ENGENHARIA:
A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME IX



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

9ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

Copyright© 2024 por Editora Conhecimento Livre

9ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2024

197 f.: il
DOI: 10.37423/2024.edcl932
ISBN: 978-65-5367-499-8
Modo de acesso: World Wide Web
Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

https://doi.org/10.37423/2024.edcl932

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

MSc Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

MSc Rainei Rodrigues Jadejiski

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO
2024

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 6
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HUMANOS EM EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL
Milton Paulino da Costa Junior
Sayonara Maria de Moares Pinheiro
Vitor Rabbi Baldi
DOI 10.37423/240408858

CAPÍTULO 2 23
USO DE BIOCARVÃO NA REMOÇÃO DE COR NO TRATAMENTO DE EFLUENTE GRÁFICO VIA ELETROCOAGULAÇÃO
Luciano André Deitos Koslowski
Milena Cristofolini
Camila Schwarz Pauli
DOI 10.37423/240408901

CAPÍTULO 3 36
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO TAQUARAS (2022-2023), IBIRAMA SC BRASIL
Luciano André Deitos Koslowski
Jonathan Tenório de Lima
DOI 10.37423/240408902

CAPÍTULO 4 48
COMPARAÇÃO DE ALGORITMOS POR MÉTODOS NUMÉRICOS PARA OBTENÇÃO DA CINEMÁTICA INVERSA DE ROBÔ MANIPULADOR SCARA
Luiz Gustavo Rezende
Flávio Luiz Rossini
DOI 10.37423/240408906

CAPÍTULO 5 65
O CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO: UMA ABORDAGEM DO DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO
Leticia Col Debella Santos
DOI 10.37423/240408907

CAPÍTULO 6 76
DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO
Salatiel Santos De Santana
Diego Lopes Coriolano
Fábio Wendell da Graça Nunes
Bruno Santos Nascimento
Thiago de Santana Souza
DOI 10.37423/240408911

CAPÍTULO 7 100
ESTUDO DA CAPACIDADE DE GERA¸ÇÃO DE UM SISTEMA OFF - GRID
Anderson Santos Gomes
Diego Lopes Coriolano
Fábio Wendell da Gra¸ça Nunes
Bruno Santos Nascimento
Thiago de Santana Souza
DOI 10.37423/240408912

CAPÍTULO 8 124
A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NA AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO ESCOLAR
Everton Tavares Pinto
Diego Lopes Coriolano
Fábio Wendell da Graça Nunes
Bruno Santos Nascimento
Thiago de Santana Souza
DOI 10.37423/240408913

CAPÍTULO 9 158
ESTUDO DE CASO SOBRE A PROPOSIÇÃO DE UM POSICIONAMENTO ESTRATÉGICO PARA UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO DE SILOS E ARMAZÉNS
Luciana de Oliveira Lima
Caroline Dalla Lasta
Lorena Victória Januário Wosch
Cezar Augusto Romano
Rodrigo Eduardo Catai
DOI 10.37423/240408931

CAPÍTULO 10 176
IDENTIFICAÇÃO EM MALHA FECHADA DE SISTEMAS COM ATRASO CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DO ZERO DE PADÉ NO TRANSITÓRIO
Adhemar de Barros Fontes
Manoel de Oliveira Santos Sobrinho
Joselito dos Santos Lima
DOI 10.37423/240408933

Capítulo 1

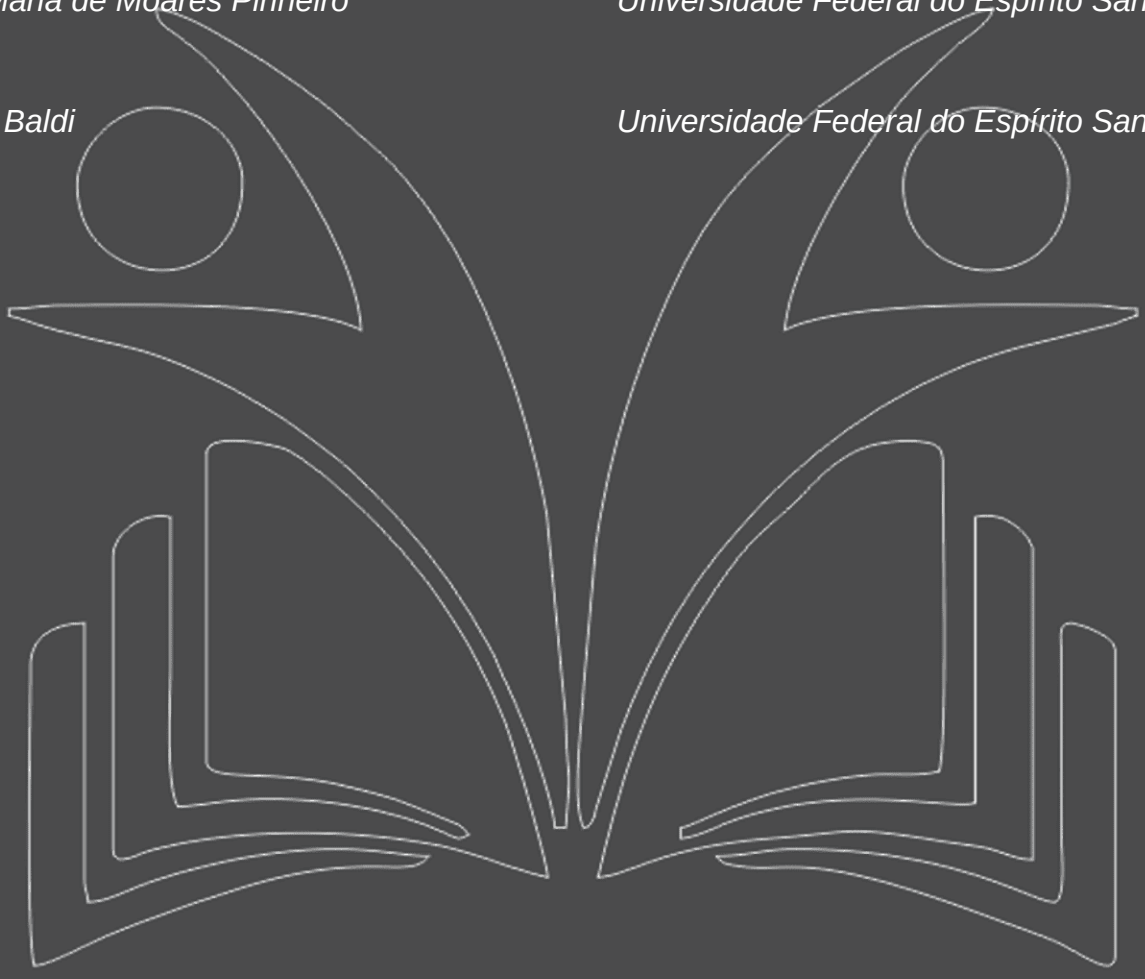
10.37423/240408858

GERENCIAMENTO DE RECURSOS HUMANOS EM EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Milton Paulino da Costa Junior — *Universidade Federal do Espírito Santo*

Sayonara Maria de Moares Pinheiro — *Universidade Federal do Espírito Santo*

Vitor Rabbi Baldi — *Universidade Federal do Espírito Santo*



Resumo: A indústria da construção civil é caracterizada pelo intenso uso de mão de obra em seus projetos, sendo empregadas pessoas com as mais variadas funções, níveis de escolaridade e perfis comportamentais. O objetivo deste trabalho é investigar como é abordado o gerenciamento dos recursos humanos em empresas de construção civil. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em empresas construtoras do Espírito Santo, voltadas para a construção de edifícios residenciais, analisando-se a forma como o gerenciamento de pessoas é desempenhado e as possíveis influências que ele pode representar no decorrer do projeto. O estudo utilizou o Guia PMBoK como referencial de boas práticas a serem empregadas na gestão de projetos. Considerando a pequena preocupação quanto ao desenvolvimento dos funcionários, a falta de importância quanto à documentação dos resultados obtidos nas etapas de gestão da equipe de projetos e a carência de atualizações dos métodos e processos empregados, foi possível constatar que no setor de construção civil do Espírito Santo ainda não há grande aplicação dos preceitos de gestão de projetos no gerenciamento de recurso humanos.

Palavras-chave: Gerenciamento de projetos, Recursos Humanos, construção civil, gestão de pessoas.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o mundo sofreu profundas transformações sociais, econômicas e culturais originadas principalmente pelas consequências da globalização, das redefinições geopolíticas e do avanço acelerado da tecnologia. Como consequência direta deste cenário de mudanças há o acirramento acentuado da concorrência no universo corporativo. Em vista disso, o aumento da produtividade passou a ser uma demanda primordial por parte das empresas (BIGÃO e MOURA, 2015).

Este cenário de mudanças também engloba o segmento da Construção Civil, que impulsionada pela aplicação de novos materiais, novas técnicas e equipamentos, busca otimizar o seu tempo de produção. Alguns fatores tornam-se críticos para o sucesso da organização conseguir se destacar frente às demais: a agilidade, a capacidade de adaptação, o poder de inovar e o potencial contínuo do aprimoramento de processos internos da empresa (PACHECO, 2005; MACÊDO, 2012). Neste intuito, em conjunto com as inovações tecnológicas construtivas, as empresas do setor têm aplicado em seus projetos novas metodologias de gestão, a fim de alcançar uma maior competitividade (POLITO, 2010; SILVA, 2018).

No intuito de servir de direção para as boas práticas de gestão de projetos, tem-se o guia PMBoK (A Guide to the Project Management Body of Knowledge) pelo Project Management Institute (PMI), o qual é aceito como uma base do conhecimento de gerenciamento de um projeto, que conceitualmente é um esforço com início e término definidos voltado para a criação de um produto, serviço ou resultado exclusivo (PMI, 2013).

Gerenciar um projeto é assegurar também que ele seja planejado em todas as suas fases, emitindo, através de mecanismos de controle, uma vigilância contínua onde os impactos de prazos e/ou custos sejam analisados e projetados para um horizonte de curto e médio prazos, possibilitando antecipar decisões gerenciais que garantam a execução do projeto no curso desejado. Desta forma, a gestão de projetos tem como objetivo, através do gerenciamento adequado dos recursos envolvidos, como o tempo, financeiro, material e humano, realizar o produto desejado, no caso da construção civil, a conclusão da obra (LIMMER, 1997; MELO, 2011).

Neste contexto, mesmo com todos os avanços, o setor ainda se caracteriza pelo uso extenso da sua mão de obra, sendo boa parte dos processos envolvidos realizados de forma manual, não havendo muito espaço para automatização. Desta forma, devido a maior dificuldade em se manter um padrão de excelência em serviços manuais, o fator crítico na busca do sucesso do projeto muitas vezes é o

humano. Assim, um bom gerenciamento da mão de obra é fundamental para empresas que buscam ganhar competitividade em um mercado tão concorrido (TERRA, 2017).

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa se refere a um estudo de caso realizado com empresas de construção civil situadas nos municípios da Grande Vitória no Espírito Santo, envolvendo as etapas descritas a seguir.

Primeiramente foi realizado uma revisão bibliográfica, relativa aos temas pertinentes da pesquisa. A seguir foi feita a seleção das empresas objeto do estudo de caso, sendo utilizados como critérios para escolha:

- A área de atuação (todas as empresas abordadas atuantes no seguimento de construção de edifícios residenciais como construtoras ou incorporadoras),
- Representatividade dessas empresas em um cenário estadual. Para isto foram selecionadas as organizações constantes nas últimas duas publicações do Censo Imobiliário do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Espírito Santo (SINDUSCON-ES), e estando entre as construtoras com mais unidades residenciais produzidas em todas as publicações, divulgadas em março de 2017, e agosto de 2018.

Estes critérios foram estabelecidos no intuito de esboçar um panorama de como ocorre o gerenciamento de pessoas nas principais empresas de construção civil do Espírito Santo e sua adesão aos métodos de gestão de projetos proposto pelo Guia PMBoK.

Foram entrevistadas 10 empresas construtoras e incorporadoras, representando 26% de um universo de 38 empresas, de acordo com relação disponibilizada pelo SINDUSCON-ES. Desta forma, tanto a quantidade de empresas abordadas, quanto as suas características foram consideradas no intuito de alcançar uma amostragem com um máximo de representatividade das empresas construtoras do Espírito Santo. A quantidade também foi definida em função da quantidade de empresas que se disponibilizaram a participar da pesquisa.

Após definição das empresas, foram realizadas entrevistas com funcionários dos setores de recursos humanos, sendo abordados aspectos gerais da empresa, como número de funcionários, quantidade de obras em andamento, e aspectos específicos sobre como é administrada a gestão de pessoas, como processos de seleção e recrutamento, políticas de promoção e recompensas, práticas para motivar os

funcionários, dentre outros temas relacionados. As entrevistas foram realizadas em visitas presenciais às empresas, ou através de ligações telefônicas com os funcionários dos setores em questão.

A próxima fase consistiu em visitas as obras das empresas presentes na pesquisa, a fim de se realizar entrevistas com o engenheiro responsável, no intuito de compreender os aspectos técnicos e operacionais sobre a gestão da mão de obra dentro do projeto/obra. Nestas entrevistas foram abordados aspectos como elaboração de plano de gerenciamento de recursos humanos, avaliações de desempenho, desenvolvimento dos funcionários, metas e recompensas, entre outros tópicos.

Após a realização da pesquisa, a última etapa foi a interpretação e análise dos resultados. Os dados levantados foram comparados com as orientações obtidas através da revisão bibliográfica, analisando os aspectos positivos e negativos da gestão de recursos humanos nas empresas estudadas.

Os resultados da pesquisa foram analisados com base no conhecimento adquirido através da revisão bibliográfica e estão apresentados em forma de gráficos de barra, sendo que o eixo das abscissas representa as opções de documentos, estratégias ou métodos aplicados pelas empresas entrevistadas em cada processo da gestão de recursos humanos e o eixo das ordenadas representa, em uma amostragem de 10 empresas abordadas, quantas aplicam cada um destes fatores em sua prática de gestão de pessoas. Por fim, através de todos os dados levantados, foi traçado um panorama sobre a tendência de gestão aplicada no Espírito Santo, analisando a forma como o contexto socioeconômico atual pode ter influenciado nas práticas aplicadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A exposição dos dados levantados na pesquisa está dividida segundo os processos de gestão de recursos humanos, do guia PMBoK, a fim de auxiliar a compreensão sobre como é realizada a gestão de pessoas no contexto de gestão de projetos.

4.1 PLANEJAMENTO DA EQUIPE DE PROJETO

O planejamento tem o objetivo de prever os requisitos de funções da empresa, expressando em termos de números e tipos de recursos humanos necessários (LOBOS, 2019). Planejar a equipe de projeto trata-se de identificar e documentar as demandas de recursos humanos do empreendimento, definindo os papéis, responsabilidades, habilidades necessárias, hierarquia, entre outros fatores.

As entradas para o planejamento da equipe de projeto são as informações e fatores que devem ser consideradas na realização deste processo. Estas entradas podem tratar-se de conhecimentos técnicos

que devem ser considerados, como informações específicas do projeto a ser executado ou fatores próprios da empresa que podem influenciar os processos de gestão da equipe de projeto.

As empresas foram questionadas sobre quais as entradas consideradas para desenvolver o planejamento da equipe de projeto. As informações obtidas encontram-se na Figura 1, ordenadas pela frequência com que são utilizadas.

Figura 1 - Planejamento da equipe – Entradas.



Fonte: Autores.

É possível observar que em 100% das empresas pesquisadas, as definições das atividades, os requisitos necessários para sua realização e o ciclo de vida do projeto são indispensáveis para planejar a equipe, sendo resultados coerentes com a natureza do processo de planejamento da equipe, pois, segundo o Guia PMBoK (PMI, 2013), ao se realizar o planejamento dos recursos humanos deve-se primeiramente conhecer as atividades e detalhes do projeto. Tendo conhecimento das atividades, seus requisitos e o ciclo de vida, é possível definir a quantidade de funcionários de cada cargo a serem empregados em cada etapa do desenvolvimento do empreendimento.

Descritos como conhecimentos que foram obtidos em empreendimetos anteriores e auxiliam no desempenho dos processos de gestão de pessoas, os ativos de processos organizacionais representam, no contexto do planejamento de projeto, práticas que foram incorporadas pelas empresas para aprimorar o processo de planejamento em relação aos resultados obtidos anteriormente (RAJ et al., 2007).

Nota-se que 40% das empresas afirmaram que o planejamento da equipe de projetos é influenciado por ativos de processo organizacionais. De acordo com estas empresas, os ativos de processos organizacionais utilizados se referem a atualizações na descrição dos papéis e alterações nas composições das equipes para desempenho de atividades específicas. A contribuição dos ativos de processos organizacionais demonstra amadurecimento da empresa em relação ao gerenciamento de projetos, pois, de acordo com o Guia PMBoK (PMI, 2013), estes ativos são sobretudo fatores que ajudam a gestão, representando lições aprendidas, convertidas em novos conhecimentos a serem aplicados.

Também é possível destacar que apenas 40% das empresas afirmaram que o planejamento de recursos humanos leva em conta as técnicas construtivas a serem empregadas. Isto representa grande padronização dos métodos de construção, pois, havendo poucas variações das técnicas empregadas em diferentes projetos, podem ser mantidos os padrões de equipes de trabalho utilizados.

Por fim, apenas 10% das empresas afirmaram que fatores ambientais da empresa influenciam o planejamento. Os fatores em questão trata-se de políticas de administração pessoal e cultura da organização. Os fatores ambientais são fatores próprios da organização que interferem na gestão de pessoas, a influenciando positiva ou negativamente (RAJ et al., 2007; SILVA, 2018).

Quanto as saídas do planejamento, o principal resultado do processo de planejamento da equipe é o plano de gerenciamento dos recursos humanos. As empresas foram questionadas a respeito de quais informações são documentadas, compondo os seus planos de gerenciamento, estando o resultado presente no gráfico da Figura 2.

Figura 2 - Planejamento da equipe de projeto – Saídas.



Fonte: Autores.

É possível observar que em 90% das empresas é realizada a documentação dos papéis a serem desempenhados no projeto, assim como o calendário de recursos. Este último representa a programação da aplicação da mão de obra no projeto. São duas informações de grande relevância pois representam as funções a serem assumidas, em quais etapas do projeto e quais funções serão desempenhadas. Também se nota que 50% das empresas afirmaram constar em seu planejamento de recursos humanos um plano com os parâmetros definidos para aplicação de recompensas. As empresas que utilizam organogramas de projeto como ferramenta para o planejamento, afirmaram atualizá-los após o término do planejamento, contendo informações particulares do projeto em questão.

Documentados com menos frequência estão as definições de autoridade dos cargos do projeto (direitos de tomar decisões, assinar aprovações, entre outros), plano de liberação dos funcionários, detalhando o momento e o método para liberar os membros da equipe, plano de mobilização dos funcionários, detalhando os métodos de contratação, políticas e procedimentos contra riscos de segurança e para cumprimento de políticas de recursos humanos estabelecidas, como regulamentações governamentais ou contratos sindicais.

Alguns tópicos do plano de gerenciamento de recursos humanos presentes no PMBoK não são documentados em nenhuma das empresas entrevistadas, tais como necessidades de treinamento, responsabilidades e competências dos cargos planejados (PMI, 2013).

Nesse contexto, é possível observar que o processo de planejamento dos recursos humanos em grande parte das empresas citadas ainda possui pouca convergência com as diretrizes de gestão de projetos. Isto se observa no número pequeno de empresas que aplicam seus ativos de processos organizacionais no planejamento, que se utilizam de outras estratégias além de opiniões especializadas, e que documentam em seus planos de gerenciamento de recursos humanos informações além de papéis e calendários de recursos.

4.2 MOBILIZAÇÃO DA EQUIPE

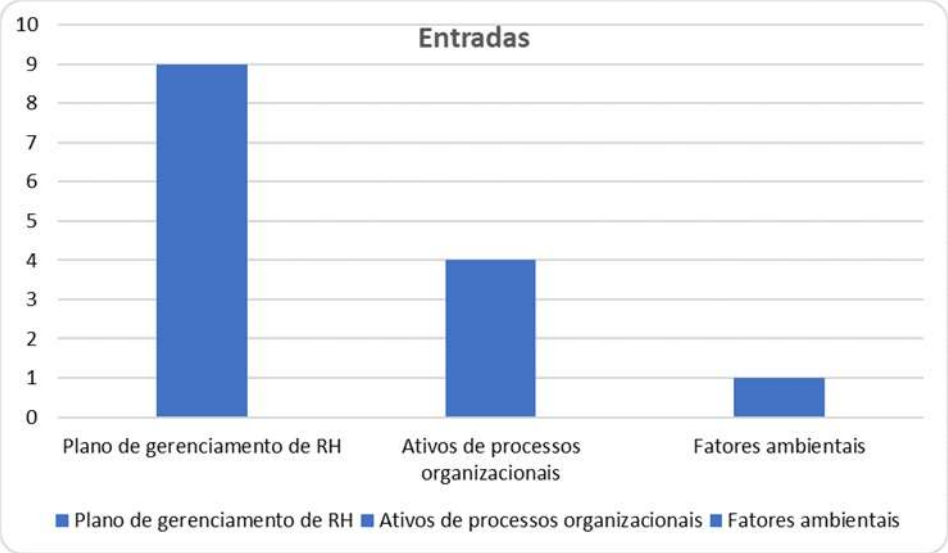
O processo de mobilização da equipe representa a obtenção do time necessário à realização das atividades do projeto, sendo crucial para o seu êxito, uma vez que as habilidades individuais se tornam fatores críticos de sucesso (GIL, 2006; MELO, 2011).

Tomando como base as diretrizes apresentadas pelo Guia PMBoK, na Figura 3 encontram-se as informações que as empresas julgaram ser fundamentais para a mobilização da equipe de projeto.

Como pode-se observar em 90% das empresas pesquisadas, as informações documentadas na etapa de planejamento de recursos humanos (formando o plano de gerenciamento de recursos humanos) são levadas em consideração no processo de mobilização. Dentre as informações presentes no planejamento que auxiliam este processo destacam-se as definições de papéis e o calendário dos recursos (MELO, 2011; DUTRA, 2012).

Relevantes em 40% das empresas, os ativos de processos organizacionais aplicados ao processo de mobilização da equipe de trabalho de 40% das empresas são procedimentos específicos desenvolvidos por cada empresa para realização do recrutamento e seleção dos funcionários.

Figura 3 - Mobilização da equipe – Entradas.



Fonte: Autores.

Apenas 10% das empresas pesquisadas afirmaram que os fatores ambientais interferem no processo de mobilização da equipe. Os fatores ambientais relevantes são as políticas específicas de administração de pessoal.

