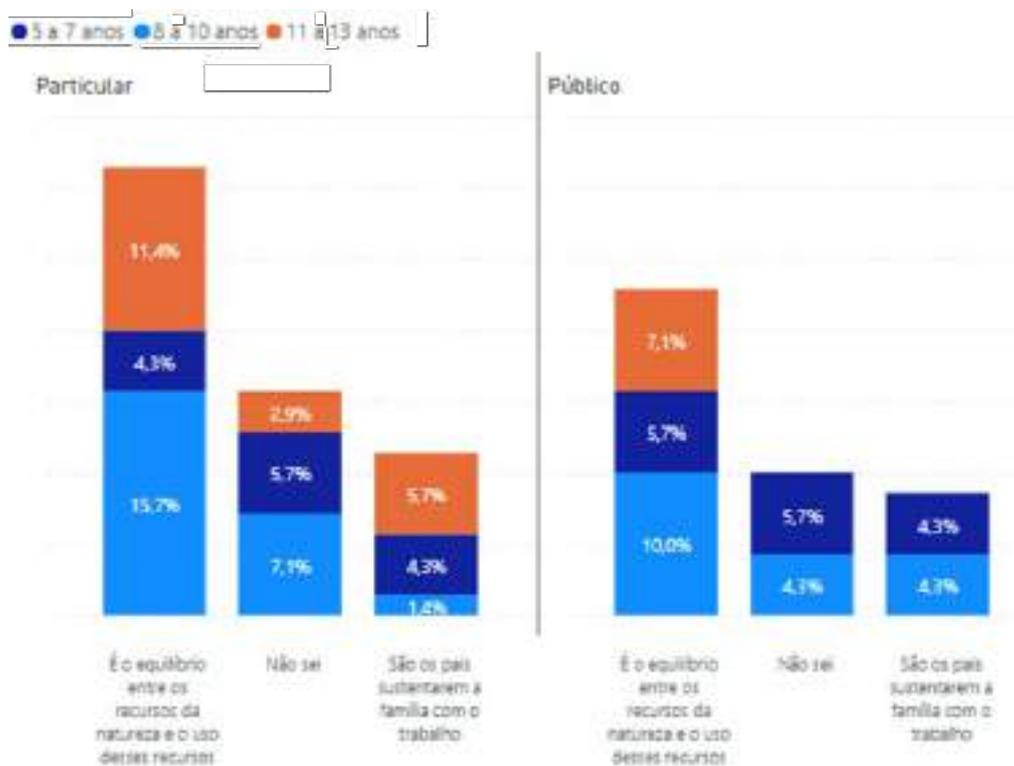
A fim de deixar o desenvolvimento disponível para toda a equipe dos desenvolvedores, e para que eles pudessem inserir suas modificações simultaneamente, foi utilizado o GitHub, que possibilita o armazenamento do código em um servidor virtual, o qual, além de permitir o armazenamento do código, admite o acesso desse código em diferentes computadores, e com ele foi realizada e a criação de ramificações dentro do estudo para que cada usuário pudesse enviar suas atualizações.

Resultados e discussão

A pesquisa recebeu 70 respostas de crianças da região do Estado de São Paulo. Foram recebidas respostas de crianças entre 5 e 13 anos, de escolas públicas e particulares. O questionário avaliou, em 8 perguntas, de forma indireta, o conhecimento sobre temas que envolvem sustentabilidade. As perguntas avaliaram também hábitos em relação ao uso de água e luz e descarte de lixo.

Quando perguntado “O que você entende por sustentabilidade”, conforme Figura 2, 54,3% das crianças responderam de forma assertiva, porém, 45% das crianças não sabiam ou responderam que “São os pais que sustentam a família com o trabalho”. A faixa de idade que mais escolheu a resposta incorreta foi a de 5 a 7 anos (66,7%), seguida por 8 a 10 (40%) e o menor percentual foi na faixa mais velha, de 11 a 13 anos (31,5%). Isso evidencia a necessidade de ensinar sobre sustentabilidade nas primeiras séries escolares.