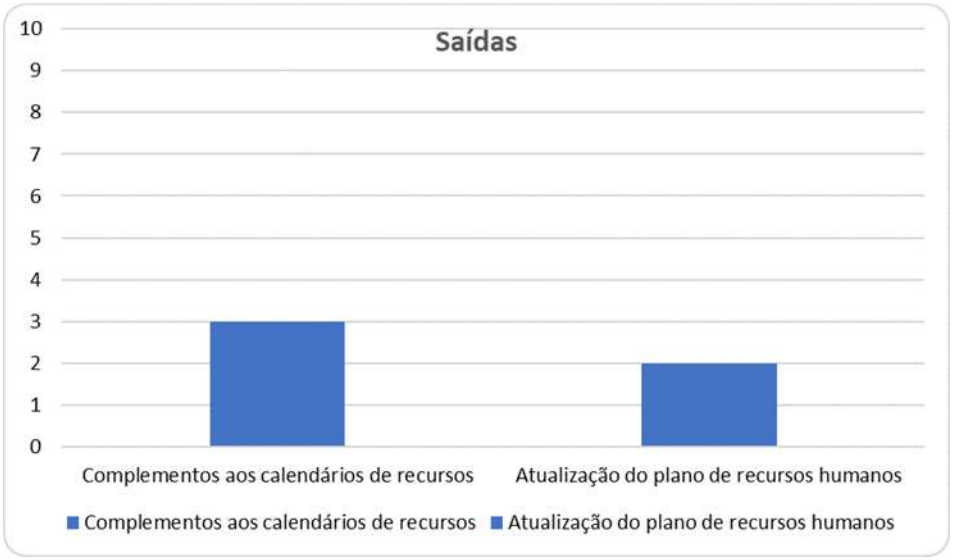
Ao término do processo de mobilização da equipe têm-se como resultado principal a definição das pessoas que desempenharão os papéis planejados para execução do projeto. Todavia, outros resultados obtidos neste processo podem ser documentados, como complementos dos calendários de recursos e atualizações do plano de recursos humanos, principalmente quando o processo de mobilização diverge em alguns pontos do planejamento de recursos humanos inicial (DUTRA, 2001; MELO, 2011). Tendo isto em mente, as empresas foram questionadas sobre quais os demais resultados

da mobilização da equipe são documentados, estão os dados obtidos presentes no gráfico da Figura 4.

Observa-se inicialmente que em grande parte das empresas nenhum documento do planejamento de recursos humanos é atualizado ao término do processo de mobilização da equipe de projeto.

Conforme pode-se verificar, em apenas 30% das empresas os calendários de recursos sofrem complementações após a definição do pessoal da equipe de projeto e em apenas 20% o plano de recursos humanos sofre atualização após a conclusão da seleção. Dentre os complementos dos calendários de recursos estão os períodos de atuação de cada membro da equipe no projeto, além de definir datas de férias e compromissos com outros projetos. As atualizações feitas no plano se referem em sua maioria a imprevistos ocorridos durante a etapa de mobilização que interferem no andamento previsto. Nestes casos, de acordo com as empresas abordadas, é realizada atualização a fim de mudar a estrutura da equipe.

Figura 4 - Mobilização da equipe – Saídas.



Fonte: Autores.

Na pesquisa pode-se verificar que o atual cenário de crise econômica tem afetado o processo de recrutamento das empresas. Elas informaram que há grande oferta de profissionais qualificados no mercado, havendo baixa ou nenhuma necessidade de realizar recrutamentos externos, por meio de anúncios.

Também é possível verificar baixa preocupação das empresas em atualizar os documentos realizados na etapa de planejamento com os resultados obtidos durante o processo de mobilização, mesmo que

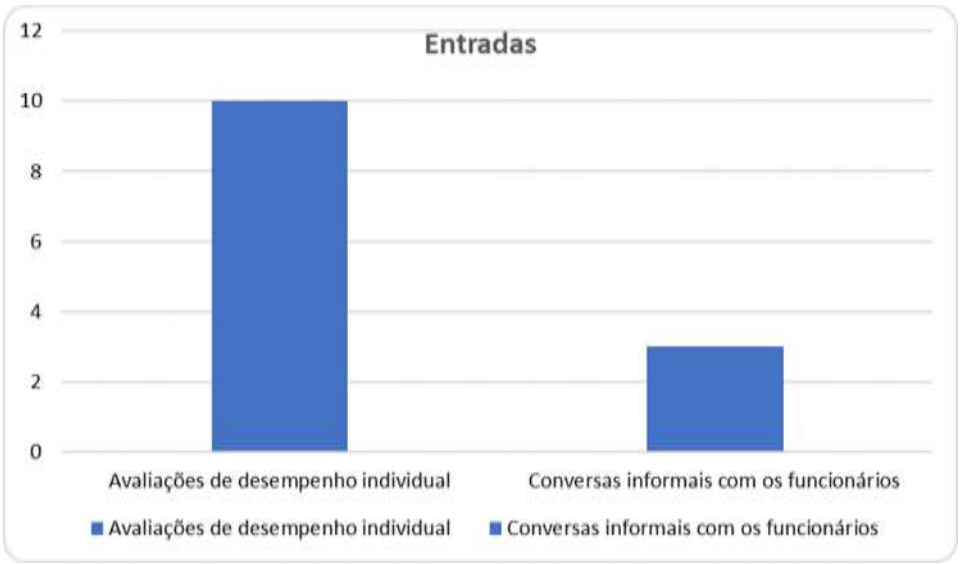
ele não siga conforme o plano de recursos humanos inicial. Adiante, ao se abordar os resultados obtidos no processo de desenvolvimento das equipes, observa-se que a maior parte das empresas não realizam treinamentos, palestras ou outras atividades para desenvolvimento dos funcionários. Este é um dos motivos para o baixo número de empresas que complementam os seus calendários de recursos com informações individuais de disponibilidade dos funcionários.

4.3 DESENVOLVIMENTO DA EQUIPE

Trata-se do processo de melhorar as competências dos membros da equipe e aprimorar suas habilidades interpessoais e motivações. De acordo com Melo (2011), os projetos são realizados por pessoas, e quanto melhor elas desempenharem as suas funções e trabalharem juntas, mais eficiente será a execução do projeto.

Durante o processo de desenvolvimento o engenheiro responsável e sua equipe têm as funções de identificar, construir, manter, motivar, inspirar e liderar os membros da equipe de projeto (PMI, 2013). Trata-se de um processo de caráter contínuo ao longo da execução do projeto. Neste sentido, as empresas foram questionadas de que forma são obtidas as informações necessárias à liderança do projeto para identificar os pontos a serem desenvolvidos e aprimorados, estando os dados obtidos apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Desenvolver a equipe – Entradas.



Fonte: Autores.

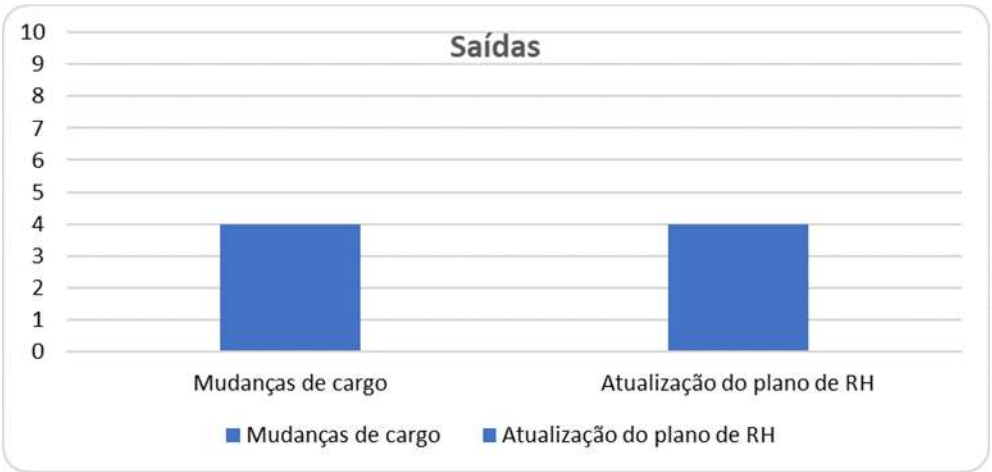
Como pode-se observar, 100% das empresas direcionam as práticas de desenvolvimento da equipe de projeto em função dos resultados obtidos pelas avaliações de desempenho individuais dos

funcionários da equipe. Trata-se de um método condizente com as diretrizes estabelecidas pelo PMBoK, pois havendo distinções entre os resultados obtidos pelos funcionários em relação às metas estabelecidas, são identificados os pontos a serem desenvolvidos (PMI, 2013). Enquanto isso, 30% afirmam também se utilizam de conversas informais com os funcionários para identificar conflitos particulares de cada um, identificando possíveis abordagens. Estas informações são importantes para o desenvolvimento de um relacionamento de confiança e cooperação na equipe de projeto.

Nesta etapa as empresas foram questionadas a respeito dos possíveis resultados do processo de desenvolvimento dos funcionários que são documentados. Os dados obtidos encontram-se na Figura 6.

Dentre as empresas da pesquisa, 40% informaram que um dos possíveis resultados do processo de desenvolvimento é a alteração de cargo dos funcionários. Segundo eles isto ocorre quando os funcionários não atendem às metas de produtividade estipuladas para as suas atividades. Trata-se de uma alternativa à demissão. Também 40% das empresas citadas informaram que qualquer alteração produzida no processo de desenvolvimento da equipe de projeto é documentada no planejamento dos recursos humanos.

Figura 6 - Desenvolver a equipe – Saídas.



Fonte: Autores.

Alguns possíveis resultados sugeridos pelas diretrizes de gestão de projetos, como as evoluções dos funcionários, que possibilitam atualizar os processos de treinamento, acompanhamento e demais fatores ambientais da empresa (RAJ et al, 2007; MELO, 2011), não são documentados por nenhuma empresa.

É possível constatar baixo investimento por parte das empresas no que se refere ao desenvolvimento e motivação dos funcionários, pois métodos como aplicação de recompensas e promoção de palestras e treinamentos são todos utilizados por menos de 50% das construtoras abordadas na pesquisa. Estes dados são consequência da grande oferta de profissionais capacitados disponíveis no mercado, ocasionando um cenário onde é melhor desligar e substituir um funcionário que apresente resultados inadequados que investir no desenvolvimento dele. Os resultados também refletem a redução orçamentária dos projetos desenvolvidos pelas empresas, sendo reportado por algumas que atividades motivacionais como confraternizações ou palestras periódicas deixaram de ser executadas devido a implementação de cortes de gastos.

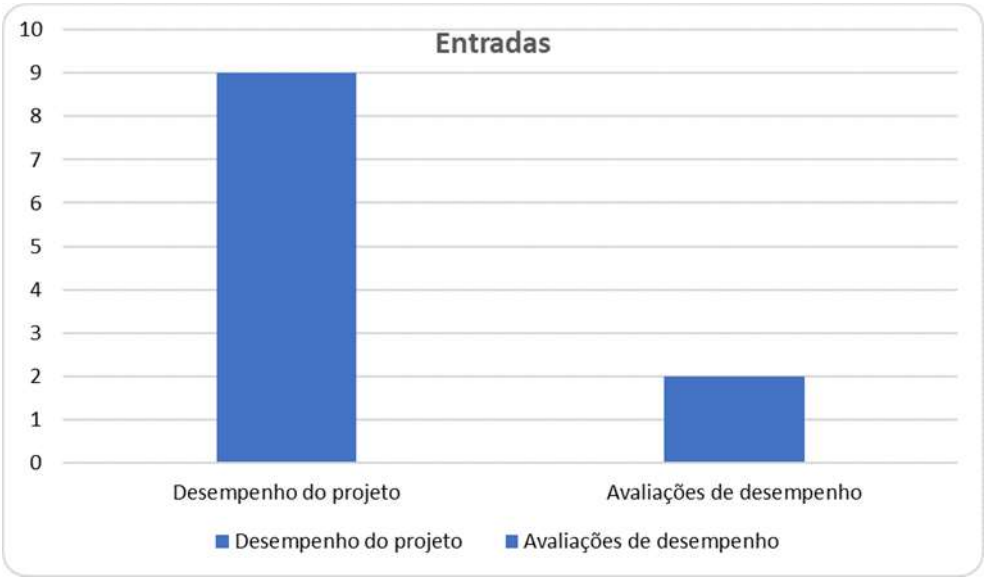
4.4 GERENCIAMENTO DA EQUIPE

Trata-se do processo de acompanhar o desenvolvimento da equipe, resolvendo problemas e gerenciar mudanças. Conforme Raj et al. (2007) é o momento de acompanhar e gerenciar o desempenho da equipe, ponde em prática o que foi definido no plano de gerenciamento de recursos humanos.

Foi questionado às empresas pesquisadas quais os principais fatores considerados no processo de gerenciar a equipe do projeto, estando as respostas representadas na Figura 7.

Conforme observado, 90% das empresas apontaram o desempenho do projeto como fator de influência do projeto de gerenciamento da equipe, enquanto 20% afirmou levar em consideração as avaliações de desempenho dos funcionários. Conhecendo o desempenho atual do projeto é possível identificar os fatores críticos a serem aprimorados, por isto trata-se de uma informação tão relevante neste processo. As avaliações de desempenho são relevantes pois fornecem um relatório contínuo do rendimento dos membros da equipe. Desta forma é possível identificar possíveis problemas coletivos ou individuais e solucioná-los da forma mais efetiva (PMI, 2013).

Figura 7 - Gerenciar a equipe – Entradas.



Fonte: Autores.

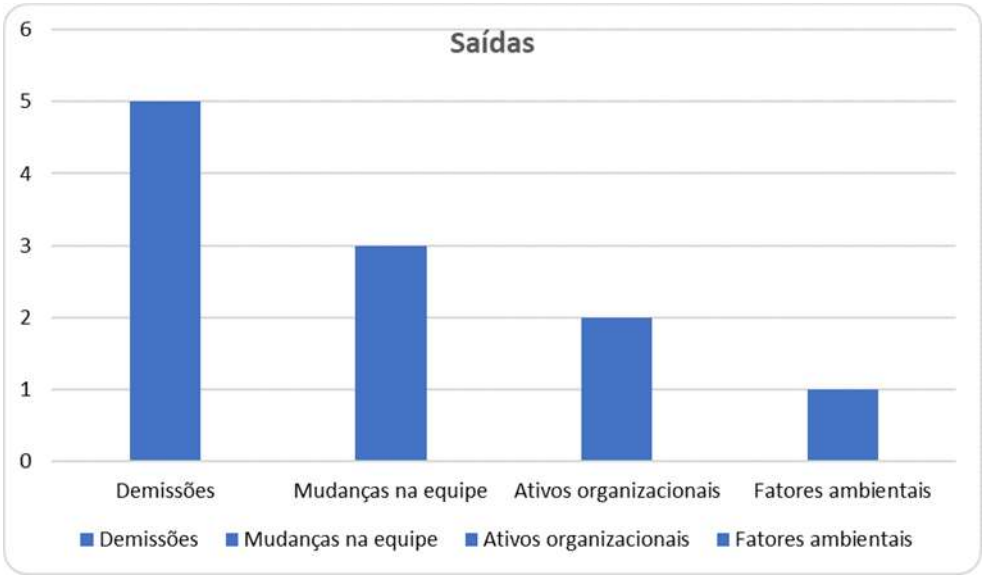
O PMBoK sugere outras possíveis entradas para o processo de gerenciamento que nenhuma empresa entrevistada aplica em seus projetos, a saber, registro das questões e conflitos, e ativos de processos organizacionais, em especial certificados de reconhecimentos (PMI, 2013).

Como conclusão do processo de gerenciamento, as empresas entrevistadas responderam quais as possíveis saídas obtidas em seus projetos e quais os pontos são documentados. Os pontos levantados estão apresentados através da Figura 8.

Inicialmente, destaca-se que 50% das empresas afirmaram não tolerar problemas reincidentes de desempenho dos funcionários, sendo o desligamento do funcionário uma alternativa prioritária ao investimento para melhoria de seus resultados. Em 30% das empresas são realizadas mudanças na equipe em caso de baixo desempenho, transferindo funcionários para outras tarefas.

Se tratando do processo de gerenciamento de recursos humanos, os ativos organizacionais são constantemente se trata especialmente dos modelos de equipes e práticas de gestão dos funcionários. De acordo com a pesquisa, estes ativos organizacionais são atualizados em 20% das empresas. Já os fatores ambientais relacionados ao gerenciamento dos recursos humanos se referem a comentários para avaliação de desempenho geral do projeto, conforme sugerido pelo PMBoK (PMI, 2013). Estes fatores são atualizados em 10% das empresas entrevistadas.

Figura 8 - Gerenciar a equipe – Saídas.



Fonte: Autores.

De forma semelhante aos resultados anteriores, é possível observar que dificilmente os processos realizados pelas empresas sofrem atualizações, sendo sempre mantidas as práticas, métodos e estruturas previamente estabelecidos, o que se reflete no baixo número de atualizações de ativos organizacionais e fatores ambientais. De acordo com o Guia PMBoK (PMI, 2013), a atualização dos processos e métodos aplicados no gerenciamento dos recursos humanos representa maturidade da gestão de projetos da organização. Portanto, a resistência quanto à documentação dos resultados e à atualização dos processos apresenta um obstáculo quanto a aplicação das diretrizes de gestão de projetos.

Assim como nos resultados referentes ao desenvolvimento das equipes, se constata uma baixa preocupação em relação a manter os funcionários no projeto, sendo que em 50% das empresas a demissão dos funcionários é vista como uma solução prioritária para o problema de baixa produtividade, mesmo considerando os custos de recrutamento e seleção e de se manter a equipe temporariamente com um membro a menos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do apresentado neste trabalho, pode-se constatar que, apesar da competitividade presente na indústria da construção civil impulsionar uma busca constante de melhorias, como aplicações de novos materiais, novas técnicas e equipamentos, nota-se que este mesmo empenho pela evolução não se aplica quanto ao desenvolvimento da gestão de seus recursos humanos.

Por meio do estudo de caso realizado, foi possível observar que, em geral, os funcionários do setor da construção civil ainda são tratados como recursos ou ferramentas para execução do projeto e não como colaboradores, conforme recomenda Chiavenato (2014). Isto pode ser constatado pelo baixo investimento das empresas em práticas para o desenvolvimento e motivação dos funcionários, como treinamentos, atividades em grupo, confraternizações e planos de recompensas. Destaca-se o pequeno esforço das empresas em manter os funcionários no projeto, sendo que em 60% opta-se pela substituição ao desenvolvimento dele. Desta forma, necessidades pessoais dos funcionários como autorrealização, autoestima no trabalho, são ignoradas. Assim, a sua produtividade estará sempre limitada, em função das insatisfações afetarem sua motivação.

Constatou-se também resistência à adoção de diretrizes da gestão de projetos no seu gerenciamento de recursos humanos. Conforme visto, em cada etapa da gestão dos recursos humanos, no máximo 40% das empresas atualizam seus processos de gestão de pessoas à medida que se identificam possíveis melhorias. É notável que muitas empresas se sentem confortáveis quanto aos métodos e práticas já padronizados, confiantes quanto aos procedimentos empregados e satisfeitos quanto aos resultados obtidos. Isto se observa no fato de apenas 50% das empresas são realizadas reuniões do pessoal de liderança para realização do planejamento de suas equipes, confiando apenas na experiência do engenheiro responsável para definir todo o quadro de funcionários a ser empregado e na pequena quantidade de informações documentadas ou atualizadas ao longo do processo de gestão da equipe, dispensando, assim, a possibilidade de utilizá-las como parâmetros para melhorias em projetos futuros.

Por fim, pode-se verificar a influência da crise econômica nos processos de gerenciamento de recursos humanos das empresas construtoras. Esta influência pode ser notada pelo grande número de empresas que conseguem cumprir suas demandas de contratação apenas realizando recrutamentos internos (indicações). Também se nota através da baixa preocupação das empresas em desenvolver seus funcionários e mantê-los no projeto. Isto ocorre devido à grande oferta de profissionais habilitados disponíveis no mercado.

Isso exposto, conclui-se que quanto ao gerenciamento dos recursos humanos em empresas de construção civil do Espírito Santo, ainda há pouca adesão às diretrizes de gestão de projetos expostas pelo PMBOK, devido as poucas as práticas e técnicas empregadas, ao baixo empenho no desenvolvimento dos funcionários, dando pouca importância ao desenvolvimento dos trabalhadores e na documentação de parâmetros e resultados para aplicação de possíveis melhorias.

REFERÊNCIAS

BIGÃO, F.; MOURA, M. Fundamentos da Gestão de Projetos, 2015. Disponível em: https://amauroboliveira.files.wordpress.com/2015/11/ebook-fgp-v2.pdf. Acesso em 27/05/2019

CHIAVENATO, I. Gestão de pessoas: O novo papel dos recursos humanos nas organizações. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

DUTRA, J. S. Gestão por competências: um modelo avançado para o gerenciamento de pessoas. São Paulo: Gente, 2001.

DUTRA, Joel Souza. Gestão de pessoas: modelo, processos, tendências e perspectivas. São Paulo: Atlas, 2012.

GIL, Antônio Carlos. Gestão de Pessoas: enfoque nos papéis profissionais. São Paulo: Atlas, 2006.

LIMMER, Carl Vicente. Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 225p.

LOBOS, Julio. Administração de Recursos Humanos. São Paulo: Atlas, 2019.

MACÊDO, Ivanildo Izaias de et al. Gestão de Pessoas, série gestão empresarial. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2012.

MELO, Maury. Gerenciamento de Projetos para Construção Civil. Rio de Janeiro: Brasport, 2011.

PACHECO, L. Capacitação e desenvolvimento de pessoas. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

POLITO, G. Gerenciamento de projetos na construção civil predial – uma proposta de modelo de gestão integrada. In: Palestra para PMI-SP, São Paulo, 2010.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, INC. Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (GUIA PMBOK®). 5.ed. Newtown Square, Pennsylvania: PMI, 2013.

RAJ, Paulo Pavarini et al. Gerenciamento de Pessoas em Projetos. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2007.

SILVA, Anna Karollyne Fagundes da. Análise de práticas de gestão de pessoas na construção civil. 2018. 78 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018

TERRA, Mateus Marcelino. Gestão de pessoas na construção civil: Aspectos metodológicos e práticos. 2017. 159 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Ganeiro, 2017.