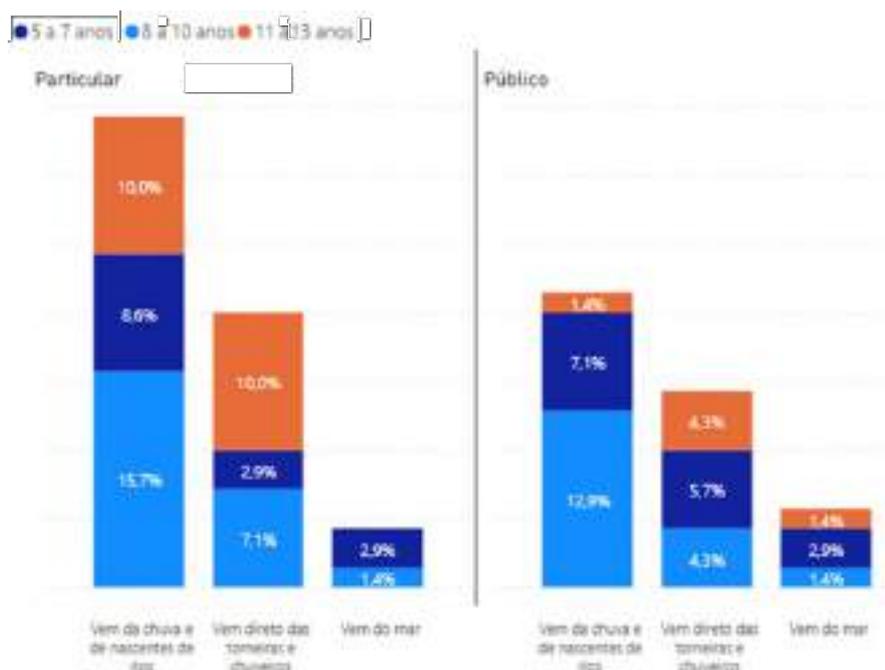
Figura 2 – Entendimento do termo "sustentabilidade"



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

A origem da água teve 55,7% de respostas corretas. A faixa de idade com mais aproximação da resposta correta foi a de 8 a 10 anos, onde 66,6% responderam corretamente. A Figura 3 apresenta esses números.

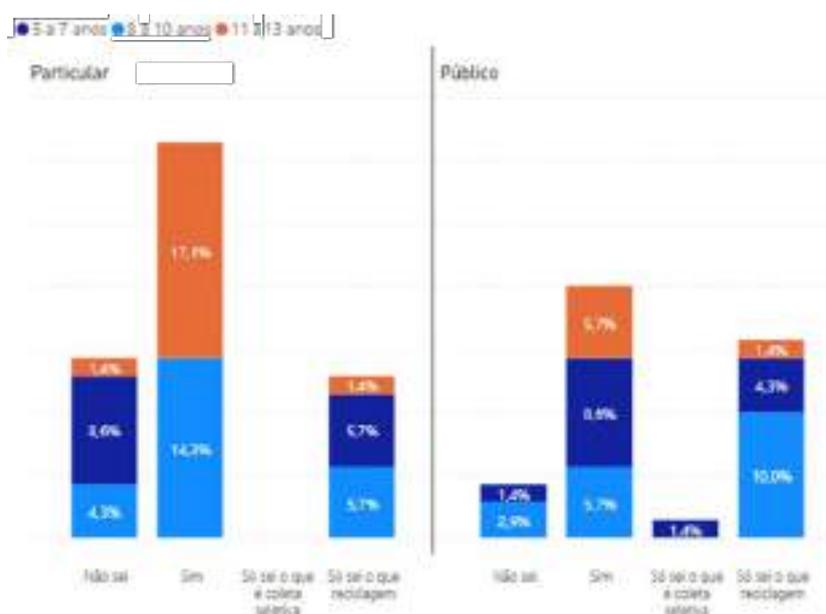
Figura 3 – Origem da água



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Em relação à pergunta sobre a coleta seletiva e reciclagem obteve-se 81,4% de respostas positivas, sendo a maior representatividade em “Sim”, com 51,4%. Entre as idades, 33% das crianças entre 5 e 7 anos responderam com “Não Sei”, ou seja, apenas 67% de respostas positivas, sendo a pior faixa de idade, contribuindo para a necessidade de ensino dos conceitos o mais cedo possível. A Figura 4 apresenta esses números.

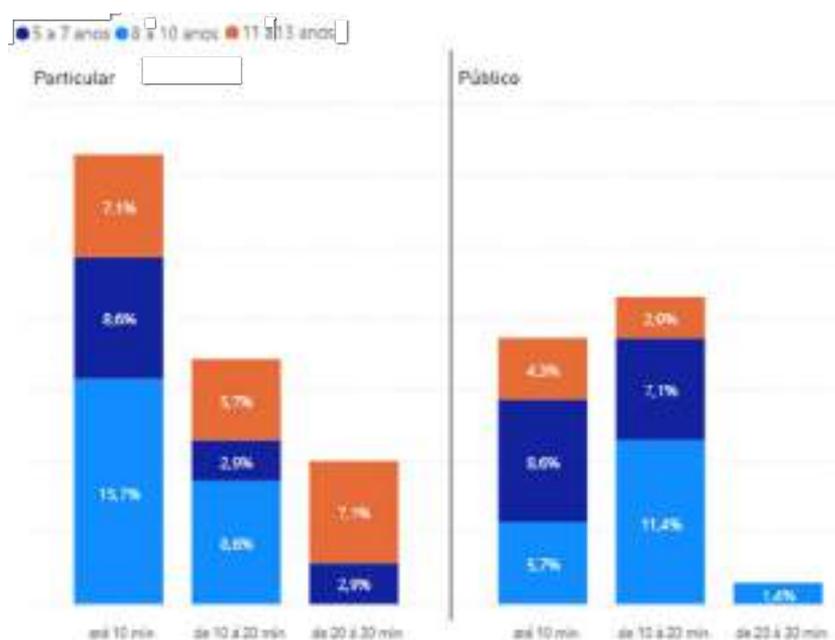
Figura 4 – Coleta seletiva e reciclagem



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Os hábitos de consumo de água durante o banho também foram avaliados. No geral, 50% levam até 10 minutos, 38% até 20 minutos e 12% até 30 minutos. Outro dado que pode ser extraído desse hábito é que quanto mais idade tenha a criança, maior o tempo de banho. Obteve-se 42%, 50% e 58% de tempos acima de 10 minutos nas faixas 5 a 7, 8 a 10 e 11 a 13 anos respectivamente. A Figura 5 apresenta esses números.

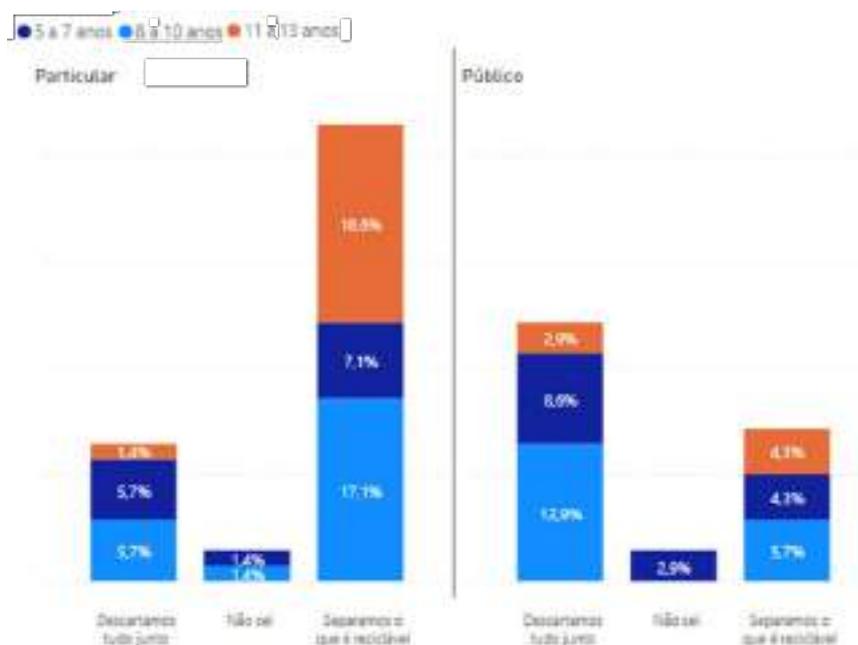
Figura 5 – Tempo de banho



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Os hábitos de descarte de lixo foram avaliados também com a resposta “Não sei”, indicando que a criança não participa do processo de reciclagem no ambiente familiar, e 37,1% indicaram que o descarte de orgânicos e recicláveis é feito de forma conjunta, sem separação. A Figura 6 apresenta esses números.