Capítulo 2

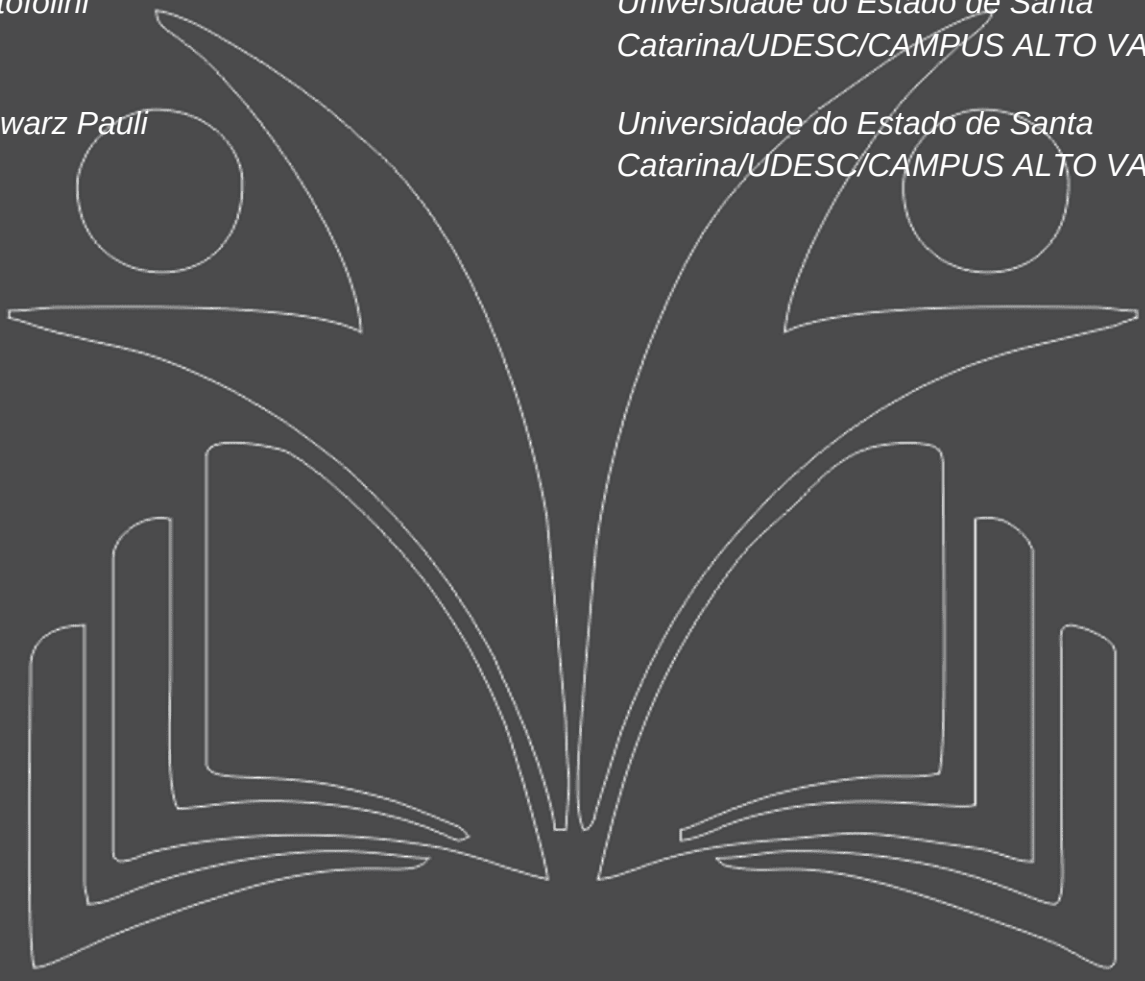
10.37423/240408901

USO DE BIOCARVÃO NA REMOÇÃO DE COR NO TRATAMENTO DE EFLUENTE GRÁFICO VIA ELETROCOAGULAÇÃO

Luciano André Deitos Koslowski — *Universidade do Estado de Santa Catarina/UDESC/CAMPUS ALTO VALE*

Milena Cristofolini — *Universidade do Estado de Santa Catarina/UDESC/CAMPUS ALTO VALE*

Camila Schwarz Pauli — *Universidade do Estado de Santa Catarina/UDESC/CAMPUS ALTO VALE*



Resumo: A indústria gráfica da região do Alto Vale do Itajaí no Estado de Santa Catarina apresenta expressivo número de empresas com processos e equipamentos antigos relacionados a problemas ambientais com os efluentes provenientes da pré-impressão da tinta gráfica. Não obstante, o processo de eletrocoagulação é caracterizado por reações eletrolíticas na superfície dos eletrodos e formação de coagulantes na fase aquosa apresentando vantagens relevantes devido aos efeitos combinados do processo: neutralização de carga, complexação da superfície, a adsorção in situ que forma hidróxidos de metais produzidos pela oxidação e corrosão dos anodos (Fe, Al) e os efeitos combinados da flotação/concentração/coleta de flocos de hidróxidos de metais e a adsorção dos poluentes pelas bolhas de gás de hidrogênio formadas no catodo. Neste contexto, este estudo teve por objetivo avaliar a remoção de Demanda Química de Oxigênio do efluente proveniente de uma indústria gráfica em um reator batelada, empregando o processo de eletrocoagulação seguido de filtração empregando biocarvão (BC). Estratégias operacionais foram determinadas para o processo de eletrocoagulação a fim de investigar os efeitos da intensidade de corrente (1, 2 e 3 A) e tempo de eletrólise (20, 30 e 40 min) mantendo uma distância inter-eletrodo de 6 cm. Os resultados apresentados apontam uma redução da cor do do efluente gráfico de na ordem de 35,5 mg Pt L^{-1} do efluente bruto para 5 mg Pt L^{-1} via EC/BC.

Palavras-chave: eletrocoagulação, efluente gráfico, biocarvão, DQO.

1. INTRODUÇÃO

A importância da preservação dos recursos hídricos tem resultado na aplicação de tecnologias, tais como o uso de materiais nanoestruturados, para minimizar o impacto associado à contaminação da água (KOSLOWSKI et al., 2018). A qualidade das águas está fundamentalmente associada à interferência de poluentes nos recursos hídricos, de forma que a degradação da qualidade da água de um corpo receptor limita sua utilização (LACH et al., 2020). A água apresenta relevante importância como meio de sobrevivência para os animais, sendo primordial a aplicação de técnicas de tratamento adequadas, visto que os efluentes gerados pelas diversas indústrias apresentam diferentes composições físicas, químicas e biológicas, variações de volumes gerados em relação ao tempo de duração do processo produtivo e potencialmente tóxico dependendo do processo produtivo.

Neste ínterim, a indústria gráfica presente em materiais impressos na forma de embalagens, papel de parede, jornais, revistas, catálogos, brochuras, revistas, etiquetas, cartazes entre outros produtos, apresenta um portfólio de serviços diversificado e considerável. Entretanto, os seus efluentes, são constituídos por componentes não-biodegradáveis, pigmentos, adesivos, corantes, plastificantes e alta concentração de demanda química de oxigênio (DQO), mas a concentração desses componentes varia conforme as técnicas utilizadas para a geração da tinta (SAFWAT, 2020). As águas residuárias proveniente da tinta de impressão da indústria gráfica apresenta em sua composição complexa mistura de corantes e pigmentos diluídos na água, de elevada carga orgânica e pronunciada coloração (SAFWAT, 2020; METES et al., 2004).

A eletrocoagulação (EC) é uma técnica que vêm sendo utilizada para o tratamento de efluentes domésticos, industriais e agroindustriais (MOUSAZADEH et al., 2021), entretanto existem poucos estudos na literatura em relação a sua aplicação no tratamento de águas residuárias da indústria gráfica. O processo de EC apresenta um conjunto operacional simplificado, mas bastante eficiente, não empregando produtos químicos, gera pouco lodo e apresenta custo bastante competitivo quando comparado com os tratamentos convencionais (MAGNISALI et al., 2022). O processo de EC envolve três etapas, onde todas ocorrem in situ: (a) formação do coagulante pela oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício; (b) desestabilização dos contaminantes, suspensão das partículas e quebra de emulsões; (c) agregação das fases desestabilizadas para formar os flocos (SHOKRI; FARD, 2021). Do mesmo modo, a água também é eletrolisada em uma reação paralela, produzindo pequenas bolhas de oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo. As bolhas formadas permitem atrair as partículas

floculadas e, por meio de flutuação natural, os poluentes floculados se deslocam por flotação até a superfície (SHOKRI; FARD, 2021).

Em face da preocupante poluição e contaminação observada nos recursos hídricos, torna-se importante o desenvolvimento tecnologias econômicas baseadas em materiais de baixo custo. Diante do exposto, pesquisas recentes demonstram a aplicação do Biocarvão (BC), como material adsorvente com propriedades que provocam impactos reduzido ao meio ambiente (*eco-friendly*), apresentando presença significativa de grupos funcionais e espécies de materiais inorgânicos, com estruturas micro e/ou meso-porosas e de elevada capacidade de adsorção, com ampla aplicação na remoção de contaminantes presentes nas águas residuais (LIANG et al., 2021; HU et al., 2020). O biocarvão apresenta vantagens econômicas, pelo fato de permitir sua reutilização como um resíduo de biomassa, minimizando os impactos de sua disposição final exaustiva (AWASTHI et al., 2020).

Os efluentes após o tratamento são lançados nos corpos receptores, dessa maneira, os parâmetros devem estar de acordo com as resoluções ambientais. Como a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357 de 17 de março de 2005 e a Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. A Resolução CONAMA n° 357/2005, que complemente a Resolução CONAMA n° 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes. De acordo com a resolução, o corpo hídrico que receberá esse efluente é o de água doce de classe I, que segundo o art. 4°, inciso II, alínea “a” pode ser destinado ao abastecimento para o consumo humano. Porém, a legislação federal não delimita todos os parâmetros, como é o caso da DQO, no qual alguns Estados definiram limites máximos.

Portanto, o presente trabalho apresenta como objetivos a) Avaliar a eficiência do processo de eletrocoagulação aplicado ao tratamento de efluente gráfico seguido de filtração com biocarvão; b) Investigar as variáveis de estudo (distância dos eletrodos, intensidade da corrente elétrica e tempo do processo) em relação à remoção de cor verdadeira do efluente;

METODOLOGIA

O efluente gráfico utilizado nos experimentos foi cedido pela empresa Gráfica Hamônia, situada no município de Ibirama em Santa Catarina, com volume mensal de 1000 L de efluente. Para o auxílio da condutividade elétrica no processo, foi utilizado o cloreto de sódio (NaCl), uma grama por litro, da empresa VETEC (MM= 58,44 g mol^{-1}). O aumento da concentração de eletrólito na solução promove

um aumento do transporte de cargas elétricas da solução, resultando em aumento da velocidade da reação e aumento da densidade de corrente, permitindo uma reação de eletrooxidação mais rápida. O tratamento por EC da água residuária proveniente da tinta gráfica de impressão foi realizada empregando uma fonte de corrente contínua de energia (LABO 2845 115 VCA, Brasil) (Figura 1).

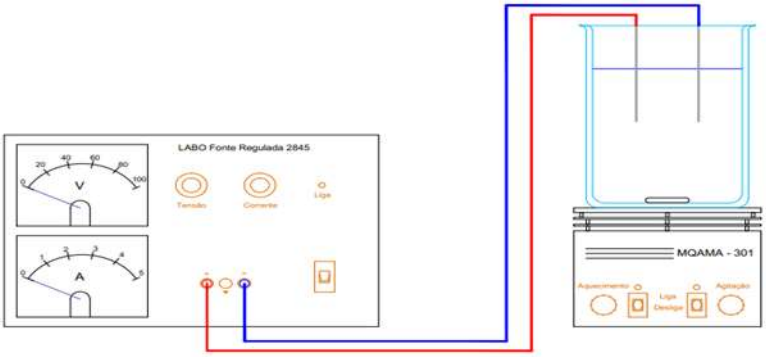


Figura 1 – Representação esquemática da unidade experimental

O experimento foi realizado empregando uma faixa de intensidade de corrente de 0 a 5 A, e tensão ajustável de 0 a 20 V, com o auxílio de um sistema de agitação mecânica digital, com velocidade de 60 a 1.000 rpm, em um reator eletroquímico de capacidade de 3 L.

ESTRATÉGIAS OPERACIONAIS

As estratégias do estudo foram delineadas a partir de ensaios testes, avaliando valores dissemelhantes de corrente elétrica, distância dos eletrodos (6 cm) e tempo de eletrólise do processo de EC, observando assim a melhor condição de tratamento da água residuária proveniente da tinta de impressão gráfica. A este respeito, foram definidas as estratégias (Tabela 1), com os respectivos valores e parâmetros de estudo: corrente elétrica (1, 2 e 3 A), e tempo de eletrólise (20, 30 e 40 minutos).

Tabela 1 – Parâmetros operacionais do processo de EC (n = 2)

Estratégia	Intensidade da corrente (A)	Tempo de eletrólise (min)
E1	1	20
E2	1	20
E3	1	20
E4	1	30
E5	1	30
E6	1	30
E7	1	40
E8	1	40
E9	1	40
E10	2	20
E11	2	20
E12	2	20
E13	2	30
E14	2	30
E15	2	30
E16	2	40
E17	2	40
E18	2	40
E19	3	20
E20	3	20
E21	3	20
E22	3	30
E23	3	30
E24	3	30
E25	3	40
E26	3	40
E27	3	40

A concentração do eletrólito (NaCl) foi fixada em 1g L^{-1} NaCl e a velocidade de agitação em 300 rpm.

ENSAIOS ANALÍTICOS

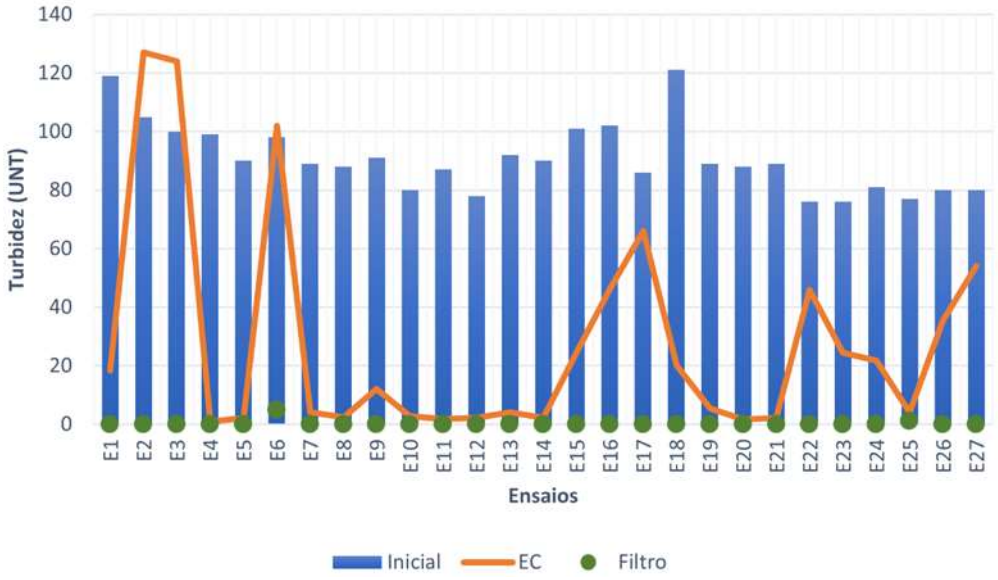
Os procedimentos de coleta, armazenamento e conservação das amostras seguiram a norma NBR 9898 (ABNT, 1987). Os parâmetros físico-químicos foram testados de acordo com o procedimento recomendado pela American Public Health Association (APHA, 2012).

A determinação do pH foi feita pelo método eletrométrico (Hanna HI 3221, Romênia, SMEWW-4500H+.B); turbidez, pelo método nefelométrico (Hanna HI 93703, Romênia, SMEEWW 2130B) e cor verdadeira (Hach Modelo DR/2010, EUA, comprimento de onda de 455 nm, SMEWW-2120D).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pelos ensaios de EC das águas residuárias da tinta gráfica, são apresentados por meio dos ensaios físico-químicos de cor verdadeira, DQO, COT avaliando a eficiência de tratamento. A Figura 2, apresenta os resultados analíticos do tratamento pelo processo de EC do efluente gráfico utilizando eletrodo de alumínio. Os dados apresentados apontam redução nos valores da turbidez para a maior parte das estratégias adotadas (83,39 % a 99,1%). Diante do exposto, as estratégias E4, E5, E7, E8, E10, E11, E12, E13, E14, E20 e E21 apresentaram maior redução de turbidez (99,1%; 95,44%; 97,35%; 96,44%; 97,94%; 97,1%; 95,59%; 97,51%; 98,07%; 97,45%; respectivamente) no tratamento de EC. Conforme observado no planejamento experimental da Tabela 1, sugere-se que a intensidade de corrente empregada em parte destes experimentos (2 A) contribuiu para a redução da turbidez. O aumento da intensidade de corrente elétrica influencia na taxa de remoção da turbidez empregando os eletrodos de alumínio. Neste sentido, a formação de íons metálicos que geram hidróxidos metálicos, promove a neutralização das cargas superficiais, a desestabilização das partículas coloidais e quebra de emulsões.

Figura 2 – Resultados do parâmetro turbidez (UNT) inicial para o efluente bruto e após os tratamentos via EC e meio filtrante (BC)



O potencial hidrogeniônico é um parâmetro extremamente importante, visto que deve estar em conformidade com a resolução CONAMA 357/2005, que determina que esteja entre 6 e 9, caso contrário, afetará todo o ecossistema aquático. No processo de EC ele também é significativo, uma vez que influencia na condutividade, na dissolução dos eletrodos e nas espécies formadas, de acordo com Thuy (2021). Dermentzis et al., (2016) reportaram a importância do pH na eficiência do processo de eletrocoagulação, pois está associado às características do eletrodo metálico utilizado como ânodo e ao pH inicial do efluente. Conforme observado na Figura 3, todos os ensaios apresentam-se em conformidade com a resolução Conama 357/2005.

No presente estudo, o valor de pH inicial do efluente gráfico apresentou valores iniciais entre 7,10 e 7,50. Após a etapa de tratamento do efluente gráfico os valores de pH final obtidos foram ligeiramente elevados entre 7,68 e 8,23.

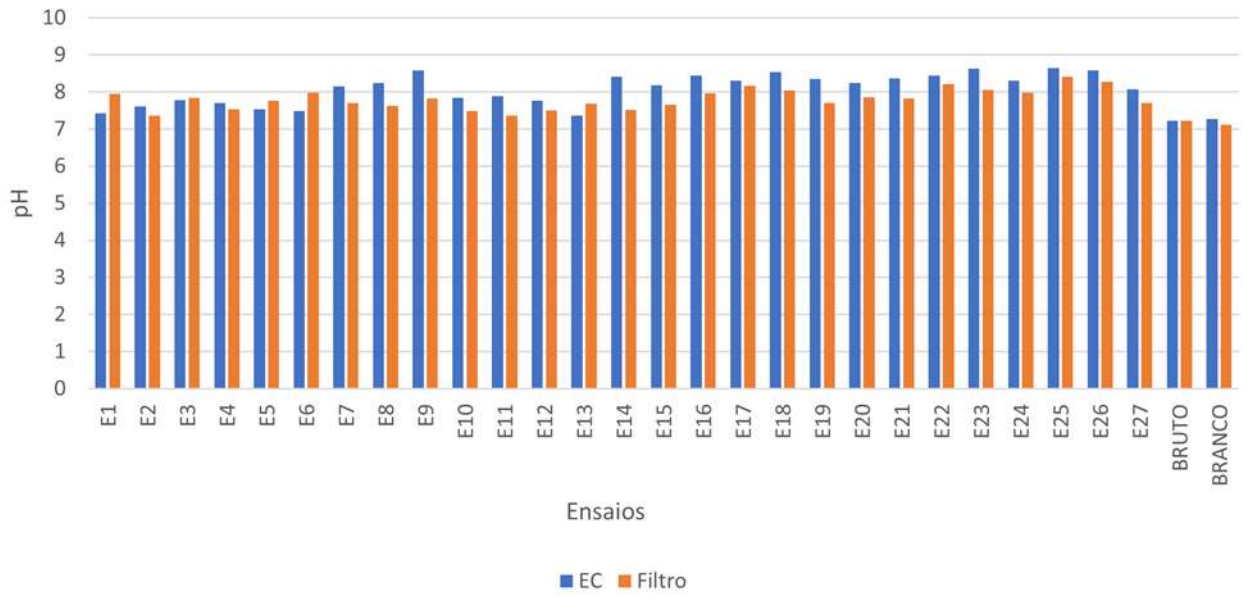


Figura 3 – Valores de pH obtidos via eletrocoagulação (EC)e filtração com biocarvão..

Os dados de pH são bastante próximos aos obtidos por meio do tratamento de ARTG via EC empregando eletrodos de alumínio por Papadopoulos et al., (7,30 a 7,50) empregando 30 min de tempo de eletrólise e densidade de corrente de 83.33 mA cm^{-2} e por Safwat utilizando eletrodos de titânio (pH=7,50) zinco (pH= 9,50) empregando 30 min de tempo de eletrólise e densidade de corrente de 20.00 mA cm^{-2}. Desse modo, para valores distintos de densidade de corrente (DC), o pH aumentou em função do tempo de eletrólise.

Os resultados dos ensaios de cor verdadeira e o porcentual de remoção de cor, encontram-se representadas na Tabela 2, conforme parâmetros operacionais adotados para os ensaios de EC e uso de meio filtrante BC. De acordo com a resolução CONAMA 357/430, o valor máximo permitido para esse parâmetro é de 75 mg.Pt L^{-1}, desta forma, como podem ser observados os resultados tanto após o processo de EC, quanto após a filtração com o BC, se enquadraram cujos valores obtidos se encontram abaixo de 8 mg Pt L^{-1}. O porcentual de remoção da cor verdadeira permaneceu na ordem de 85,92 a 82,54% após o processo de EC, e de 85,92% após a filtração com o BC.

Tabela 2 – Resultados obtidos cor verdadeira

% Remoção de Cor Verdadeira			
Estratégia operacional	**EC (mg Pt L^{-1})**	**Remoção após a EC (%)**	**Remoção após o BC (%)**
E01	6,9	80,56	85,92
E02	5,9	83,38	85,92
E03	6,1	82,82	85,92
E04	6,0	83,10	85,92
E05	7,6	78,59	85,92
E06	6,1	82,82	85,92
E07	5,0	85,92	85,92
E08	5,4	84,79	85,92
E09	5,9	83,38	85,92
E10	6,7	81,13	85,92
E11	5,0	85,92	85,92
E12	6,7	81,13	85,92
E13	5,0	85,92	85,92
E14	5,0	85,92	85,92
E15	5,8	83,66	85,92
E16	5,0	85,92	85,92
E17	5,0	85,92	85,92
E18	5,4	84,79	85,92
E19	5,0	85,92	85,92
E20	6,0	83,10	85,92
E21	6,2	82,54	85,92
E22	5,0	85,92	85,92
E23	5,0	85,92	85,92
E24	5,0	85,92	85,92
E25	5,0	85,92	85,92
E26	5,0	85,92	85,92
E27	5,0	85,92	85,92
Efluente Bruto	35,5	35,5	-
Branco	<5	<5	-

Nesse aspecto, o aumento da intensidade da corrente proporciona um aumento na taxa de transferência iônica do eletrodo, favorecendo a formação de um agente floculante (íons alumínio) e, resulta em um aumento na remoção de cor do efluente bruto (NIZA et al., 2021). A condutividade dos eletrólitos varia muito com suas concentrações, e um aumento na concentração do eletrólito na solução promove um aumento na condutividade elétrica da solução até atingir um ponto máximo. Em relação à adição do eletrólito cloreto de sódio (NaCl) ao efluente, observou-se redução da cor em todos os testes.