Figura 6 – Hábitos de descarte

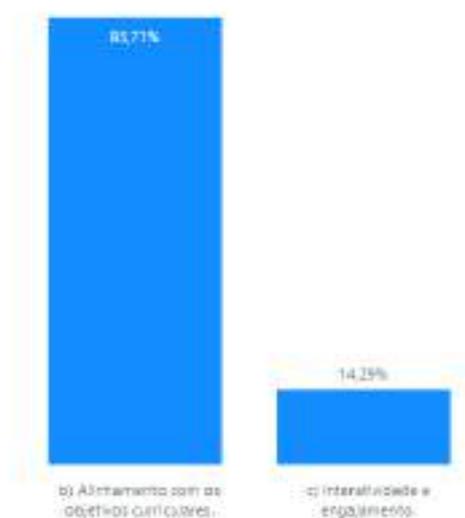


Fonte: Elaboração dos autores (2023)

A segunda pesquisa realizada neste estudo teve a participação de 7 gestores educacionais da região, sendo este grupo formado na sua maioria por mulheres; a faixa de idade predominante entre 35 e 44 anos, gestores de escola privada. A Figura 7 mostra a percepção e a adesão ao aplicativo como recurso educacional.

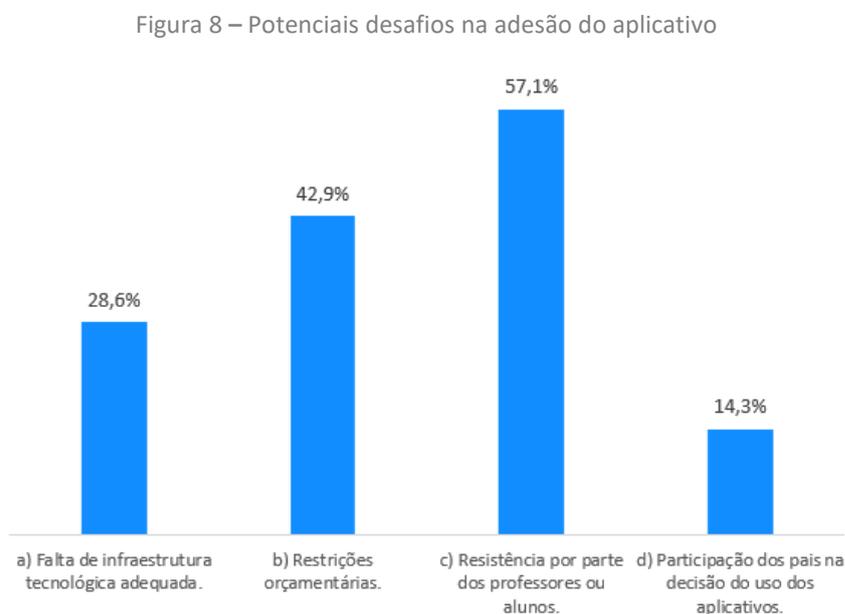
Figura 7 – Critérios para adesão do aplicativo

Qual critério você mais levaria em consideração ao escolher um aplicativo de ensino sobre sustentabilidade para as crianças em sua escola?



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Sobre desafios, todas as opções da pesquisa foram escolhidas e a maioria indicou possível resistência por parte de professores e alunos (57%) e “Restrições orçamentárias” (43%). Era possível escolher uma ou duas alternativas nesta questão. A Figura 8 apresenta os possíveis desafios associados à adesão do aplicativo.