CONCLUSÕES

O objetivo principal do estudo foi avaliar a eficiência do processo de eletrocoagulação aplicado ao tratamento de efluente gráfico seguido de filtração com biocarvão avaliando a turbidez, pH e remoção de cor. A EC apresentou eficiência máxima de remoção de cor verdadeira de 85,92%, a partir da otimização dos parâmetros operacionais investigados para a estratégia E26, se adequando as condições e padrões de lançamento de efluentes para cor verdadeira e DQO (Resolução CONAMA 357/2005 e CEMA n˚ 0070/2009). As melhores condições operacionais para a EC foram obtidas com distância entre eletrodos de 6 cm, intensidade de corrente elétrica de 3 A e tempo de eletrólise de 40 minutos. O estado de Santa Catarina possui várias limitações em relação as legislações ambientais, permanecendo em estagnação quando comparado com as demais unidades federativas. Portanto, o estabelecimento dos parâmetros nas legislações contribuem diretamente na manutenção da qualidade do ecossistema aquático e terrestre, bem como a saúde humana.

Estudos complementares devem ser avaliados, como a utilização de ensaios de toxicidade crônica para avaliação de parâmetros (longevidade, tamanho, reprodução e idade de primeira postura), para complementar os efeitos tóxicos do tratamento da EC em relação a ARTG. Da mesma forma, um ajuste nos parâmetros experimentais (intensidade de corrente, tempo de eletrólise, distância entre eletrodos, concentração de eletrólito) no processo de EC podem auxiliar na tomada de decisão da melhor configuração no tratamento da ARTG.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: Abnt, 1987. 22 p.

APHA, American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22ª. ed., Washington: American Public Health Association, 2012. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the examination of water and wastewater. Washington, 2012.

AWASTHI, Mukesh Kumar et al. Refining biomass residues for sustainable energy and bio-products: An assessment of technology, its importance, and strategic applications in circular bio-economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, China, v. 127, n. 109876, p. 1-18, July 2020.

CONAMA. Resolução nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2005.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

DERMENTZIS, K., et al. Nickel removal from wastewater by electrocoagulation with aluminum electrodes. Jestr: Journal of Engineering Science and Technology Review, v 4, p. 188 – 192, 2011.

HU, Baowei et al. Efficient elimination of organic and inorganic pollutants by biochar and biochar-based materials. Biochar, Shaoxing, v. 2, p. 47-64, 26 Mar. 2020.

KOSLOWSKI, L. A. D., et al. Silver nanoparticles impregnated with polyamide-66 to disinfect drinking water. Revista Ambiente & Água, v. 13, p.1-13, 2018.

LACH, C. E. et al. Avaliação da qualidade da água do rio Hercílio, município de Ibirama, SC. Revista de Ciências Ambientais, v. 14, n. 1, p. 07-16, 2020.

LIANG, Liping et al. Review of organic and inorganic pollutants removal by biochar and biochar-based composites. Biochar, Shaoxing, v. 3, p. 255-281, 07 july 2021. DOI:

MAGNISALI, Eirini et al. Electrocoagulation as a revived wastewater treatment method-practical approaches: a review. Chemical Technology and Biotechnology, [s.l.], v. 97, n. 1, p. 9-25, 2021.

METES, A et al. The role of zeolites in wastewater treatment of printing inks. Water Research, v. 38, n. 14-15, p. 3373-3381, 2004.

MOUSAZADEH, Milad et al. A critical review of state-of-the-art electrocoagulation technique applied to COD-rich industrial wastewaters. Environmental Science and Pollution Research, Qazvin, v. 28, [s.n.], p. 43143-43172, 23 jun. 2021

%3Dihub. Acesso em: 26 out. 2021.

PAPADOPOULOS, Konstantinos P. et al. Treatment of printing ink wastewater using electrocoagulation. Journal of Environmental Management, [s.l.], v. 237, p. 442-448, maio 2019.

SAFWAT, Safwat M.. Tratment of real printing wastewater using electrocoagulation process with titanium and zinc electrodes. Journal of Water Process Engineering, [s.l.], v. 34, p. 101137, abr. 2020.

SHOKRI, Aref; FARD, Mahdi Sanavi. A critical review in electrocoagulation technology applied for oil removal in industrial wastewater. Chemosphere, Dezful, v. 288, n. 132355, p. 01-16, 25 set. 2021

THUY, Nguyen Thi et al. Application of electrocoagulation for printing wastewater treatment: from laboratory to pilot scale. Journal of Electrochemical Science and Technology, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 21-32, 28 fev. 2021.

Capítulo 3

10.37423/240408902

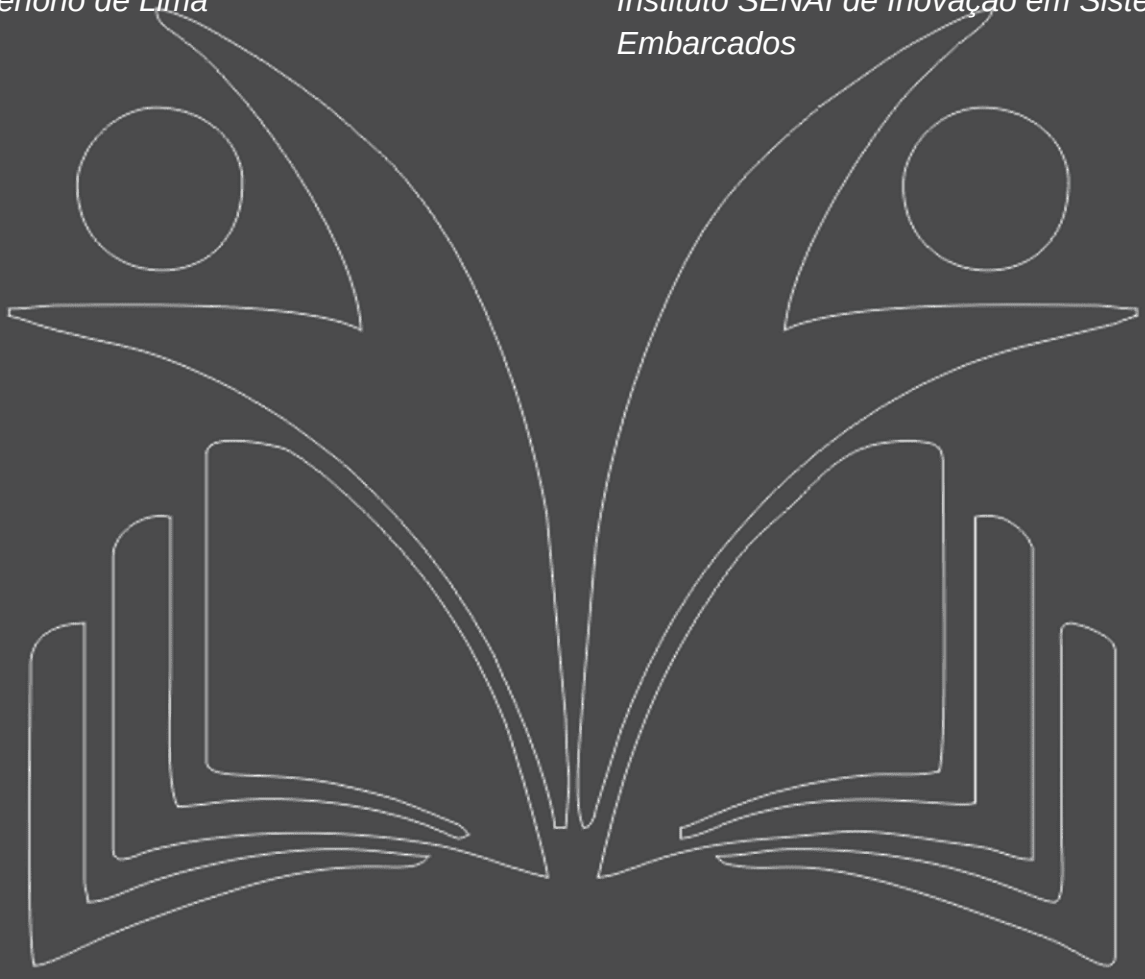
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO TAQUARAS (2022-2023), IBIRAMA SC BRASIL

Luciano André Deitos Koslowski

Universidade do Estado de Santa Catarina/UDESC/Campus Alto Vale

Jonathan Tenório de Lima

Instituto SENAI de Inovação em Sistemas Embarcados



Resumo: A degradação dos corpos hídricos decorrente do lançamento de esgotos domésticos, efluentes industriais e atividades agrícolas resultam em problemas graves para o ambiente aquático. A presença de cursos d'água junto às zonas urbanas sempre constitui um desafio, já que a qualidade do recurso hídrico varia de acordo com o ambiente de gênese, o percurso, geologia e a interferência humana. Para a realização do estudo, foram selecionados 5 pontos de amostragem e realizadas 4 coletas durante o período de 2 anos (2022-2023) ao longo da extensão do Ribeirão Taquaras localizado na cidade de Ibirama, Santa Catarina. Os seguintes parâmetros firam avaliados: cor verdadeira, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, e nitrogênio total além da análise biológicos (coliformes termotolerantes). Os valores obtidos foram comparados com a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Os resultados obtidos evidenciam que os seguintes parâmetros e respectivos valores médios atenderam a Resolução 357/2005 do CONAMA: pH (6,02-7,50), cor verdadeira (7,20 uH - 13,00 uH) e turbidez (4,20-20,00 UNT). Os resultados denotam que os seguintes parâmetros e seus respectivos valores médios exigiram atenção: fósforo tototal (> 0.030 mg L^{-1}).

Palavras-chave: Ribeirão Taquaras, urbanização, efluente doméstico, poluição.

INTRODUÇÃO

O padrão de qualidade de vida de uma população está diretamente relacionado à disponibilidade e à qualidade de sua água, sendo considerado um recurso natural limitante no desenvolvimento econômico em diversas partes do mundo (FARIAS, 2009). A demanda e a oferta dos recursos hídricos têm sido comprometidas, considerando que em muitos lugares do mundo, as águas superficiais e as subterrâneas estão contaminadas com esgotos industriais, agrícolas e municipais (GLÓRIA, 2017). As influências antrópicas sobre a qualidade da água estão fortemente associadas ao crescimento da urbanização, da expansão das atividades agropecuárias e industriais (MITRÓVIC et al., 2018). As ações antropogênicas denotam considerável impacto nos sistemas hídricos, destacando-se lançamentos de cargas poluentes e a alteração do uso da terra acaba provocando intervenções diretas no sistema fluvial. As contaminações antropogênicas são em muitos casos provenientes de fontes difusas como esgoto doméstico, carreamento de poluentes pelas chuvas em áreas urbanas e agrícolas (Lach et al., 2020), descargas industriais (Hartmann et al., 2020), aquicultura e reflorestamentos. Deste modo, há a necessidade de enquadramento dos recursos hídricos aos diferentes níveis de qualidade, já que se designam a usos múltiplos. A presença de cursos d'água, junto às zonas urbanas, afeta substancialmente a qualidade do recurso hídrico, sendo considerado o ambiente de gênese, percurso, geologia e a interferência humana (Lach et al., 2020; Fontes et al., 2017). A poluição química presente nos rios pode ser considerada como uma das principais ameaças ao ecossistema aquático e à saúde pública (Lach et al., 2020).

O município de Ibirama compõe a região do Alto Vale Itajaí em Santa Catarina, possuindo área de 247,1028 km² , população de 19.862 habitantes (IBGE, 2022). Da mesma forma, apresenta 92,5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 57,8% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 27,8% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (IBGE, 2022). A área de estudo localiza-se na região do Alto Vale da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. O Ribeirão Taquaras apresenta ao longo do seu percurso, bastante variação de altitude caracterizada por apresentar relevo ondulado e montanhosomontante situada no mesmo bairro que leva o mesmo nome (MILANEZI, 2013). O trecho de estudo abrange intensa atividade agrícola (rizicultura), industrial (cervejaria) e unidades residenciais.

O município de Ibirama localiza-se na latitude S 27º03'2" e longitude O 49º31'0", com população estimada de 18.950 mil habitantes, e área total de 246,71 km^2 e faz limite com as cidades de Ascurra, Benedito Novo, José Boiteux, Apiúna, Lontras, Presidente Getúlio e Rio do Sul (IBGE, 2022). A região

hidrográfica apresenta pluviosidade anual de cerca de 1550,0 mm, relevo predominantemente montanhoso, com altitude de 150 m acima do nível do mar, em clima subtropical com invernos frios e temperatura média anual de 20 °C (GOVERNO DE SANTA CATARINA, 2015).

METODOLOGIA

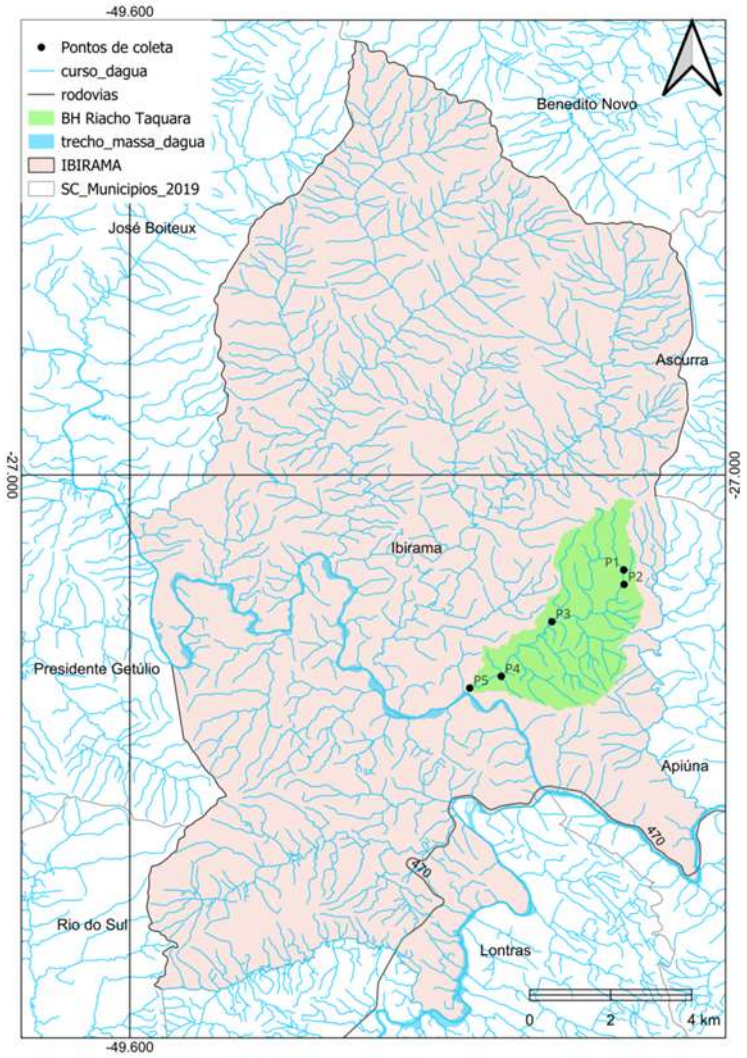
O estudo realizado compreendeu o período de setembro de 2021 a setembro de 2023, com as coletas das amostras efetuadas no início da manhã e o armazenamento realizado em conformidade com a NBR 9898 de junho de 1987, que estabelece a Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores. Foram escolhidos cinco pontos de amostragem ao longo do Ribeirão Taquaras, em Ibiramao– SC, obtidos pelo *software* QGIS (sistema de informação geográfica-SIG) conforme ilustrado na Figura 1 e as coordenadas geográficas expressas na Tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem (sistema de coordenadas geográficas do software WGS 84)

Pontos	Coordenadas geográficas	Local - ponto de amostragem
P1	-27.0236375991525, -49.476913305547264	Próximo a nascente do Ribeirão Taquaras -zona rural
P2	-27.027243687629753, -49.476840885917355	Estrada Ribeirão Taquaras - zona rural
P3	-27.036494594783193, -49.494832904778235	R. Franz Linke, 1333 - Bairro Taquaras, Ribeirão Taquaras -zona rural com edificações
P4	-27.05007433093427, -49.50743436350431	R. Koepsel, 53 - Taquaras - Ribeirão Taquaras - zona urbana
P5	-27.053009152362385, -49.515293648955044	R. Duque de Caxias, 03 - Centro, Ibirama - SC, Confluência Rio Taquaras/Itajaí do Norte

Fonte: Autores, 2024.

Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem



Fonte: Autores, 2024.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

Os procedimentos de coleta, armazenamento e conservação das amostras seguiram a norma NBR 9898 (ABNT, 1987). Os parâmetros físico-químicos foram testados de acordo com a disponibilidade dos equipamentos e reagentes do Laboratório de Química Tecnológica da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, campus Alto Vale, localizado no município de Ibirama/SC procedimento recomendado pela American Public Health Association (APHA, 2012). A determinação do pH foi feita pelo método eletrométrico (Hanna HI 3221,SMEWW-4500H+.B); turbidez, pelo método nefelométrico (Hanna HI 93703, SMEEWW 2130B) e cor verdadeira (Hach Modelo DR/2010, SMEWW-2120D), determinação de fósforo total (SMEWW 3030 E; EPA - 6010).

ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Diante das atividades desenvolvidas na microbacia hidrográfica do Rio dos Índios e de toda a região do Alto Vale do Itajaí em que ela se encontra, as concentrações de coliformes nos corpos hídricos da região são altas, diante disso, efetuou-se a análise microbiológica de *Escherichia coli*. As análises foram realizadas pela técnica do Colilert em cartela – método de substrato cromogênio no Laboratório de Microbiologia da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC/Campus Alto Vale. A técnica de análise empregada identifica a presença de indicadores biológicos de contaminação fecal e possíveis patogênicos. Expressou-se os resultados com base na tabela NMP (Número Mais Provável em 100 mL de água).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o enquadramento do Rio dos Índios em classe II conforme preconizado pelo CONAMA 357/2005, os corpos hídricos enquadrados nessa classe são considerados, não menosprezando as demais classes de corpos hídricos, de grande importância para o abastecimento humano, visto que a potabilidade dessa água é possível através do emprego de tratamento convencional.

No Quadro 1 encontra-se sumarizado os resultados relativo as análises físico-química (pH, turbidez e cor verdadeira) e determinação de metais obtidos nas amostragens realizadas nos anos de 2022 a 2023 em todos os cinco pontos amostrais da bacia hidrográfica do Rio dos Índios. Salienta-se que os pontos P1, P2 e P3 estão localizados na zona rural do município de Ibirama/SC, e os pontos P4 e P5 localizados na zona urbana do município supracitado.

Quadro 1 – Resultados das análises físico-químicas.

Parâmetros	Resultados da coleta 1 (janeiro/2022)				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Fósforo total (mg/L)	0,079	0,098	0,075	0,065	0,045
Turbidez (UNT)	9,50	13,00	7,35	20,00	17,00
pH	7,53	6,93	7,12	6,76	7,06
cor verdadeira (uH)	5,50	10,60	5,90	15,30	12,40
Parâmetros	**Resultados da coleta 2 (julho/2022)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Fósforo total (mg/L)	0,078	0,074	0,074	0,081	0,035
Turbidez (UNT)	4,20	12,00	12,00	10,00	13,00
pH	6,03	7,10	7,12	7,41	6,97
cor verdadeira (uH)	7,20	13,00	6,00	11,60	9,30
Parâmetros	**Resultados da coleta 3 (janeiro/2023)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Fósforo total (mg/L)	0,080	0,090	0,106	0,065	0,030
Turbidez (UNT)	6,35	8,50	8,00	10,00	12,00
pH	7,10	7,22	6,94	7,54	7,62
cor verdadeira (uH)	7,50	6,30	9,60	8,30	10,90
Parâmetros	**Resultados da coleta 4 (julho/2023)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Fósforo total (mg/L)	0,065	0,081	0,096	0,060	0,051
Turbidez (UNT)	5,70	12,00	14,00	11,00	11,00
pH	7,15	6,90	7,30	7,51	6,97
cor verdadeira (uH)	7,70	11,00	7,00	10,00	9,30

Fonte: Autores, 2024.

A análise de dados do Quadro 1 mensura a variação da turbidez em uma faixa de 4,70 a 20 UNT em todas as amostragens realizadas em diferente períodos. Os valores de turbidez encontrados se enquadram conforme a legislação do CONAMA 357/2005, que estabelece o valor de até 100 UNT. As variações de turbidez, principalmente nos pontos P1, P2 e P3, encontram-se ligeiramente acima dos valores encontrados nos pontos P4 e P5, possivelmente pela presença mais intensa de vegetação à beira do corpo hídrico e, arraste de partículas sólidas carreadas pelo escoamento superficial para o curso d'água, evidenciando os problemas de perda de solo existentes na Bacia do Ribeirão Taquaras. Em estudos realizados nas águas do rio Alegre no Espírito Santo, Zonta et al. (2008), reportaram resultados com aumento da turbidez da água bem como dos sólidos totais das águas na época de maior precipitação.

Os dados do estudo apresentados no Quadro 1 indicam não existir uma relação específica do pH com as atividades antrópicas tanto na área urbana como na área rural (valores de pH situados na faixa de 6,0-7,50) nos pontos de amostragem estudados no corpo hídrico. Lunelli et al., 2019 reportam que fatores naturais como a dissolução de rochas, fotossíntese e fatores relacionados a atividades urbanas

e agroindustriais podem afetar o pH da água, resultando em danos sistemáticos ao ecossistema aquático.

A cor verdadeira apresentou algumas oscilações ao longo do percurso do Ribeirão Taquaras, sendo possível observar aumento dos pontos de amostragem P1, P2, P3 (4,20 a 12,00) em relação aos pontos P4 e P5 (11,00 a 20,00). Ums possível justificativa se deve a maior concentração populacional devido a urbanização nos dois últimos pontos e o lançamento de esgotos domésticos, contribuindo substancialmente para o aumento da cor verdadeira. Entretanto, os valores observados encontram-se abaixo do limite máximo permitido pela legislação Conama 357 (limite de 75 uH).

Em relação aos valores de Fósforo Total, os valores encontram-se acima do estipulado na Resolução Conama (0,030 mg L^{-1}), sendo observado valores acima do limite em todos os pontos e períodos de amostragem. Neste aspecto, presume-se um possível carreamento de fósforo pelo escoamento superficial, cuja provável fonte se deve a aplicação de adubos (constituídos por fósforo, nitrogênio e potássio) ao longo das áreas de cultivo da Bacia. Danelon et al. 2012, avaliaram a presença de fósforo em um córrego com atividades agrícolas, cujas análises apresentaram em sua totalidade valores acima do permitido pela Resolução Conama 357/2005. O fósforo em excesso nos corpos hídricos ocasiona a eutrofização do mesmo, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido e, por consequência acaba afetando as características físico-químicas da água (FINKLER et al., 2015).