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

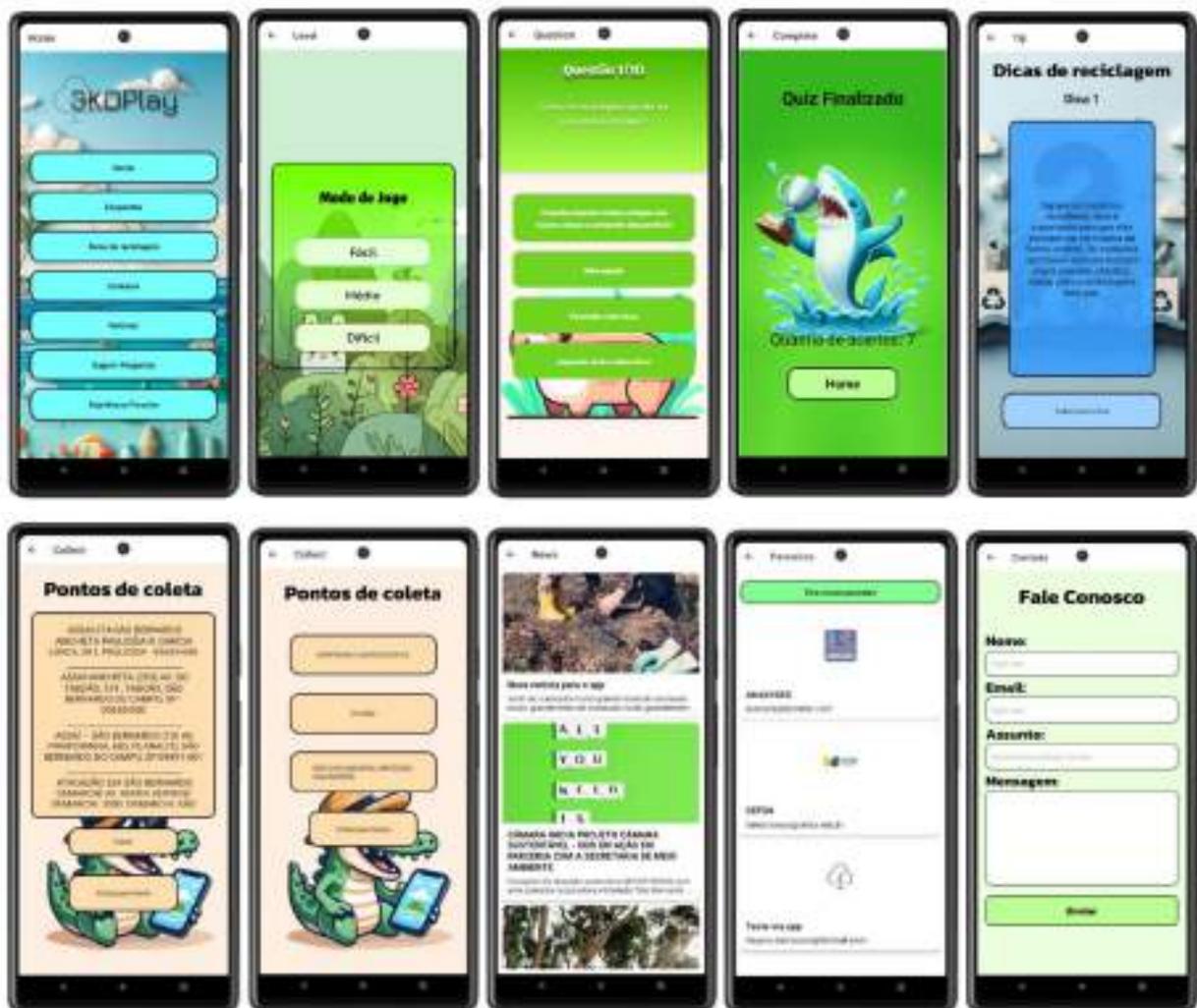
Como parte do resultado dessa pesquisa, percebe-se que nenhum respondente conhecia aplicativos parecidos ou com o mesmo propósito de conteúdo e dinâmica. Sinalizaram também que existiria interesse em comprar o aplicativo para utilizá-lo nas escolas, considerando o fator custo-benefício. Dessa forma, o resultado deste estudo mostra a urgência de se utilizar ferramentas que promovam uma visão holística das questões de sustentabilidade, corroborando as ideias de Dias (2023) segundo a qual grande parte das pessoas possui uma visão isolada e equivocada da realidade e dos fenômenos ambientais, o que perigosamente impede a visão holística de compreender o impacto que uma sociedade gera sobre as demais e sobre o ambiente global. Em função disso, a Educação Ambiental pretende abrir caminhos para atitudes e soluções sustentáveis.

O grande item de desafio que se obteve com essa pesquisa foi a possibilidade de se integrar aplicativos nos planos de aula. Por se tratar de um tema relativamente novo para os professores, seria necessário não apenas o aplicativo, mas um tutorial ou material de apoio para a utilização dessa tecnologia e desse conteúdo com as crianças. Entretanto, a relevância da Educação Ambiental vai além das práticas internas das escolas ela deve ser oferecida de forma contínua e transversal, envolvendo a família e a comunidade.