O principal parâmetro analisado que não se adequa a legislação é o de coliforme totais, que no estudo considerou a bactéria *Escherichia coli* por ser um indicador de contaminação fecal na água. Os dados obtidos são apresentados no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Resultados das análises microbiológicas

Parâmetros	**Resultados da coleta 1 (janeiro/2022)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	140	700	1600	1600	2400
Parâmetros	**Resultados da coleta 2 (julho/2022)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	310	920	2000	2400	3100
Parâmetros	**Resultados da coleta 3 (janeiro/2023)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	230	450	320	350	700
Parâmetros	**Resultados da coleta 4 (julho/2023)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	300	900	1800	2200	2600

Fonte: dos autores, 2024.

Os resultados obtidos indicam que a qualidade do corpo hídrico nos pontos amostrais do Ribeirão Taquaras apresenta parâmetros de qualidade da água inferiores no que se refere aos coliformes fecais e coliformes totais aos requisitos referentes à classe 2. A condição apresentada pela legislação em termos de valores de referência visa à utilização adequada e segura do corpo hídrico, enquadrando-se como classe II, o rio em estudo, aplica-se o disposto no Artigo 15 - parágrafo II “coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA n0 274, de 2000” (BRASIL, 2000). Neste contexto, destacam-se os valores críticos dos parâmetros biológicos (Coliformes Totais e Fecais) associadas à elevação da carga orgânica nos pontos amostrais do corpo hídrico e, ainda, a influência de atividades agropecuárias e de urbanização e infraestrutura sanitária inadequada no trecho, no qual estão localizados os pontos amostrais deste estudo. Portanto, foi evidenciada a presença substancial de coliformes em toda a extensão do curso hídrico do Ribeirão Taquaras, bem acima dos resultados máximos permitidos pela Resolução Conama , (>2419,60 NMP 100 mL^{-1}).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas análises demonstram que os pontos de coleta mais próximos à nascente, essencialmente o ponto P1, apresentam características melhores em relação aos pontos mais distantes, à exemplo dos pontos P4 e P5 localizados na zona urbana. Salienta-se que na zona urbana a área demográfica é maior e os índices de coleta e tratamento de esgoto são precários, concentrando assim, maior quantidade de dejetos, tanto domiciliar quanto industrial, despejado no corpo hídrico.

A utilização da Resolução do CONAMA 357/2005 para avaliação dos resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológicas, demostrou que os coliformes termotolerantes estão próximos do limite permitido para rio classe 2 em todos os pontos de amostragem, evidenciando assim a contaminação desde a montante do corpo hídrico estudado até a jusante. O fósforo total apresentou valores médios acima do limite estipulado pela legislação, sendo que este parâmetro possui relação direta ao lançamento de esgoto doméstico no corpo hídrico e a presença de resíduos químicos resultante do processo de uso de adubos e fertilizantes ao longo do curso hídrico.

Nesse caso, nota-se a necessidade de que os gestores públicos do município comecem a desenvolver políticas de conscientização da população e das industrias para um potencial poluidor que os mesmos tem perante ao Ribeirão Taquaras e as consequências dessas atitudes ao meio ambiente, levando-se em consideração o crescimento da população urbana que está associado ao aumento da produção de esgoto sanitário.

Portanto, deve ser ressaltado a importância para a continuidade do monitoramento da bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaras, e que sejam estabelecidas medidas mitigatórias e preventivas, como a proteção e reposição das áreas de preservação permanente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. Disponível em: < http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf >. Acesso em: 10 fev. 2024.

ALVES, E. C; SILVA, C. F; COSSICH, E. S, TAVARES, C. R. G., FILHO, E. E. de S., CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó-Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Acta Scientiarum. Technology, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

CONAMA. Resolução nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2005.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

DANELON, Jean Roger Bombonatto; DA LUZ NETTO, Fausto Miguel; RODRIGUES, Silvio Carlos. Análise do nível de fósforo total, nitrogênio amoniacal e cloretos nas águas do córrego Terra Branca no município de Uberlândia (MG). Revista Geonorte, v. 3, n. 4, p. 412-421, 2012.

FIA, R.; TADEU, H.; MENEZES, J. P.; FIA, F. R. L. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 2, p. 267-275, 2015.

FINKLER, Nícolas Reinaldo et al. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 10, n. 4, 2015.

FONTES, A. R.; LUCAS, A. A. T.; CARVALHO, M. E. S. 2017. Índice de qualidade da água na microbacia do Rio Caiçá, no perímetro urbano de Simão Dias/SE. Revista de Ciências Ambientais, 11(2):51-60.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p. 772, 2009.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Município de Ibirama. 2015. Disponível em: <http://www.sc.gov.br/index.php/conhecasc/municipios-de-sc/ibirama>. Acesso em: 28 de março de 2024.

HARTMANN, Julia et al. The effective design of sampling campaigns for emerging chemical and microbial contaminants in drinking water and its resources based on literature mining. Science of the Total Environment, v. 742, p. 140546, 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades/Ibirama/SC. Disponível em:<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ibirama/panorama>. Acesso em: 20 mar. 2024.

LACH, C. E. et al. Avaliação da qualidade da água do rio Hercílio, município de Ibirama, SC. Revista de Ciências Ambientais, v. 14, n. 1, p. 07-16, 2020.

LUNELLI, K.; NARCISO, N. B.; PAULINO, Ê. A.; KOSLOWSKI, L. A. D. Qualidade da água do Rio dos Índios sob influência de atividades agroindustriais e de urbanização. Revista Virtual de Química, v.11, n.4, p.1190-1202, 2019.

MESCHEDE, Marina Smidt Celere et al. Drinking water quality in schools of the Santarém region, Amazon, Brazil, and health implications for school children. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [s.l.], v. 13, n. 6, p.1-1, 31 out. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2218

MILANESI, Lucas de Souza; PERONI, Nivaldo; DOS REIS, Maurício Sedrez. Use of the palm Euterpe edulis martius in landscape units managed by migrants of German origin in Southern Brazil. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, v. 9, p. 1-11, 2013.

OLIVEIRA, L. C.; GOMES, B. M.; BAUMGARTNER, G.; SEBASTIEN, N. Y. Variação espacial e temporal dos fatores limnológicos em riachos da microbacia do Rio São Francisco Verdadeiro. Engenharia Agrícola, v.28, n.4, p.770-781, 2008.

ZONTA, J. H.; ZONTA, J. B.; DA SILVA RODRIGUES, J. I.; DOS REIS, E. F. Qualidade das águas do rio Alegre, Espírito Santo. Revista Ciência Agronômica, v.39, n.1, p.155-161, 2008.

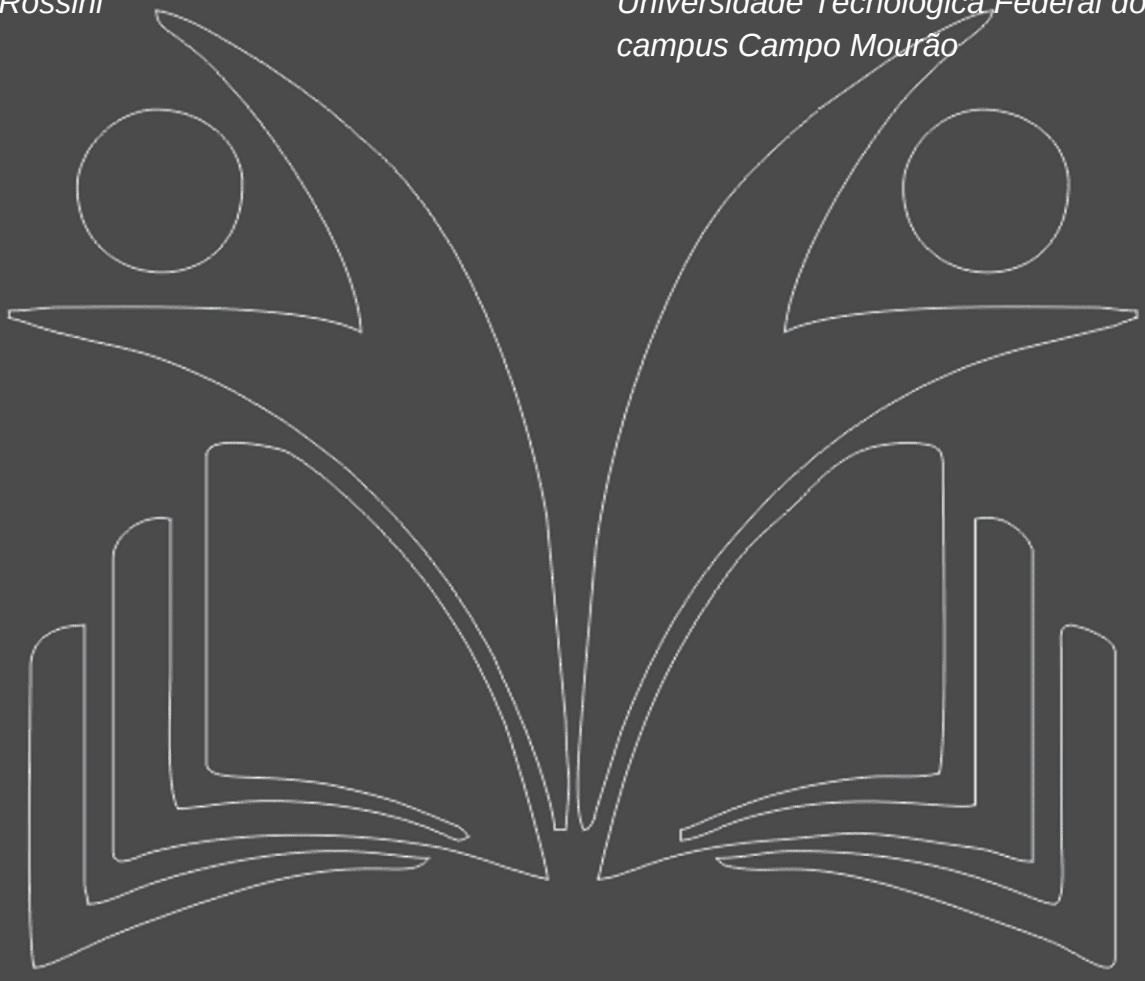
Capítulo 4

10.37423/240408906

COMPARAÇÃO DE ALGORITMOS POR MÉTODOS NUMÉRICOS PARA OBTENÇÃO DA CINEMÁTICA INVERSA DE ROBÔ MANIPULADOR SCARA

Luiz Gustavo Rezende
Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão

Flávio Luiz Rossini
Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão



Resumo[A1]**:** O estudo que relaciona o comportamento da posição e orientação do manipulador no espaço cartesiano, sem levar em consideração as forças físicas envolvidas é chamado de cinemática. Esta, é dividida em duas etapas: cinemática direta e inversa. Devido ao seu elevado grau de complexidade e equações não lineares, a cinemática inversa recorre a métodos numéricos para uma melhor ou possível solução do problema. Para tal manipulação, torna-se necessário o levantamento de equações matemáticas relacionadas a cinemática direta do manipulador SCARA. Através da descrição matemática e da simulação no *software* Matlab®, os métodos numéricos de Newton-Raphson, Levenberg-Marquardt e Halley foram implementados para a comparação entre seus respectivos desempenhos: tempo de execução, número de iterações e erro. Os métodos obtiveram êxitos na execução, com erros inferiores a 10^{-6} o que torna promissor o estudo de trabalhos futuros.

Palavras-chave: algoritmos computacionais; método de Levenberg-Marquardt; método de Newton-Raphson; método de Halley; modelagem cinemática.

INTRODUÇÃO

A robótica é um campo de estudo em franca expansão, cuja definição e aplicabilidade evolui ao longo do tempo, a partir da teoria de controle, da cibernética e da inteligência artificial [1]. Dentro da robótica, uma das áreas fundamentais de análise é a cinemática, a qual abrange o conhecimento dos mecanismos. A cinemática é dividida em duas grandes áreas de pesquisas, a cinemática direta e a cinemática inversa. A utilização de ferramentas modernas como computadores e microcontroladores, possibilitam uma grande versatilidade em diferentes aplicações de manipuladores robóticos na indústria. Contudo, os robôs apresentam grandes dificuldades em suas modelagens matemáticas. A geometria de um manipulador pode variar conforme suas conexões, tornando-os cada vez mais complexos conforme aumenta o número de juntas e elos. Com o propósito de lidar com a matemática aplicada ao robô, fixa-se, sistemas de referência às várias partes do mecanismo para que seja possível descrever as relações entre elas [2]. O método utilizado no presente trabalho para a parametrização da cinemática de estruturas de manipuladores é conhecido como Denevit-Hartenberg, em que se definiu os valores para cada par de junta e elo que o robô possui [3].

Por se tratar de equações não lineares, a cinemática inversa é considerada complexa e para resolver os sistemas, utilizaram-se métodos numéricos [4].

Existe uma vasta variedade de robôs industriais que são classificados conforme a sua configuração de juntas e elos. Aqui, abordou-se os robôs tipo SCARA, amplamente utilizados na automação industrial, possuem três juntas rotacionais paralelas e uma prismática (RRPR), sendo a última junta relacionada a ferramenta do manipulador, são vantajosos por serem robustos e rápidos, cerca de dez vezes mais rápidos que os outros robôs articulados [5]-[17].

A relevância dos manipuladores robóticos no meio industrial, destaca-se pela expansão jamais vista na história. Atualmente, o crescimento da população em escala global faz com que o aumento da demanda por sistemas robóticos cresça expressivamente. Do ponto de vista acadêmico, nota-se tendências de pesquisas e correlações de problemas ligados a robótica em expansão no Brasil e no mundo. O histórico da robótica na educação brasileira é relativamente nova e remete na década de 1980 através de algumas universidades, sendo a principal delas a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) [18]. Com o intuito de corroborar o interesse acadêmico, em [19] realizou buscas na base de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Google Acadêmico e outras citações encontradas nos próprios trabalhos, levando em consideração as palavras chaves relacionadas a robótica.

O trabalho apresenta a comparação entre os métodos numéricos clássicos de Newton-Rapshon, Levenberg-Marquardt e Halley para a análise da cinemática inversa do manipulador SCARA. Os resultados serão analisados mediante a simulação dos métodos propostos, afim de compará-los, onde, aborda-se, tempo de execução, número de iterações e o erro.[A2]

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 MANIPULADORES ROBÓTICOS

A definição do que é considerado um robô é algo impreciso até o momento, usualmente são classificados conforme a sua complexidade e funcionalidade. Um robô é um sistema autônomo que existe no mundo físico, pode sentir e agir sobre o meio que está disposto e assim alcançar seus objetivos [1]. Seguindo a linha de raciocínio, um robô precisa ter um corpo físico com juntas e elos, sensores, atuadores, efetuadores e um sistema de controle.

O uso do termo robô industrial é baseado na definição da Organização Internacional de Padronização ou ISO (The International Organization for Standardization). De acordo com a ISO 8373 um robô industrial é um manipulador multifuncional reprogramável e controlado automaticamente, programável em três eixos ou mais, que pode ser fixo no local ou fixado em um dispositivo móvel para o uso de aplicações industriais.

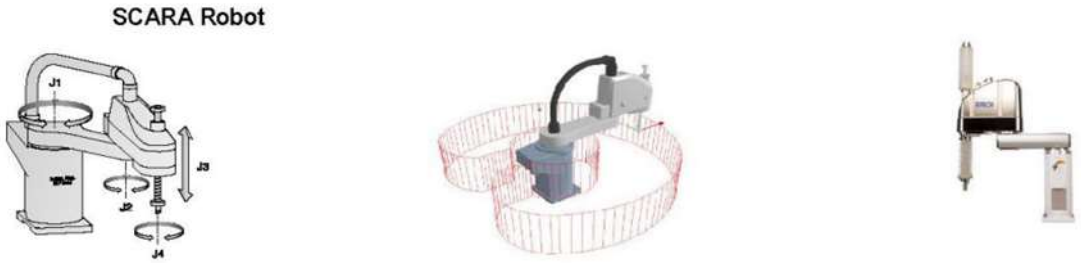
1.2 CONFIGURAÇÕES DOS MANIPULADORES ROBÓTICOS

Os manipuladores robóticos quanto a sua estrutura, podem ser separados por dois grandes grupos: de cadeia aberta e de cadeia fechada [20]. Os robôs são dispostos em uma vasta variedade de tamanhos, formas e configurações mecânicas. Robô é constituído de conexões de corpos rígidos de comprimento conhecido ligado a seu antecessor e seu sucessor por uma junção de um grau de liberdade, chamados de elos e juntas, sendo o primeiro elo da cadeia a base do robô e o último elo o efetuador (local da ferramenta) [21]. Devido suas diferentes configurações e graus de liberdade os manipuladores são divididos em: robôs articulados, cartesianos, cilíndricos, paralelos, SCARAS e esféricos [2] [22]. Como o objeto de estudo deste trabalho é o *SCARA, a* seguir é apresentado um descritivo sobre ele.

1.2.1ROBÔ SCARA

O manipulador SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot*) foi introduzido no Japão em 1979 com um conceito novo em relação a robôs de montagem [20]. Possui uma configuração de duas juntas rotacionais em paralelo para se ter movimento no plano e uma junta prismática no final do efetuador (RRP) [2]. Esse manipulador é amplamente utilizado na indústria eletrônica para montagem de placas de componentes de circuitos impresso [23]. Um exemplo de manipulador SCARA e sua respectiva área de trabalho pode observado na Figura 1.

Figura 1- Manipulador SCARA



Fonte: [22].

1.2.2 MOVIMENTAÇÃO DOS MANIPULADORES ROBÓTICOS

O movimento do robô manipulador é definido pelo número total de movimentos que ele exerce, popularmente conhecido como grau de liberdade (*degrees of freedom* – DOF). Grau de liberdade é qualquer um dos números mínimos de coordenadas necessárias para especificar completamente o movimento de um sistema mecânico, ou seja, a maneira pela qual o sistema pode se mover [1]. Conforme a complexidade do robô aumenta, faz-se necessário mais graus de liberdade para se ter eficiência em realizar os movimentos ou tarefas desejadas, portanto, as juntas restringem o movimento do corpo rígido [21].

1.3 CINEMÁTICA DE MANIPULADORES ROBÓTICOS

A cinemática estuda o movimento dos corpos sem se preocupar com as forças que o causam [2]. Ela, se divide em duas grandes etapas: a cinemática direta e a cinemática inversa.

1.3.1 CINEMÁTICA DIRETA

O conceito da cinemática direta (do inglês, *forward kinematics*) diz respeito ao cálculo da posição e orientação final do efetuador dada a configuração das juntas. Para descrever a cinemática direta através de equações, utilizasse a concatenação das transformadas homogêneas da cadeia cinemática do manipulador [24]. As matrizes de transformações homogêneas individuais podem se relacionar para obter a posição final do manipulador [21].

1.3.2 CINEMÁTICA INVERSA

A cinemática inversa (do inglês, *inverse kinematics*) tem como objetivo obter os valores de juntas representadas por θ_n, dada a posição e a orientação do manipulador no espaço tridimensional [25]. O grande problema dos manipuladores robóticos para encontrar uma solução dentro da cinemática inversa é que ela possui equações não lineares, bem como soluções múltiplas ou ainda, soluções nulas [26].

Há duas possíveis abordagens para encontrar a solução da cinemática inversa: através de métodos numéricos ou de soluções analíticas (algébrica e geométrica) [2].

Os métodos analíticos são baseados na geometria da cadeia cinemática ou na equação algébrica da cinemática do manipulador, na qual, tem sua aplicação dificultada conforme aumenta o número de graus de liberdade do robô [24]. A utilização de métodos numéricos para a solução da cinemática inversa, consiste em métodos iterativos que buscam encontrar a raiz da equação, a solução do problema [21].

De certa forma, a estrutura física do robô limita as operações analíticas, tornando-as quase impossíveis para manipuladores com altos graus de liberdade. A cinemática inversa consegue abranger sistemas mais genéricos, com altos graus de liberdade [24].

1.4 MÉTODOS NUMÉRICOS

Sistemas de equações não lineares são compostos por combinações de funções algébricas e transcendentes, tais como funções trigonométricas, exponenciais, logarítmicas, etc. São problemas que se encontram no cotidiano, dentro das áreas de matemática, robótica e engenharias de forma geral. Em sua grande maioria, é impossível ter uma solução de forma analítica, ao contrário dos problemas lineares [27].

Os métodos numéricos buscam soluções para cinemática inversa através de algoritmos que reduzem o erro entre a posição real e a desejada a cada nova iteração [26]. Serão analisados três métodos numéricos iterativos no decorrer deste trabalho que são: método de Newton-Raphson, método de Levenberg-Marquardt e o método de Halley.

1.4.1.1 MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON

A aplicação do método de Newton-Raphson busca determinar as raízes ou zeros de uma equação não linear por meio de iterações [28]. Através de uma estimativa inicial para a raiz, diversas correções de forma sequencial são estimadas até que solução atinja uma reposta otimizada desejada [29]. Dada uma função $F(\theta)$, o método é obtido aplicando-se a expansão de Taylor em torno de (θ_n) [27], assim:

$$F(\theta) = F(\theta_n) + \frac{F'(\theta_n)}{1!}(\theta - \theta_n) + \frac{F''(\theta_n)}{2!}(\theta - \theta_n)^2 + \cdots \quad (1)$$

sendo, $F'(\theta_n)$ o termo da primeira derivada e $F''(\theta_n)$ o termo da segunda derivada da função em relação a θ. Pode-se ainda, substituir o θ por $\theta_{(n+1)}$ e considerar somente até o termo de primeira ordem da série, se $\theta_{(n+1)}$ é uma raiz da equação e θ_n é um valor próximo a θ_{n+1}. Assim, pode-se igualar a função a zero. Ao realizar $F(\theta) = 0$, pode ser expressa por:

$$\theta_{n+1} = \theta_n - J^{-1}(\theta_n)F(\theta_n) \quad (2)$$

sendo J é uma matriz Jacobiana que contém as derivadas parciais das funções não lineares e que relaciona as taxas de variações da posição e orientação do efetuador com as variáveis de junta do manipulador, para ter uma aproximação linear do movimento [30]. Através do método, espera-se obter uma convergência quadrática, desde que o valor inicial seja conhecido e que $J^{-1}(\theta_n)$ exista.

1.4.1.2 MÉTODO DE LEVENBERG-MARQUARDT

O método de Levenberg-Marquardt é também chamado de métodos dos mínimos quadrados, e tem como objetivo ajustar um conjunto de dados de forma a minimizar a soma dos quadrados das distâncias entre os pontos ajustados e os pontos amostrados por meio de uma sequência de atualizações de valores [31].