A eficácia desse processo será alcançada à medida que sua abrangência se estender a todos os segmentos sociais (Czapski, 1998). Por isso, embora exista o desejo de se institucionalizar a disciplina Educação Ambiental, é importante que ela seja promovida de forma articulada e transversal (Lei 9.795/99), ou seja, para o desenvolvimento sustentável é importante que a Educação Ambiental seja fornecida por variados meios, o que está de acordo com a proposta do EkoPlay.

Segue abaixo a versão inicial do EkoPlay, composto por variadas telas; dentre as principais, destacam-se: menu inicial, modo de jogo (fácil, médio e difícil), questões de 1 a 10, pontuação, sugestão de perguntas, dicas de reciclagem, ecopontos (pontos de coleta), notícias atualizadas, parceiros e fale conosco.

Figura 9 – Telas do aplicativo



Fonte: Elaboração dos autores (2023)

Considerações finais

O presente estudo abordou a sustentabilidade voltada para crianças, com foco no desenvolvimento sustentável por meio da gamificação. O objetivo principal foi investir na educação sobre o referido tema desde a infância, utilizando a gamificação como ferramenta eficaz para alcançar esse público (Brauer, 2021, p. 91 e 92). Assim, a equipe desenvolveu o aplicativo EkoPlay, um jogo de perguntas e respostas que ensina conceitos de sustentabilidade de maneira lúdica e interativa.

Os resultados mostraram que, embora as crianças demonstrem interesse pelo meio ambiente, o nível de compreensão sobre sustentabilidade varia significativamente entre as faixas etárias, evidenciando lacunas no conhecimento e a necessidade urgente de novas abordagens educacionais. A pesquisa identificou que os elementos essenciais para um aplicativo de ensino de sustentabilidade incluem interatividade, ludicidade e linguagem clara.

Os respondentes indicaram interesse em adquirir o aplicativo para uso nas escolas, reconhecendo seu custo-benefício, e apontaram que não conhecem soluções semelhantes no mercado. O EkoPlay se destaca por sua abordagem única, que inclui perguntas sobre sustentabilidade, pontuação, dicas de reciclagem, informações sobre coleta seletiva, ecopontos, notícias atualizadas, parceiros e um canal de comunicação.

No contexto atual de dependência das crianças nas telas de celulares, é fundamental que os responsáveis monitorem e equilibrem as atividades online e offline. A supervisão dos pais é crucial para garantir um uso saudável da tecnologia. O EkoPlay planeja implementar regras claras sobre o tempo permitido para o uso do celular, promovendo atividades offline como brincadeiras ao ar livre, leitura e interação social. Ensinar habilidades de literacia digital desde cedo é essencial, e a abordagem holística que envolve família, escola e comunidade é crucial para o desenvolvimento saudável das crianças em um mundo cada vez mais digital.

Apesar dos esforços para uma compreensão abrangente da gamificação no ensino de sustentabilidade, este estudo reconhece algumas limitações, como o número limitado de respondentes e a concentração em regiões específicas do estado de São Paulo, limitando a generalização dos resultados. Sugere-se ampliar a pesquisa para incluir uma amostra mais diversa,

abrangendo outras faixas etárias e grupos socioeconômicos, além de replicar o estudo em diferentes regiões e países para avaliar a adaptabilidade do aplicativo em variados contextos culturais, educacionais e linguísticos. Futuros trabalhos podem explorar a integração de recursos adicionais que ampliem a eficácia do aplicativo, considerando a diversidade de estilos de aprendizado, e investigar oportunidades de parcerias estratégicas e investimentos.

Este estudo mostra que o desenvolvimento de soluções educativas inovadoras é factível. A conscientização sobre a importância da sustentabilidade deve transcender fronteiras, e o EkoPlay se apresenta como uma contribuição promissora nesse caminho.

Referências

BERALDO, LILIAN. Índice de reciclagem no Brasil é de apenas 4%, diz Abrelpe. **Agência Brasil** - Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-06/indice-de-reciclagem-no-brasil-e-de-4-diz-abrelpe>> Acesso em: 26 out. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Política Nacional de Educação Ambiental. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 abr. 1999. Seção 1, p. 1.