Este método é uma combinação de dois algoritmos de otimização, Gauss-Newton e o Gradiente Descendente (do inglês, *Gradient Descent*) e sua equação é descrita como:

$$\theta_{n+1} = \theta_n - (J^T(\theta_n)J(\theta_n) + \lambda I)^{-1}J^T(\theta_n)F(\theta_n) \quad (3)$$

sendo $J^T(\theta_n)$ a matriz Jacobiana transposta, e I a matriz identidade que ajusta a dimensão das variáveis para que o cálculo seja possível.

Segundo o próprio Levenberg (1944) ao introduzir o parâmetro chamado de amortecimento ajustável λI, conforme descrito Equação (3), o algoritmo apresenta maior estabilidade [32]. O parâmetro ajustável influência na direção e no tamanho do passo do sistema, portanto a medida em que o parâmetro cresce, a direção tende a se aproximar do Gradiente Descendente (GD), caso contrário, se o parâmetro aproximar de zero ele tende a direção de Gauss-Newton (GN) [33].

1.4.1.3. MÉTODO DE HALLEY

Este método foi proposto no ano de 1694 por Edmund Halley para o cálculo das raízes de um polinômio. O brilhante cientista da época, ficou famoso por calcular a orbita do cometa que recebeu seu nome [34]. Este método exige avaliação dos termos derivativos de primeira e segunda ordem para encontrar a raiz, sendo expresso por:

$$\theta_{n+1} = \theta_n - \left[I - \frac{1}{2}L(\theta_n)\right]^{-1} J^{-1}(\theta_n)F(\theta_n) \tag{4}$$

sendo,

$$L(\theta_n) = J^{-1}(\theta_n)[H(\theta_n)]^T \tag{5}$$

Em que H é responsável por organizar as derivadas parciais de segunda ordem da função, conhecida como matriz Hessiana.

2. METODOLOGIA[A3]

Como o desenvolvimento do trabalho necessita de cálculos complexos, os ensaios foram baseados em um ambiente de simulação. A plataforma utilizada foi a *Matrix Laboratory* (Matlab®).

Na estrutura do robô, fixa-se um frame de referência mapeando o manipulador no espaço tridimensional X, Y e Z. Em seguida, obtém-se a cinemática direta e aplica-se a conversão dos parâmetros de Denavit-Hartenberg para extrair dados e obter as matrizes de transformação homogênea. Assim, pode-se descrever para cada par de elo-junta do manipulador, a trajetória do robô concatenando as matrizes. Por fim, utiliza-se os métodos numéricos implementados através do *software* para obter a solução da cinemática inversa em função dos ângulos de juntas θ_n. A fim de simplificar a execução do algoritmo no Matlab®, na Figura 2 se apresenta um pseudocódigo para descrever o funcionamento do código.

Figura 2 – Pseudocódigo

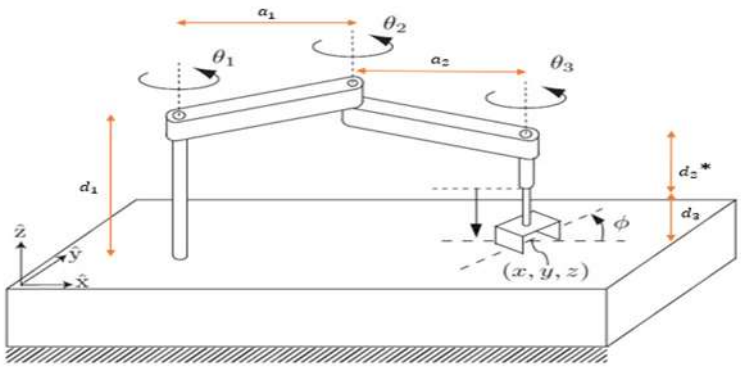
- Inicio
1. Declarações das variáveis ← $(a_1, a_2, d_1, d_2, d_3, \theta_1 \; e \; \theta_2)$
2. Posição Desejada ← $[p_x = 50,\ \mathrm{p_y} = -80,\ \mathrm{p_z} = 10]^{\mathrm{T}}$
3. Enquanto (erro $> 10^{-6}$)
4. Atualiza função do Método (NR, LM e Halley)
5. Sai do *Loop*
6. Enquadra em ângulos → (2π)
7. Verifica Cinemática Direta → (Posição Desejada)
- Fim
8. Calcula o erro

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Em uma avalição inicial a Figura 3 abaixo, tem-se:

Figura 3 – Manipulador SCARA e Variáveis



Fonte: Adaptado de [21].

Aplicaram-se os valores constantes inicias para d_1,d_2^*, d_3 sendo que o valor máximo do eixo Z é a distância da base do manipulador até a primeira junta rotativa, ou seja, é igual ao comprimento de d_1. A variável d_2^* na Figura 2 representa a junta prismática (P). Para o eixo X, tem-se a distância de a_1 e a_2 e por fim, os valores dos ângulos de juntas de θ_1 e θ_2 conforme descrito abaixo:

Tabela 1 – Valores para Posição e Orientação Inicial do Robô.

$\boldsymbol{a}\ (\boldsymbol{mm})$	***d* (mm)**	**θ (rad)**
$a_1 = 200$	$d_1 = 100$	$\theta_1 = 1{,}57079$
$a_2 = 150$	$d_2^* = 50$	$\theta_2 = 0{,}78539$
-	$d_3 = 40$	-

Sendo $F(x) = F(\theta)$. Os métodos propostos englobam um fator crucial na análise, que são os erros de posição e orientação do manipulador. As condições para o critério de parada para fins experimentais foram de utilizar um erro máximo de $1e^{-6}$, ou seja, $|erro|_{max} = 10^{-6}$. Esse parâmetro é suficiente para que o manipulador tenha uma aproximação ótima em relação a real desejada, haja visto que em outras literaturas foram utilizados erros de $0{,}1$ até $0{,}0001$ [30].

Dada a posição inicial do robô, agora é preciso estipular a posição final do manipulador para aplicar a cinemática inversa que irá trabalhar com a manipulação dos ângulos de juntas até obter o ponto final desejado. Para tal, o valor que foi adotado é de:

$$F(p_x, p_y, p_z) = \begin{bmatrix} 50 \\ -80 \\ 10 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Sendo que p_x, p_y e p_z são as respectivas coordenadas de posição do efetuador no espaço tridimensional.

3.2 DESEMPENHO DOS MÉTODOS

O desempenho do método de Newton-Rapshon construído com base na cinemática inversa apresenta os seguintes valores:

Tabela 2 – Resposta de NR

Iterações	Cinemática Direta (mm) $(\boldsymbol{p_x}, \boldsymbol{p_y}, \boldsymbol{p_z})$	Ângulos de Juntas (graus) $(\boldsymbol{\theta_1}, \boldsymbol{\theta_2})$
1	$[45{,}51929 \quad -336{,}11052 \quad 10{,}00000]^T$	$(-1{,}6514 \ , \ 6{,}7871)$
2	$[-231{,}73447 \quad 261{,}02091 \quad 10{,}00000]^T$	$(-4{,}0503 \ , \ 12{,}7156)$
3	$[53{,}243325 \quad -24{,}48239 \quad 10{,}00000]^T$	$(-18{,}8139 \ , \ 47{,}3006)$
4	$[35{,}19584 \quad -77{,}70044 \quad 10{,}00000]^T$	$(-19{,}2369 \ , \ 47{,}5256)$
5	$[51{,}22486 \quad -78{,}41534 \quad 10{,}00000]^T$	$(-19{,}0481 \ , \ 47{,}5852)$
6	$[49{,}98142 \quad -79{,}99009 \quad 10{,}00000]^T$	$(-19{,}0660 \ , \ 47{,}5898)$
7	$[50.00001 \quad -79{,}99998 \quad 10{,}00000\ ]^T$	$(-19{,}0658 \ , \ 47{,}5900)$
8	$[49{,}99999 \quad -79{,}99999 \quad 10{,}00000]^T$	$(-19{,}0658 \ , \ 47{,}5900)$

No método de Levenberg-Marquardt leva-se em consideração a constante de amortecimento ajustável, lambda. No primeiro momento lambda é ajustada para um número relativamente pequeno de $0{,}1$, sendo:

Tabela 3 – Resposta de LM e $\lambda = 0{,}1$

Iterações	Cinemática Direta $(\boldsymbol{p_x}, \boldsymbol{p_y}, \boldsymbol{p_z})$	Ângulos de Juntas (graus) $(\boldsymbol{\theta_1}, \boldsymbol{\theta_2})$
1	$[45{,}52070 \quad -336{,}11749 \quad 13{,}63636]^{\mathrm{T}}$	$(-1{,}6414 \ , \ 6{,}7769)$
2	$[-231{,}71838 \quad 261{,}00893 \quad 10{,}33057]^{\mathrm{T}}$	$(-4{,}0379 \ , \ 12{,}7182)$
3	$[46{,}16355 \quad 39{,}17841 \quad 10{,}03005]^{\mathrm{T}}$	$(-18{,}6533 \ , \ 46{,}9264)$
4	$[80{,}63309 \quad -73{,}12574 \quad 10{,}00273]^{\mathrm{T}}$	$(-18{,}7550 \ , \ 47{,}6896)$
5	$[52{,}65261 \quad -74{,}36689 \quad 10{,}00024\ ]^{\mathrm{T}}$	$(-19{,}0200 \ , \ 47{,}5673)$
6	$[49{,}82673 \quad -79{,}94523 \quad 10{,}00002]^{\mathrm{T}}$	$(-19{,}0675 \ , \ 47{,}5890)$
7	$[50{,}00023 \quad -79{,}99980 \quad 10{,}00000\ ]^{\mathrm{T}}$	$(-19{,}0657 \ , \ 47{,}5899)$
8	$[50{,}0000 \quad -80{,}00000 \quad 10{,}00000]^{\mathrm{T}}$	$(-19{,}0658 \ , \ 47{,}5899)$

No segundo teste do algoritmo de LM o valor de lambda é elevado em 100 vezes e assim:

Tabela 4 – Resposta de LM e $\lambda = 10$

Iterações	Cinemática Direta $(\boldsymbol{p_x}, \boldsymbol{p_y}, \boldsymbol{p_z})$	Ângulos de Juntas (graus) $(\boldsymbol{\theta_1}, \boldsymbol{\theta_2})$
1	$[45{,}65733 \quad -336{,}79444 \quad 46{,}36363]^{\mathrm{T}}$	$(-1{,}6442 \quad , \quad 6{,}7705)$
2	$[-229{,}41017 \quad 259{,}05195 \quad 43{,}05785]^{\mathrm{T}}$	$(-4{,}1180 \quad , \quad 12{,}8710)$
3	$[160{,}55386 \quad 120{,}09280 \quad 40{,}05259]^{\mathrm{T}}$	$(-11{,}1563 \quad , \quad 29{,}4643)$
...	...	...
184	$[50{,}00000 \quad -80{,}00000 \quad 10{,}00000]^{\mathrm{T}}$	$(-1{,}8081 \quad , \quad -9{,}8908)$

Nota-se que o valor do amortecimento ajustável possuí influência de maneira drástica no desempenho e comportamento do método. Foram calculadas 184 iterações para que a função encontrasse a solução esperada, respeitando o critério de parada. Com um erro calculado em 10^{-6} e o tempo de execução de $\mathbf{0,0479545}$ segundos. Nota-se que lambda pode deixar o sistema instável, a ponto de distanciar a função da convergência.

Por fim, o método de Halley que tem como principal destaque manipulações das derivadas de segunda ordem, que proporciona maior quantidade de manipulações matemáticas e consequentemente maiores operações computacionais.

Tabela 5 – Resposta de Halley

Iterações	Cinemática Direta $(\boldsymbol{p_x}, \boldsymbol{p_y}, \boldsymbol{p_z})$	Ângulos de Juntas (graus) $(\boldsymbol{\theta_1}, \boldsymbol{\theta_2})$
1	$[376{,}32722 \quad 168{,}29472 \quad 10{,}00000]^{\mathrm{T}}$	$(0{,}5343 \quad , \quad -10{,}4179)$
2	$[228{,}56857 \quad 74{,}05977 \quad 10{,}00000]^{\mathrm{T}}$	$(0{,}7352 \quad , \quad -8{,}0283)$
3	$[64{,}42906 \quad -61{,}23766 \quad 10{,}00000]^{\mathrm{T}}$	$(0{,}4828 \quad , \quad -9{,}1869)$
...	...	...
27	$[49{,}99999 \quad -80{,}00000 \quad 10{,}00000]^{\mathrm{T}}$	$(-0{,}2163 \quad , \quad -8{,}9586)$

A terceira junta do manipulador robótico, a junta prismática (P), possuí um valor de $50mm$ inicial. O mesmo, permanece com este valor até o final das iterações, variando somente os ângulos das juntas rotativas (R) θ_1 e θ_2, como pode ser observado nas tabelas acima.

Para comparar os algoritmos descritos acima de forma mais eficiente foi implementada uma função na qual executou cada método dez vezes a fim de extrair uma média do tempo de execução, o que resultou em:

Tabela 6 – Média de Comparação Entre os Algoritmos NR, LM e Halley

Métodos	Tempo de Execução (s)	N° de Iterações	Erro
NR	0,0424127	8	10^{-12}
LM ($\boldsymbol{\lambda = 0,1}$)	0,0434642	8	10^{-6}
LM ($\boldsymbol{\lambda = 10}$)	0,0469822	184	10^{-6}
Halley	0,0454014	27	10^{-6}

Os resultados obtidos através da implementação de cada algoritmo, mostra suas particularidades conforme a Tabela 6.

O NR tem o menor tempo de execução e erro amostrado. O fator de amortecimento λ do método de LM apresentou soluções distintas conforme o mesmo é manipulado, o que corrobora as literaturas [31] [33] em que se afirmou, que quando o fator de amortecimento cresce ele tende a direção do algoritmo de GD e ao se aproximar de zero ele tende ao algoritmo de GN. Pode-se obter uma convergência mais rápida e com menos iterações com o fator menor que um, caso contrário a equação vai para o lado oposto da raiz, dificultando ou não existindo uma solução.

O método de Halley calcula as derivadas de segunda ordem, consequentemente, o custo por iteração e requerimento de memória são maiores, portanto, apresentou um tempo maior para a execução do algoritmo. Porém, o método de Halley em geral necessita de menos iterações do que os outros métodos propostos aqui para atingir a mesma precisão [34]. Devido ao alto custo computacional para problema de grande porte, o método de Halley é pouco explorado na atualidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS[A4]

O presente trabalho abordou uma análise da cinemática direta e inversa de um robô tipo SCARA, onde os algoritmos de métodos numéricos buscaram uma solução ótima para o sistema implementado no software Matlab®. Selecionou-se o manipulador, devido a sua importância na área da robótica e implementações industriais, principalmente na indústria de eletro/eletrônico para montagem de placas.

Descreveram-se as equações para a modelagem da cinemática direta e feita a aplicação dos parâmetros de Denavit-Hartenberg. Posteriormente, obtive-se a matriz de transformação homogênea individual de cada par de elo/junta do manipulador. Então, utilizou-se os métodos numéricos para alcançar as soluções em cadeia aberta. Na simulação, realizaram-se os algoritmos de Newton-Raphson, Levenberg-Marquardt e Halley, esses apresentaram resultados de simulação individuais. Por fim, compararam-se os desempenhos entre os algoritmos, que analisou o número de iterações, tempo de execução e erro.

Dentro das simulações, ocorreram dois destaques. O método de Levenberg-Marquardt com o fator de amortecimento menor que um, com uma média de tempo de execução de $0{,}0434642$ segundos e o método de Newton-Raphson, que possuí um erro relativamente menor de 10^{-12} e com um tempo de execução de $0{,}0424127$ segundos. Constatou-se que o método com o melhor desempenho foi Newton-Raphson, a partir das condições aplicadas neste trabalho.

O trabalho aqui apresentado é de grande valia para fins práticos e didáticos, pois foram abordados temas e conceitos relativos à cinemática dos manipuladores robóticos, além de, tratar de conceito da cinemática inversa em uma cadeia de solução aberta. Existem diversos métodos numéricos iterativos como por exemplo: Broyden, máxima descida, Chebyshev, Potra-Ptak dentre outros. Ao trabalhar com problemas de otimização não linear há sempre uma preocupação com relação a escolha do melhor método a ser empregado que visa uma boa aproximação e ao mesmo tempo não tenha um custo computacional elevado e possa ser factível.

Espera-se que com esse trabalho, ocorra engajamento nos estudos da robótica, cálculo numérico, algoritmos computacionais e áreas relacionadas. Como propostas de estudos futuros, pode-se adicionar a implementação do algoritmo que leva em consideração os limites de juntas do manipulador robótico, e também a possibilidade de utilizar outras soluções para a cinemática inversa como o caso de soluções analíticas, soluções *data-driven* e soluções híbridas. Ainda, a implementação do algoritmo de Halley para eventos com maiores números de iterações para análise da sua precisão.

REFERÊNCIAS

[1] MATARIC, Maja J. Introdução a Robótica. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

[2] CRAIG, J. J. Robótica. 3. ed. São Paulo: Pearson education, 2012.

[3] DENAVIT, J.; HARTENBERG, R. S. A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices. Journalof Applied Mechanics, p 215-221, New York, 1955.

[4] KENWRIGTH, B. Real-Time Character Inverse Kinematics Using The Gauss-Seidel Iterative Approximation Method. The Fourth International Conferenceon Creative Content Technologies. Nice, 2012.

[5] ROSSINI, Flávio Luiz; SILVA JUNIOR, Paulo Roberto Machado; ALCANTARA, Carlos Vinicius Boduar de. Modelagem Dinâmica e Simulação do Sistema de Controle Não Linear do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi. In: BARBOSA, F.C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 17ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p. 173-194. ISBN 9786553674240. Disponível em: https://doi.org/10.37423/231208504. Acesso em: 1 fev. 2024.

[6] SILVA JUNIOR, Paulo Roberto Machado; ALCANTARA, Carlos Vinicius Boduar de; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Cinemática e Simulação do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1242-5774dc898fc34571c5a99a2ce390c2fb2879ad8bbf64ce2679d20019d20ef389.pdf. Acesso em: 04 dec. 2023.

[7] REZENDE, Luiz Gustavo; ROSSINI, Flávio Luiz. Simulação da Cinemática Inversa de um Robô SCARA através da Implementação de Algoritmos por Métodos Numéricos. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1030-6e8692fec9f5f2ab4d8afc8731acc92f7728f53607852cc10cc16def5e9d3215.pdf. Acesso em: 04 dec. 2023.

[8] TAKANO, Gabriele Vilas Boas Takano; TANK, Jonatas Silva; SILVA, Luana Aparecida Santos da; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Simulação da Cinemática Direta do Multifuncional T3-401S Synthis Robô SCARA, Fabricante Epson. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1238 7e7c319b5b15be5b653a4cc91d8e32a6d5ecd49ea2c7d2b3e6f1864d1066d620.pdf. Acesso em: 04 dec. 2023.

[9] ROSSINI, Flávio Luiz; ABREU, Leonardo de Melo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem Cinemática, Planejamento e Geração de Trajetória para um Robô Modelo SCARA através de Aplicativo para Análise Gráfica. In: In: SOARES, A.M.. Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos, 7. Ponta Grossa: Aya, 2023. p. 43-58. ISBN 9786553792999. Disponível em: https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.211.4. Acesso em: 13 set. 2023.

[10] ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Periçaro; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modeling, Simulation, Motion Trajectory Planning and Nonlinear Control in the Joint Space of the Manipulator Robot SCARA T3 401SS Manufacturer Epson. Seven Editora, [S. l.], 2023. Disponível em: https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1092. Acesso em: 21 mar. 2024.

[11] ABREU, Leonardo De Melo; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem cinemática de um robô modelo SCARA e desenvolvimento de aplicativo para análise gráfica. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2022, UTFPR Santa Helena. Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Recife, Brasil: Even3, 2022a. Disponível em: https://doi.org/10.29327/1152426.1-2. Acesso em: 13 set. 2023.

[12] ROSSINI, Flávio Luiz; LOPES, João Marcos Periçaro; ABREU, Leonardo de Melo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem, Simulação e Controle de Trajetória do Robô Manipulador SCARA SR-6 IA através de um Aplicativo Matlab®. In: PERBICHE, J.P.. Ciências exatas estudos e desafios. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2022. p. 248-278. ISBN 9786581028824. Disponível em: https://doi.org/10.35587/brj.ed.0001995. Acesso em: 13 set. 2023.

[13] LIMA, Bruno Suracci de; ROSSINI, Flávio Luiz; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Periçaro; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modelagem, Simulação e Análise de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS Fabricante EPSON. In: DALLAMUTA, J; HOLZMANN, H. A.. Engenharia Elétrica: Sistemas de energia elétrica e telecomunicações. Ponta Grossa: Atena Editora, 2022. p. 108-125. Disponível em: https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217088. Acesso em: 13 set. 2023.

[14] ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Periçaro; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modelagem, Simulação, Planejamento de Trajetória e Controle Não Linear no Espaço de Juntas de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS - Epson. In: BARBOSA, F. C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 13ª edição. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN 9786553673106. Disponível em: https://doi.org/10.37423/230407596. Acesso em: 13 set. 2023

[15] FUDOLI, Fábio; BLESSA, Lucas; SOUZA, Júlio; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem da Cinemática Direta e Inversa do Robô SCARA EPSON G10-851S. In: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, 2016.

[16] MARTINES, Francine; MELO, Larissa; CHICHANOSKI, Gustavo; MUNARINI, Bruno; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática da Cinemática Direta do Robô Manipulador SCARA Modelo G-10/G-20. In: V Ciclo de Palestras: Perspectivas Matemáticas - V CIPEM. Campo Mourão, 2015.

[17] ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática da Dinâmica do Robô Manipulador RC 180, Empresa EPSON, via Formulação Lagrangiana. II Simpósio De Tecnologia e Engenharia Eletrônica - II SIMTEEL. Campo Mourão, 2014

[18] D'ABREU, J, V, V. Robótica Pedagógica: Percursos e Perspectivas. In: Workshop de Robótica Educacional. São Paulo: USP, 2014.

[19] SILVA, R. B; BLIKSTEIN, P. Robótica Educacional: Experiências inovadoras na Educação Brasileira. Porto Alegre: Penso, 2020.

[20] ALMEIDA, M, V, G. Estudo da Concepção de um Robô Paralelo de Três Graus de Liberdade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

[21] LYNCH, K. M.; PARK, F.C. ModernRobotics. 1. ed. Cambridge University Press, 2017.

[22] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. World Robotics Report 2023. Disponível em: https://ifr.org/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas. Acesso em: 04out. 2023.

[23] BAYER, F. M. et. al. Automação de Sistemas. Santa Maria, 2011.

[24] FARNESE, Matheus A. Algoritmos Evolutivos Para Solução Da Cinemática Inversa De Robôs Com Até Sete Graus De Liberdade: Um Estudo Da Aplicabilidade Em Processos De Mineração. Minas Gerais, 2020.

[25] SANTOS, V. M. F. Robótica Industrial. Universidade de Aveiro, 2004.

[26] ARISTIDOU, A. *et al*. Inverse Kinematics Techniques in Computer Graphics: A Survey. Computer graphics fórum. Helsinki: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2017.

[27] TAYLOR, J. R. Classical Mechanics. University Science Books, 2005.

[28] SOUZA, E. A. Métodos Iterativos Para Problemas Não Lineares. Volta Redonda, 2015. Dissertação.

[29] RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. R. Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais. 2ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2014.

[30] BUSS, S. R. Introduction to Inverse Kinematics with Jacobian Transpose, Pseudoinverse and Damped Least Squares Methods. University of California. San Diego, 2009.

[31] LIMA, G. W. Ajuste Ótimo por Levenberg-Marquardt de Métodos de Previsão para Iniciação de Trinca. Dissertação de Mestrado. Pontifica Universidade Católica. Rio de janeiro, 2022.

[32] LEVENBERG, K. A Method For The Solution Of Certain Problems In Least Squares. Quarterlyof Applied Mathematics, 2. p. 164-168, 1944.

[33] ALVES, T. W. Novo Método Iterativo de Localização da Câmera Baseado no Conceito de Resection-Intersection. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2021.

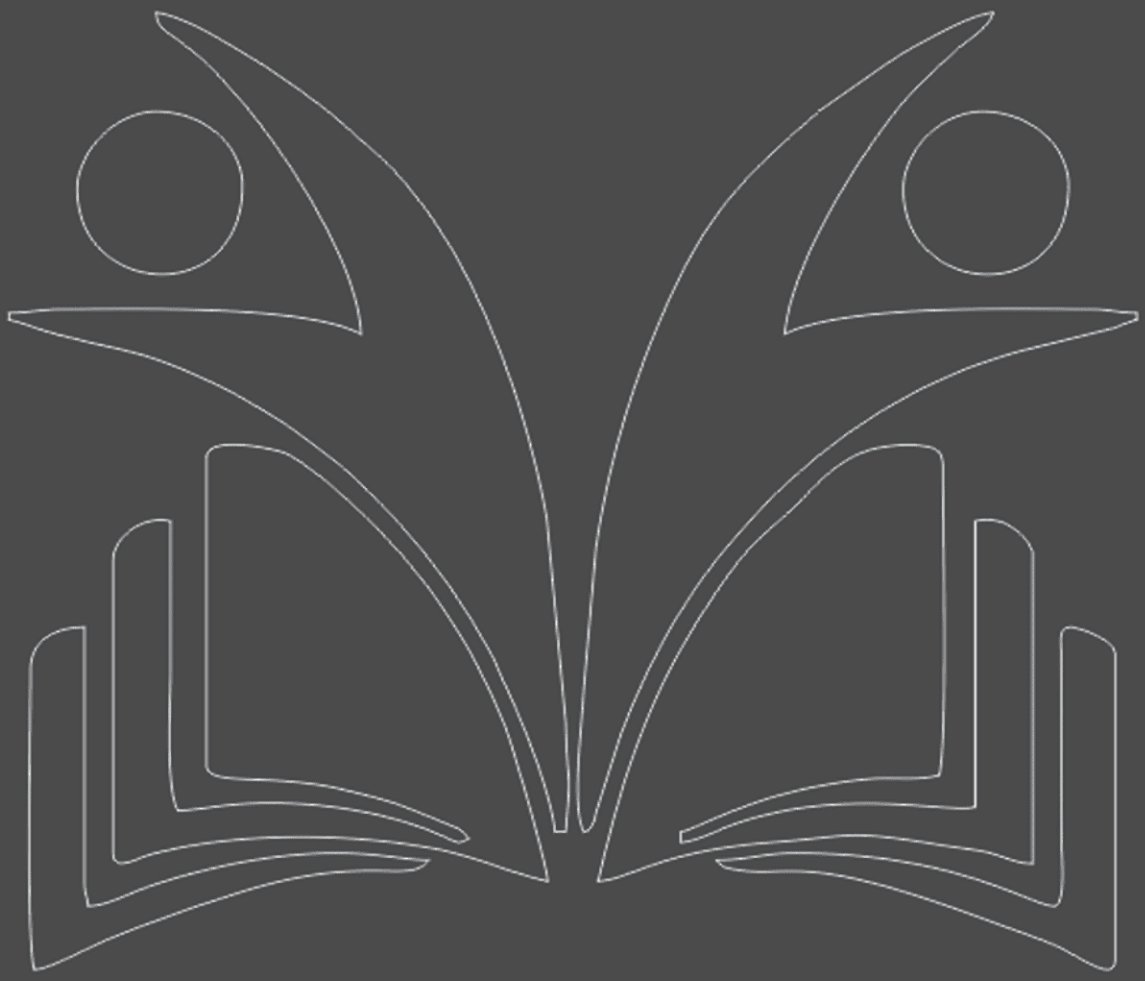
[34] FERREIRA, D. G. Métodos de Otimização de Terceira Ordem.Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2013.

Capítulo 5

10.37423/240408907

O CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO: UMA ABORDAGEM DO DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO

Leticia Col Debella Santos — *Universidade Estadual de Ponta Grossa*



1. INTRODUÇÃO

O concreto convencional, apesar das inúmeras aplicações na engenharia, possui algumas limitações devido à sua baixa resistência a tração. Como alternativa tem-se o concreto reforçado com fibras de aço (CRFA), cujo comportamento estrutural caracteriza-se por uma resistência à tração residual pós-fissuração. Resistência essa, oriunda da capacidade das fibras de transferir as tensões das fissuras internas do concreto para as fibras, agregando tenacidade ao material. A figura 1 mostra a diferença no diagrama tensão *x* deformação da tração do concreto simples, para o CRFA. Pode-se perceber que a curva do diagrama do CRFA possui, além de uma força máxima de tração ligeiramente maior, mais deformação.

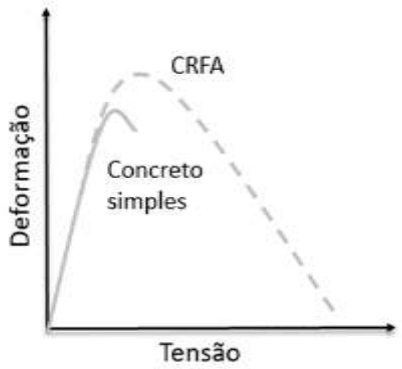


Figura 1: diagrama tensão x deformação da tensão para o concreto simples e CRFA

Uma das grandes vantagens do uso do CRFA é a redução do custo da construção, já que encurta o tempo de execução no momento em que elimina ou diminui a etapa de arranjo de armadura. A redução da armadura convencional pode ser muito útil em obras de cunho arquitetônico, como o telhado a céu aberto de Maison de l'écriture (figura 2a) na Suíça, onde os 20 kg/m³ de fibras auxiliaram nas regiões de difícil execução. Também, no caso do Parque Oceanográfico de Valencia na Espanha (figura 2b), onde a casca da edificação foi feita com tela de aço e concreto com fibras de aço.



Figura 1: Maison de l'écriture (a) e Parque Oceanográfico de Valencia em (b)

As aplicações do CRFA no continente europeu ganharam mais espaço nas últimas duas décadas, devido principalmente à publicação de normativas. Figueiredo (2011) mostrou que no Brasil a aplicação do CRFA se limita ainda a pavimentos industriais e concreto projetado, sendo necessária uma normativa confiável para expandir seu uso na indústria da construção civil.

Para fins de dimensionamento, uma questão ainda amplamente discutida na literatura é a resistência ao cisalhamento de elementos estruturais de CRFA. Isto porque, o ganho na resistência a flexão desses elementos é relativamente baixo, e a grande vantagem da incorporação das fibras no concreto pode ser proveniente da eliminação total ou parcial dos estribos. O uso de fibras de aço como reforço de cisalhamento é interessante para o projeto de lajes unidirecionais e bidirecionais, bem como para reduzir o congestionamento do reforço em vigas fortemente reforçadas. Dessa forma, o tempo e os custos de construção podem ser reduzidos

O grande problema do dimensionamento de elementos de CRFA ao cisalhamento é que não existe um modelo mecânico que seja capaz de descrever completamente o comportamento do material a este tipo de esforço. A dificuldade se dá em obter um modelo onde não haja nenhum reforço ao cisalhamento (estribos) e que a falha se dê justamente a partir do cisalhamento. Os esforços de flexão ainda predominam, fazendo com que a peça falhe devido à tração na flexão, e não ao cisalhamento.

Essa dificuldade em se ter um modelo adequado, faz com que a análise, tanto numérica quanto experimental, fique comprometida. A prova disso é que a maioria das equações de dimensionamento presentes na literatura e nas normativas internacionais, são empíricas.

Assim, este artigo apresenta uma revisão da bibliografia a respeito da evolução das análises de elementos de CRFA com relação ao dimensionamento ao cisalhamento. Essa evolução, tanto numérica quanto experimental, é acompanhada da evolução das publicações de normas e diretrizes internacionais.

2. O ESTUDO DO CISALHAMENTO EM ELEMENTOS DE CRFA AO LONGO DO TEMPO

Os primeiros estudos sobre o cisalhamento em elementos estruturais de CRFA datam dos anos 70. Porém, um dos primeiros a se destacar no meio acadêmico foi o trabalho de Narayanan e Darwish de 1987 (LANTSOGHT, 2019). Os autores testaram 49 vigas através do ensaio de flexão, e dentre as principais considerações, puderam concluir que o aumento da resistência ao cisalhamento atribuível às fibras de aço variou de 13% a 170%. Foi possível também obter uma das primeiras equações

preditivas da resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado com o acréscimo de fibras de aço.

Para exemplificar melhor a evolução dos estudos de elementos de CRFA ao cisalhamento, a figura 3 mostra uma linha do tempo com alguns dos principais trabalhos a respeito do assunto. A linha do tempo acompanha a evolução na ideologia sobre como abordar o dimensionamento ao cisalhamento, e também a publicação das principais normas internacionais.

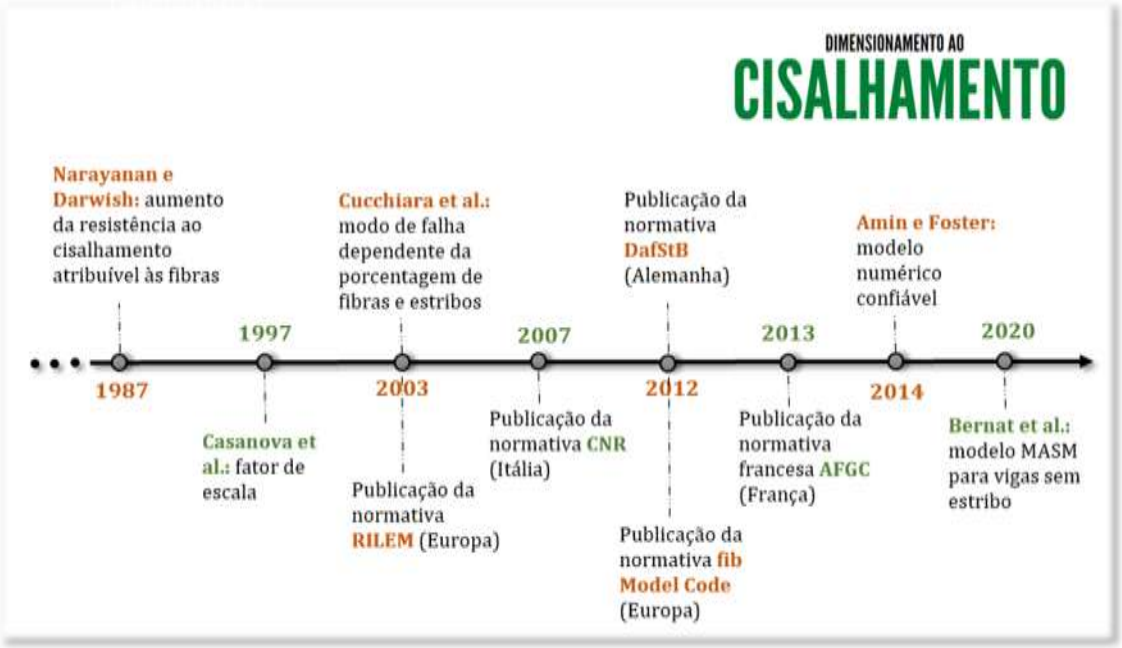


Figura 3: linha do tempo do dimensionamento ao cisalhamento de elementos de CRFA

Nos 10 anos seguintes ao trabalho de Narayanan e Darwish, a pesquisa girava em torno de testes com vigas, variando a quantidade de estribo presente. Os trabalhos testavam vigas sem nenhum tipo de estribo, e também com porcentagens diferentes de estribos e fibras. Em sua maioria, o ensaio utilizado era o de flexão de 3 ou 4 pontos, e mostravam um aumento na capacidade resistente ao cisalhamento com relação à presença das fibras. Apesar dos resultados promissores, não houve nenhum tipo de correlação entre o aumento proporcional de fibras e de resistência ao cisalhamento.

Em 1997, Casanova, Rossi e Schaller (Lantsoght, 2019) ensaiaram vigas retangulares e em “T”. Os autores identificaram um efeito de escala ligado à altura da viga. Quanto maior a altura, maior a abertura de trinca na falha, e menor a tensão residual do material que era transportada pelas fibras. Foi um trabalho inovador na época, onde deu brecha à discussão a respeito da representatividade dos corpos de prova, já que estes são moldados em tamanhos diferentes das estruturas reais.

Até o início dos anos 2000, os estudos continuaram investigando a influência do reforço de fibras no cisalhamento de vigas de concreto armado. As principais variáveis eram a fração volumétrica de fibras de aço, que raramente ultrapassava os 1% em teor de fibra, e a proporção de estribos utilizada. De forma geral, os resultados mostraram que a resistência ao cisalhamento aumenta significativamente à medida que o teor de fibras aumenta e a melhoria na resistência ao cisalhamento última também é alcançada. Alguns trabalhos propunham equações para prever essa resistência ao cisalhamento, que continuamente tinham alta dispersão nos resultados.

Em 2003 Cucchiara, Mendola e Papia (Lantsoght, 2019) também testaram vigas pelo ensaio a flexão de 3 pontos. Os autores foram capazes de perceber que dependendo da quantidade de estribos e fração volumétrica de fibras, o mecanismo de colapso muda, podendo ser referente ao cisalhamento ou à flexão. Os resultados mostraram que a inclusão de fibras em porcentagem adequada pode alterar o modo frágil de falha, caracterizando o colapso do cisalhamento como dúctil. Assim, chegou-se a conclusão que o acréscimo de fibras na mistura podia ser uma alternativa à simplesmente aumentar a quantidade de estribo.

A discussão em torno do comportamento de falha das vigas de concreto armado com fibras de aço cresceu com o passar do tempo. Percebeu-se, de forma geral, que falha de cisalhamento de uma viga sem estribos é frágil, abrupta. E mesmo com vários autores publicando equações para prever a resistência ao cisalhamento, os valores dessas equações variavam significativamente. A dispersão dos resultados e a dificuldade dos pesquisadores em reproduzir resultados já publicados, ocasionou o interesse de inserir essa discussão em normativas.

Em 2003, à luz das discussões em torno do dimensionamento de elementos de CRFA, já existiam algumas normativas de concreto que incluíam a adição na resistência a tração em virtude das fibras de aço. A Alemanha, por exemplo, já havia publicado a norma DBV (German Concrete Association). No entanto, nem todos os códigos e normas prescreviam disposições que incluíam a resistência adicional ao cisalhamento proveniente das fibras de aço. O RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, System and Structures), uma das normativas pioneiras em incorporar o cisalhamento no dimensionamento do CRFA, baseou-se no dimensionamento do concreto convencional do Eurocode EN 1992-1-1:2004. Foi acrescentada uma parcela de resistência referente à incorporação das fibras de aço, a qual foi modificada e discutida nas publicações de outras normativas nos anos seguintes.

A Itália publicou em 2007 sua normativa CNR (Guide for the Design and Construction of Fiber-Reinforced Concrete Structures), a qual o fib Model Code 2010, de 2012, possui muita similaridade na questão das equações de cisalhamento. Ambas, assim como o RILEM, foram baseadas na equação de dimensionamento do concreto convencional da Eurocode EN 1992-1-1:2004, adicionando o efeito das fibras nas expressões originais. A normativa italiana é ligeiramente mais conservadora na questão da resistência mínima em comparação ao fib Model Code.

A Alemanha (DAfStB-Richtlinie Stahlfaserbeton) trouxe em 2012 na sua normativa as expressões para o dimensionamento ao cisalhamento, muito similares às outras normativas. Todas elas são baseadas na Eurocode, mas acrescentada a parcela de contribuição de resistência das fibras. As variações se dão nos valores dos coeficientes de segurança e ponderação existentes. A norma alemã, em comparação com a fib Model Code por exemplo, é sutilmente mais conservadora.

Em 2013 a França publicou sua normativa (Association Française de Génie Civil – AFGC), na qual a maior contribuição foi a expansão das equações para seções transversais além da seção retangular e seção-T.

De forma geral, as normas citadas RILEM, CNR, fib Model Code, DafStB e AFGC, abordam a resistência ao cisalhamento *(V_{Rd})* sendo dada, portanto, pela soma da parcela referente ao concreto *($V_{Rd,c}$)* e pela parcela referente às fibras *($V_{Rd,f}$),* da forma:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

onde a resistência do concreto *($V_{Rd,c}$)* é em função do *fck* e da seção transversal da peça, e a resistência referente às fibras *($V_{Rd,f}$)* é em função das resistências à tração retirada do ensaio à flexão de 3 pontos, e também da seção transversal da peça. Essas normas basearam suas formulações na Eurocode EN 1992-1-1:2004, e a grande diferença entre a elas são os valores dos coeficientes de minoração usados no cálculo dessas resistências.

Os anos 2000 trouxeram, além das publicações de normativas, o avanço tecnológico dos computadores. Com computadores mais potentes, os softwares de modelagem numérica através do Método dos Elementos Finitos (MEF) se disseminaram na engenharia. A possibilidade de se analisar um modelo mecânico computacionalmente complementou os extensos estudos experimentais feitos até então.

Modelar numericamente o CRFA envolve a correta inserção no software das suas propriedades não lineares. Representar o correto modo de falha do material é particularmente importante quando a

propagação de trincas influencia a resposta global do elemento estrutural. Assim, um dos desafios computacionais é definir este modelo do comportamento do CRFA ao cisalhamento, que seja real e computacionalmente viável. Um exemplo de que, se calibrado corretamente, o modelo numérico representa com precisão o CRFA, a figura 4 de Amin e Foster (2014) mostra o desenvolvimento da deformação e formação de fissuras de uma viga de CRFA. Em 4a pode ser visto o padrão de fissuração para um deslocamento no meio do vão de 7 mm, onde em verde, podem ser vistas fissuras típicas do cisalhamento. Próximo da carga de pico, em 4b pode ser visto que as fissuras oriundas da flexão aparecem. Em 4c, após o pico de carga, a localização e inclinação das trincas são compatíveis com os resultados experimentais, representados em 4d. E finalmente, em 4e, a curva de força de cisalhamento versus deslocamento dos resultados numéricos e experimentais, onde é possível ver a semelhança dos resultados.

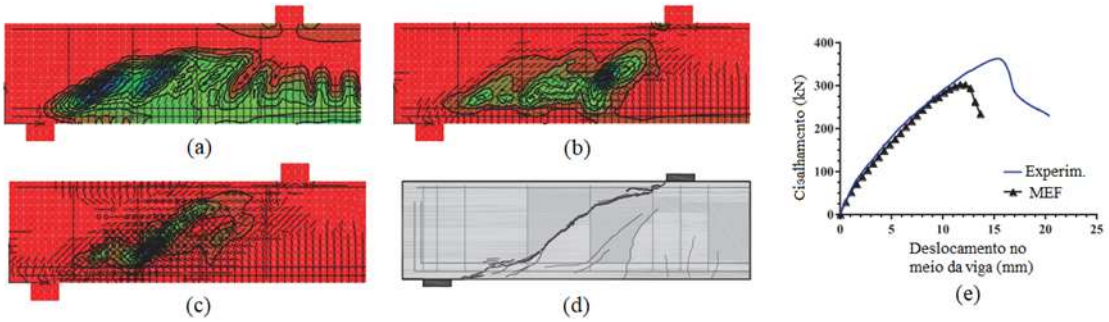


Figura 4: Resposta não linear e padrões de trinca de uma viga de CRFA: (a) deformação de 7 mm; (b) Deformação na carga de pico; (c) deformação pós pico (d) padrão de trinca real e (e) comparação de resultados experimentais e numéricos.

Os avanços na engenharia seguem trazendo bons resultados, favorecendo cada vez mais o projeto de CRFA. Recentemente em 2020, Bernat et al. avaliaram um modelo mecânico para vigas de CRFA chamado Multi Action Shear Model – MASM (Modelo de Cisalhamento de Múltiplas Ações). A teoria do MASM é recente, e calcula a resistência ao cisalhamento avaliando a viga como um todo, onde o esforço é influenciado por diversos outros parâmetros. Basicamente, a resistência ao cisalhamento (V_{Rd}) é dada por:

$$V_{Rd} = V_c + V_w + V_l + V_s \qquad \text{(Eq. 2)}$$

onde V_c é o cisalhamento resistido pela região comprimida não fissurada da seção transversal, V_s é o cisalhamento resistido pelo estribo, se existir, V_w é o cisalhamento transferido pelas trincas e V_l é a ação da armadura longitudinal. Essa teoria vai contra a principal premissa das normativas, onde, conforme já exposto anteriormente, a parcela de resistência ao cisalhamento proveniente das fibras é simplesmente adicionada à do concreto. Os resultados do trabalho de Bernat et al. de 2020 foram

promissores, e a resistência ao cisalhamento calculada pelo MASM mostrou-se mais efetiva que a resistência calculada pelas normativas existentes.

Não só o trabalho de Bernat et al. (2020), mas toda uma gama de trabalhos recentes possibilitaram o entendimento de que as fibras influenciam toda a mecânica do elemento. É sabido por exemplo que a maior resistência ao cisalhamento nas vigas de CRFA se deve ao efeito de ponte de tensões, onde a lenta progressão das trincas mantém a profundidade da zona de compressão grande. Quanto maior a zona de compressão, mais tardia é a falha por cisalhamento.

Ao passo que o entendimento de se avaliar o cisalhamento sendo dependente de vários parâmetros mecânicos dos elementos de CRFA, fica mais evidente que abordagem de cálculo das normas citadas está incompleta. Simplesmente introduzir uma parcela de contribuição das fibras ao cisalhamento do concreto não é incorreto, mas é uma ideia que merece complemento. Esse fato é uma das prerrogativas para que o estudo do dimensionamento ao cisalhamento de elementos de CRFA siga tendo importância acadêmica, onde ainda se buscam equações mais confiáveis para aplicação.