BRAUER, MARKUS; BENJAMIN, DOUGLAS. **Gamification to Prevent Climate Change: A Review of Games and Apps for Sustainability**. Elsevier / Department of Psychology, University of Wisconsin - Madison, 1202 W. Johnson St., Madison WI 53706, USA, 2021. Disponível em: <<https://psych.wisc.edu/Brauer/BrauerLab/wp-content/uploads/2014/04/Douglas-Brauer-2021.pdf>> Acesso em: 12 set. 2023.

BRUNDTLAND, GEO HARLEM. **Relatório Brundtland 1988** - Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>> Acesso em: 11 de jun 2023.

CHAPPIN E. J. L.; BIJVOET, X., OEI, A. Teaching sustainability to a broad audience through an entertainment game - The effect of Catan: Oil Springs. **Journal of Cleaner Production**. Volume 156, Pages 556-568, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/getaccess/pii/S0959652617307874/purchase>> Acesso em: 12 set. 2023.

DIAS, F. GENEBALDO. **Educação ambiental: princípios e práticas**. Edição 10. São Paulo: Editora Gaia, 2023.

EDUCA SC. COP 28: como aproveitar o evento para abordar as mudanças climáticas em sala de aula. Disponível em: <<https://educasc.com.br/formacao/cop-28-como-aproveitar-o-evento-para-abordar-as-mudancas-climaticas-em-sala-de-aula/>> Acesso em: 06 dez. 2023.

FADEL L. et al. **Gamificação na educação**. São Paulo: Pimenta Cultural, 2014. Disponível em: <http://www.pgcl.uenf.br/arquivos/gamificacao_na_educacao_011120181605.pdf> Acesso em: 12 set. 2023.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA (UNICEF). **Crianças, Adolescentes e Mudanças Climáticas no Brasil – 2022**. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/relatorios/criancas-adolescentes-e-mudancas-climaticas-no-brasil-2022>> Acesso em: 07 dez. 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

INSTITUTO Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Microdados do Censo Escolar da Educação Básica 2022**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/microdados/cento-escolar>> Acesso em: 11 de jun 2023.

IPSOS. **A new world disorder? Navigating a Polycrisis**. Ipsos Global Trends 2023. Disponível em: <<https://www.ipsos.com/pt-br/ipsos-global-trends-2023>> Acesso em 07. Dez 2023.

MYLONAS, G.; HOFSTAETTER J.; GIANNAKOS M., et. al. Playful interventions for sustainability awareness in educational environments: A longitudinal, large-scale study in three countries. **International Journal of Child-Computer Interaction**. Volume 35, 2023.

NAÇÕES UNIDAS (ONU) - **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>> Acesso em: 12 set. 2023.

NAÇÕES UNIDAS (ONU) - **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>> Acesso em: 12 set. 2023.

RABINOVICI A. et al. **Análise ambiental integrada em contextos de pandemia - O velho e o novo normal: aprendizados e reflexões sobre impactos socioambientais da Covid-19**. UNIFESP e Quipá Editora, Iguatu-CE, 2023.

RIBEIRO C. et al. **Concepções de educadores sobre a emergência da sustentabilidade desde a infância**. Centro de Investigação em Educação Básica, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2022. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/26551/1/Ribeiro%2c%20Azevedo%2c%20Rodrigues%20%26%20Mesquita.pdf>> Acesso em: 12 set. 2023.

ROBERTO, A. R. MICHELE; SANTIAGO S. GILBERTO; FERREIRA, G. GERALDO. A leitura na Educação Infantil: uma prática plural. **Revista Educação Pública**, v. 20, nº 40, 20 de outubro de 2020. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/20/40/a-leitura-na-educacao-infantil-uma-pratica-plural>> Acesso em: 20 nov. 2023.

SANTOS, A. D., STRADA F., BOTTINO A. Approaching Sustainability Learning Via Digital Serious Games, **IEEE Transactions on Learning Technologies**, vol. 12, no. 3, pp. 303-320, 1 July-Sept. 2019, doi: 10.1109/TLT.2018.2858770. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8417451>> Acesso em: 12 set. 2023.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). Educação para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: objetivos de aprendizagem. UNESDOC Digital Library. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252197>> Acesso em: 16 set. 2023.

VERDERIO, L.A.P. O desenvolvimento da educação ambiental na educação infantil: importância e possibilidades. **Revbea**, São Paulo, v.16, Nº 1: 130-147, 2021.