3. OS DESAFIOS DA ENGENHARIA NO DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO DO CRFA

Dadas as situações onde o cisalhamento segue sendo objeto de discussão, seja por discrepâncias entre resultados experimentais, ou por formulações incompletas, é razoável supor que ainda existem desafios a serem vencidos para se obter um projeto correto e otimizado.

Uma abordagem interessante e que cabe muito bem ao CRFA, é a ideia de se ter um projeto holístico de estruturas (Cavalaro, Blanco e Pieralisi, 2019). O CRFA é um material que tem suas propriedades mecânicas muito influenciadas por fatores que envolvem desde a concepção, até a execução da estrutura. A orientação das fibras, por exemplo, que influencia significativamente a resistência à tração, pode ser controlada na etapa de lançamento do concreto.

A ideia holística é que se tenha uma proximidade maior entre o engenheiro projetista e as etapas do projeto estrutural. O projeto pensado como um todo possibilita mais controle de qualidade, onde definições a favor da otimização e economia poderiam ser adotadas na etapa de concepção. Assim, tomando novamente o exemplo da orientação das fibras, o projetista pode ter esse conhecimento prévio e adotar no dimensionamento. A consolidação do adotado na concepção se dá na etapa de industrialização e execução da estrutura, onde o engenheiro projetista pode controlar etapas, e garantir que a concepção seja efetivada.

Com essa integração das etapas do projeto estrutural, a tendência é que alguns coeficientes de minoração possam ser total ou parcialmente eliminados. Isso porque as definições adotadas no dimensionamento, oriundas de um projeto holístico, não dão brechas às incertezas, já que se tem um controle de qualidade mais apurado. Com menos incertezas, menos coeficientes de minoração, mais resistência aos elementos estruturais, e mais econômico o projeto fica.

A figura 5 mostra as etapas do processo holístico, que iniciam no processo de concretagem, de onde pode ser controlada a orientação das fibras. Após isso, a caracterização mecânica em laboratório é feita, e um modelo constitutivo confiável e concordante com os resultados experimentais é adotado. Por fim, o projeto final é concebido baseando-se em informações reais.

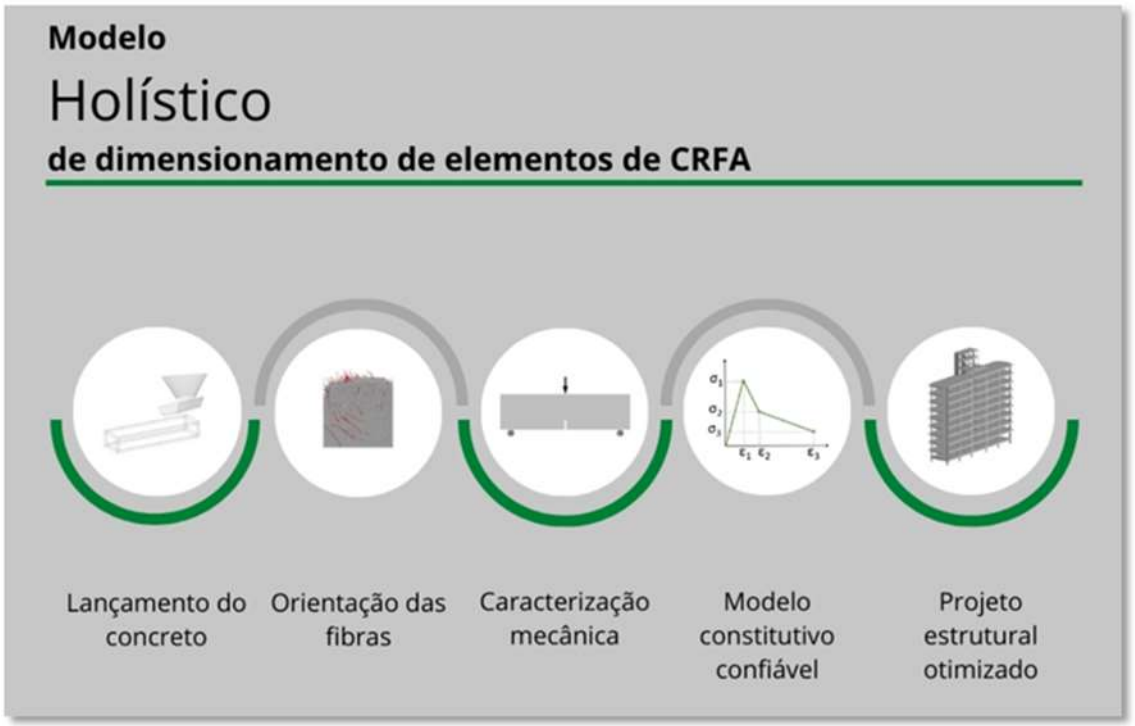


Figura 5: modelo de projeto holístico de estruturas de CRFA

4. CONCLUSÕES

Este artigo abordou a problemática do dimensionamento ao cisalhamento de elementos de CRFA. A partir de uma linha do tempo, alguns dos principais trabalhos mostraram a evolução do tema, bem como a concomitante publicação de normativas internacionais. De maneira geral, foi possível perceber que inicialmente o dimensionamento ao cisalhamento era baseado apenas em resultados experimentais, de onde algumas equações empíricas surgiram.

A inserção da resistência ao cisalhamento nas normas internacionais se deu, basicamente, incorporando à equação do dimensionamento do concreto da Eurocode uma parcela referente ao ganho de resistência das fibras. Com o avanço nos estudos, e análises computacionais aprimoradas, foi possível perceber que a incorporação das fibras de aço no concreto modifica o seu comportamento mecânico como um todo. A simples adição da parcela de resistência oriunda das fibras é uma simplificação que merece atenção, e possíveis complementações.

Além disso, a engenharia pode se encaminhar para a evolução do projeto estrutural ao usar o CRFA, onde uma abordagem holística é utilizada. Uma correspondência mais próxima entre o elemento e a função que ele executa em um conjunto de estrutura pode ser buscada no projeto. Esse controle das etapas otimiza a construção, já que o dimensionamento traz valores mais realísticos, e consequentemente, mais econômicos.

REFERÊNCIAS

AMIN, A.; FOSTER, S. J. Numerical modelling of large scale steel-fibre-reinforced reinforced concrete beams failing in shear. American Concrete Institute, ACI Special Publication, v. 2014-July, n. SP 310, p. 161–170, 2014.

CAVALARO, S. H. P.; BLANCO, A.; PIERALISI, R. Holistic modelling approach for special concrete: from fresh - to hardened - state. RILEM Technical Letters, v. 3, p .84-90, 2019.

FIGUEIREDO, A. D. DE. Concreto Reforçado Com Fibras. Livre Docência, p. 246, 2011.

LANTSOGHT, E. O. L. How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups? Composites Part B: Engineering, v. 175, n. June , 2019.

MARÌ BERNAT, A.; SPINELLA, N.; RECUPERO, A.; CLADERA, A. Mechanical model for the shear strength of steel fiber reinforced concrete (SFRC) beams without stirrups. Materials and Structures, v. 53, n. 2, 2020.

Capítulo 6

10.37423/240408911

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO

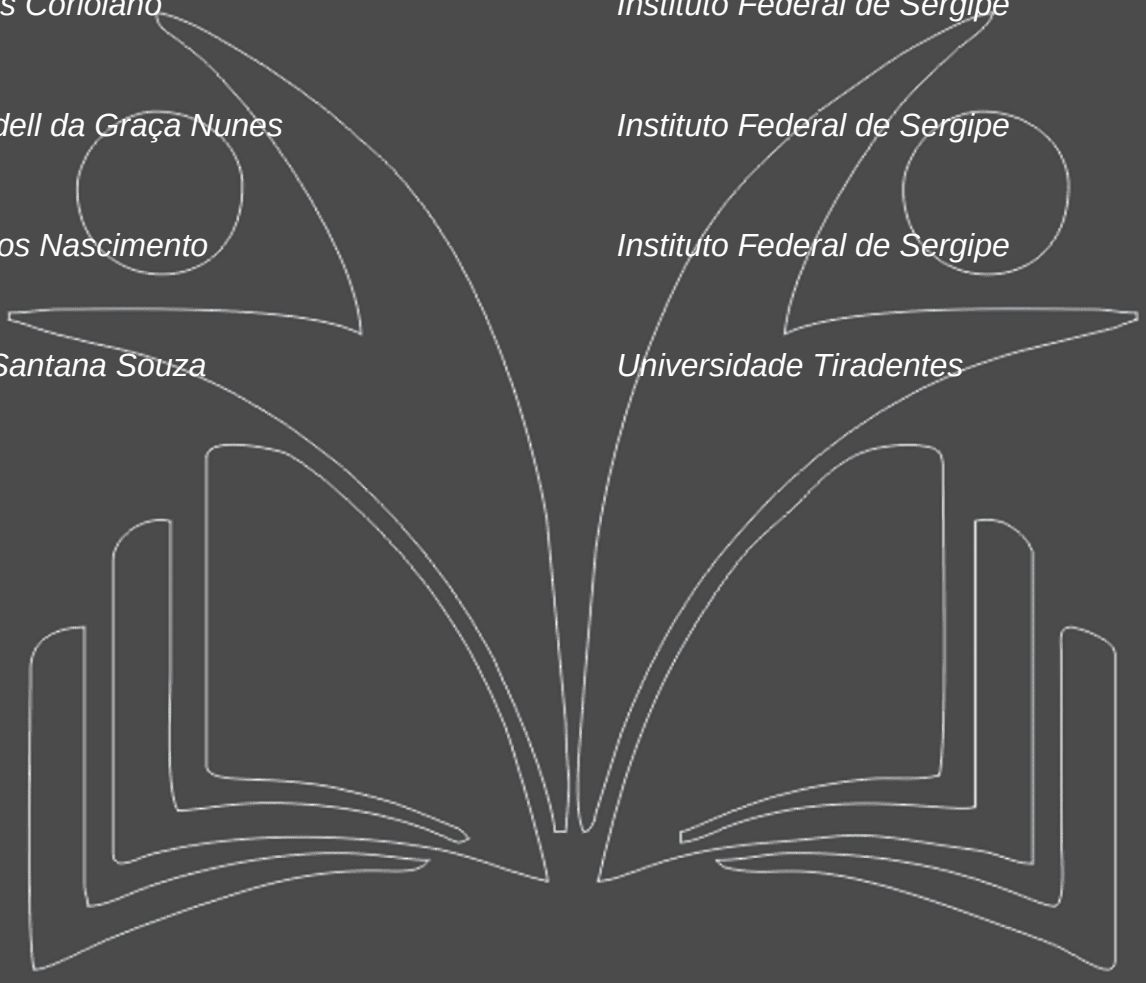
Salatiel Santos De Santana — *Instituto Federal de Sergipe*

Diego Lopes Coriolano — *Instituto Federal de Sergipe*

Fábio Wendell da Graça Nunes — *Instituto Federal de Sergipe*

Bruno Santos Nascimento — *Instituto Federal de Sergipe*

Thiago de Santana Souza — *Universidade Tiradentes*



Resumo: Com os avanços tecnológicos, vieram novos sistemas práticos para a realização de diversas tarefas e rotinas em uma residência. No presente trabalho é abordado o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de automação residencial de baixo custo fundamentado na tecnologia Domótica, a qual permite o controle e gerenciamento de sistemas e dispositivos inteligentes interligados entre si. Para a automação central foi utilizado um microcontrolador ESP32, e através da plataforma web MIT App Inventor 2 foi desenvolvido um aplicativo Android capaz de se comunicar com o ESP32 e controlar alguns processos residenciais de acordo com a necessidade do usuário. Foram abordados alguns testes de maneira prática a qual foram efetivadas a comunicação e controle dos módulos através de um painel de controle desenvolvido no aplicativo, afim de comprovar primeiramente o funcionamento e posteriormente observar o comportamento do sistema proposto. Por fim, o sistema comportou-se corretamente, possibilitando a integração de outros módulos, como sensores de temperatura, sensores de movimento, sensores de luminosidade e gás, bem como os atuadores, ao sistema e agregando benefícios aos usuários.

Palavras-chaves: Automação Residencial, Domótica, ESP32, MIT App Inventor, IoT.

1. INTRODUÇÃO

A automação residencial, também conhecida como domótica, aparenta ser uma ideia relativamente nova para muitas pessoas, mas na verdade não é algo novo e certamente não pertence apenas à ficção científica. Com o avanço da tecnologia, novos sistemas têm surgido para tornar as tarefas domésticas cada vez mais práticas, desde o controle das luzes, temperatura ambiente de um comodo até a automatização de sistemas de energia e segurança em uma residência.

Embora muitas vezes seja apresentada como um investimento luxuoso destinado à alta classe econômica, a automação residencial tem como foco principal a economia, seja de dinheiro ou tempo, com ênfase na melhoria da qualidade de vida do residente, proporcionando maior acessibilidade, conforto e segurança, de acordo com o estilo de vida do morador (SIMPLÍCIO et al., 2018).

A domótica possibilita a integração de vários dispositivos inteligentes em uma casa, que podem ser controlados por meio de um smartphone, tablet ou computador. Alguns sistemas domésticos automatizados operam de acordo com uma programação pré-estabelecida através de um painel de controle na parede, desse modo a automação residencial tem como uma das principais estrutura organizada de modo central ou remota (JUNIOR; FARINELLI, 2018).

Através de estudos e tecnologias da domótica, diversas aplicações podem ser efetuadas, como a automatização da segurança, de eletrodomésticos inteligentes, da irrigação, do controle de temperatura e da iluminação do ambiente, e entre outros. Na aplicação de um sistema voltado para a iluminação, destaca-se a economia de energia proporcionada pela automação, uma vez que permite controlar e gerenciar os cômodos em que as luzes estão acesas sem necessidade, por meio de sensores, ou por um simples toque ou ainda utilizando comando de voz em um aplicativo específico, as luzes se apagaram.

Em uma residência, as ações rotineiras, como ligar e desligar uma lâmpada ou um eletrodoméstico, exigem que o proprietário se locomova até o interruptor desejado, o que pode aumentar o consumo de energia e o tempo gasto.

Além disso, a implementação convencional de um sistema de automação residencial pode ser cara. Diante disso, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma solução de automação residencial de baixo custo, utilizando um microcontrolador ESP32 em conjunto com um aplicativo Android. A proposta visa implementar o controle dos módulos de sensores de temperatura, sensores de movimento, sensores de luminosidade e gás, bem como os atuadores, a fim de proporcionar um

gerenciamento prático e eficiente do sistema de automação residencial, proporcionando a melhoria da qualidade de vida dos moradores, oferecendo um ambiente mais seguro, eficiente e adaptado às suas necessidades individuais.

2. ESTADO DA ARTE

Soares et al. (2021) desenvolveram um protótipo de automação residencial em escala reduzida utilizando a plataforma Arduino e da Inteligência Artificial (IA) Alexa, juntamente com os serviços da Host IoT Cloud. O circuito integrado é constituído por um microcontrolador ESP8266 interligando um módulo relé de 4 canais atribuídos para os controles de automação direta e indireta da iluminação, tomadas e dispositivos inteligentes. Após a montagem e realizações dos testes, os autores chegaram a resultados satisfatórios, visto que os custos da aplicação foi de R$ 333,68 obtendo assim uma automação de baixo custo, simples e prática, que permite ao usuário alterar as preferências por meio do aplicativo da Alexa.

Em Sousa (2021), foi desenvolvido um protótipo de baixo custo em comparação aos sistemas semelhantes presentes no mercado. No seu desenvolvimento, foram utilizados um microcontrolador Arduino UNO e um ESP8266 NodeMCU, um circuito integrado que funciona como ou exclusivo (XOR) "HD74LS86P-XOR", um módulo de reconhecimento de voz "VoiceRecognitionV3", um módulo de tela "Display OLED SD1306", um módulo de áudio "MP3 DFPlayer Mini"e um módulo de relógio "Real Time Clock - RTC DS3231". Após a realização dos testes, foram obtidos resultados satisfatórios, onde através do protótipo, foi possível acender ou apagar as lâmpadas por meio do reconhecimento de voz ou via smartphone, obter informações das horas, temperatura e data, além de mostrar algumas informações na tela do display através da interação do usuário de acordo com comandos de voz. Em comparação às tecnologias existentes, o protótipo apresentou um custo de 440,08 R$, tornando-o mais acessível para a maioria das pessoas que buscam implementar a domótica.

No estudo conduzido por Jesus et al. (2021), foi desenvolvido um protótipo de automação residencial controlado por um aplicativo com comunicação via Bluetooth, visando sua utilização em locais que não possuem acesso à internet. Para tal, foi utilizado um microcontrolador Arduino UNO, um módulo Bluetooth HC-06, um módulo relé de 4 canais e alguns componentes eletrônicos. O aplicativo Arduino Bluetooth Controller foi utilizado como interface para a comunicação entre o protótipo e o smartphone. Os autores realizaram diversos experimentos e alcançaram resultados positivos,

demonstrando a viabilidade econômica do sistema para o controle de rotinas domésticas e tarefas rurais.

Já em Souza (2022), foi proposto um sistema domótico para auxiliar pessoas com baixa mobilidade, como portadores de necessidades especiais e idosos. O sistema consiste em um microcontrolador Arduíno interligado a um módulo Bluetooth HC-05, um módulo relé de 4 canais, e um aplicativo Android que estabelece uma conexão via Bluetooth entre ambos. O circuito conta ainda com um interruptor paralelo ao sistema, que permite o acionamento manual dos canais do relé. Com o auxílio da plataforma MIT App Inventor, o autor desenvolveu um aplicativo de controle que permite o acionamento dos dispositivos por meio de comandos de voz. O aplicativo utiliza frases pré-determinadas, associadas aos canais do relé, para executar as ações desejadas. Essa solução oferece uma forma acessível e conveniente de automação, especialmente para pessoas com baixa mobilidade, que podem acionar remotamente os eletrodomésticos e a iluminação com facilidade.

3. AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

A automação residencial, de acordo com a WEG (2022), envolve um conjunto de tecnologias que permitem a integração de dispositivos programáveis, possibilitando a automatização de diversas funções em uma casa de forma automática. Essa automação pode ser personalizada de acordo com as necessidades do usuário, trazendo benefícios para a comodidade e facilidade de vida. Desde funções básicas, como a diminuição das luzes com um controle remoto, até configurações mais complexas, como o controle da temperatura do ambiente, iluminação e eletrodomésticos, podem ser implementadas dependendo do tipo de automação aderida.

Segundo o estudo realizado por Rihan e Beg (2009), observou-se a partir da década de 1990 um aumento significativo no consumo de energia elétrica em residências devido à ampla adoção de diversos aparelhos eletrônicos, como geladeiras, televisores, telefones e outros dispositivos similares. Essa proliferação de aparelhos resultou na necessidade de sistemas específicos, como redes elétricas projetadas para eletrodomésticos inteligentes, bem como redes de comunicação dedicadas para televisores e telefones, cada uma com sua própria forma de comunicação.

Diante desse cenário, surgiu a demanda por uma rede doméstica unificada, capaz de oferecer vantagens significativas no controle e gerenciamento desses aparelhos eletrônicos, impulsionando assim o surgimento da automação residencial.

A automação residencial de modo simplificado é automatizar o controle da casa para que ela funcione ao modo de vida desejado, e usando dispositivos de automação residencial sem fio com tecnologia de ponta, é possível controlar todos os aspectos do ambiente doméstico sem instalar um único fio.

4. DOMÓTICA

Segundo Junior e Farinelli (2018), o termo domótica é dado pela junção da palavra “domus” do romano casa, com a “robótica” que pode ser traduzida como automatização de algo, desse modo a domótica pode ser traduzida como a automação residencial ou de um ambiente em si. Termo este que nos últimos anos tem ganhado forças, pois traz consigo praticidade, confortabilidade, personalização e segurança.

A domótica possui diversas aplicações no âmbito residencial, como abrir e fechar uma porta, controle e monitoramento de dispositivos como ar-condicionado e aquecedores e além de promover segurança e conforto, remete a um papel importante na inclusão social, no auxílio a pessoas portadoras de necessidades físicas ou mobilidade reduzida que possam viver com independência, segurança e confortabilidade (PAULUS et al., 2017).

Nos últimos anos, a domótica, como auxilio a tecnologia assistiva, tem ganhado forças, pois através dela também é possível realizar uma automação residencial que visa a ajudar pessoas deficientes, seja visual, sensorial, física e entre outras. Através dos estudos dos dispositivos eletrônicos já conhecidos e estudados por parte do autor na domótica, Pinto (2018) realizou um estudo a fim de desenvolver um protótipo que visa dar mais acessibilidade às pessoas que necessitam de cuidados. Para o seu desenvolvimento foram utilizados um microcontrolador, um sensor de movimento e um módulo de distância, também foram implementados dois componentes sonoros afim de beneficiar e proteger a integridade dos deficientes visuais e físicos, como cadeirantes.

Diante disso, foram realizados experimentos com os sensores alocados em locais específicos, e após dado o resultado, considerou-se de modo que o protótipo está apto à ser aplicado no cotidiano de pessoas com deficiência visuais e cadeirantes, possuindo um baixo custo financeiro e praticidade.

5. ARDUINO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem de código aberto baseado em hardware e software, criada com o objetivo de desenvolver projetos acessíveis e de baixo custo. Um placa arduino, apresentado na Figura 1, é capaz de realizar leituras de sinais de entradas e transforma-las em sinais

de saídas de acordo com o conjunto de instruções enviadas ao seu microcontrolador embutido, sua linguagem de programação baseia-se em C/C++ (EVANS et al., 2013).

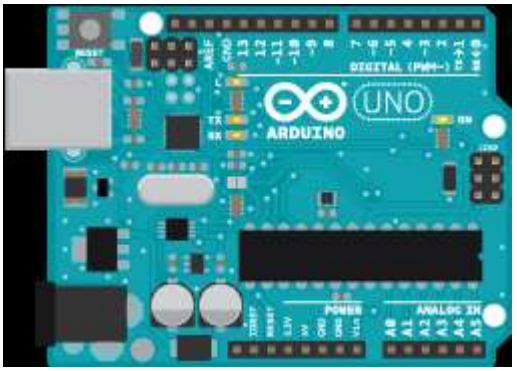


Figura 1. Placa Arduino UNO (ARDUINO, 2022).

Além disso, possui seu próprio ambiente de programação Arduino IDE (Integrated Development Environment), baseado no ambiente Processing, a IDE do arduino é responsável pela implementação das programações de suas respectivas rotinas de comandos e da transferência do mesmo para o microcontrolador (ARDUINO, 2022).

A IDE do Arduino, apresentada na Figura 2, é considerada um ambiente flexível devido ao seu potencial de facilitar o aprendizado de programação, podendo ser utilizado tanto por usuários iniciantes quanto profissionais.

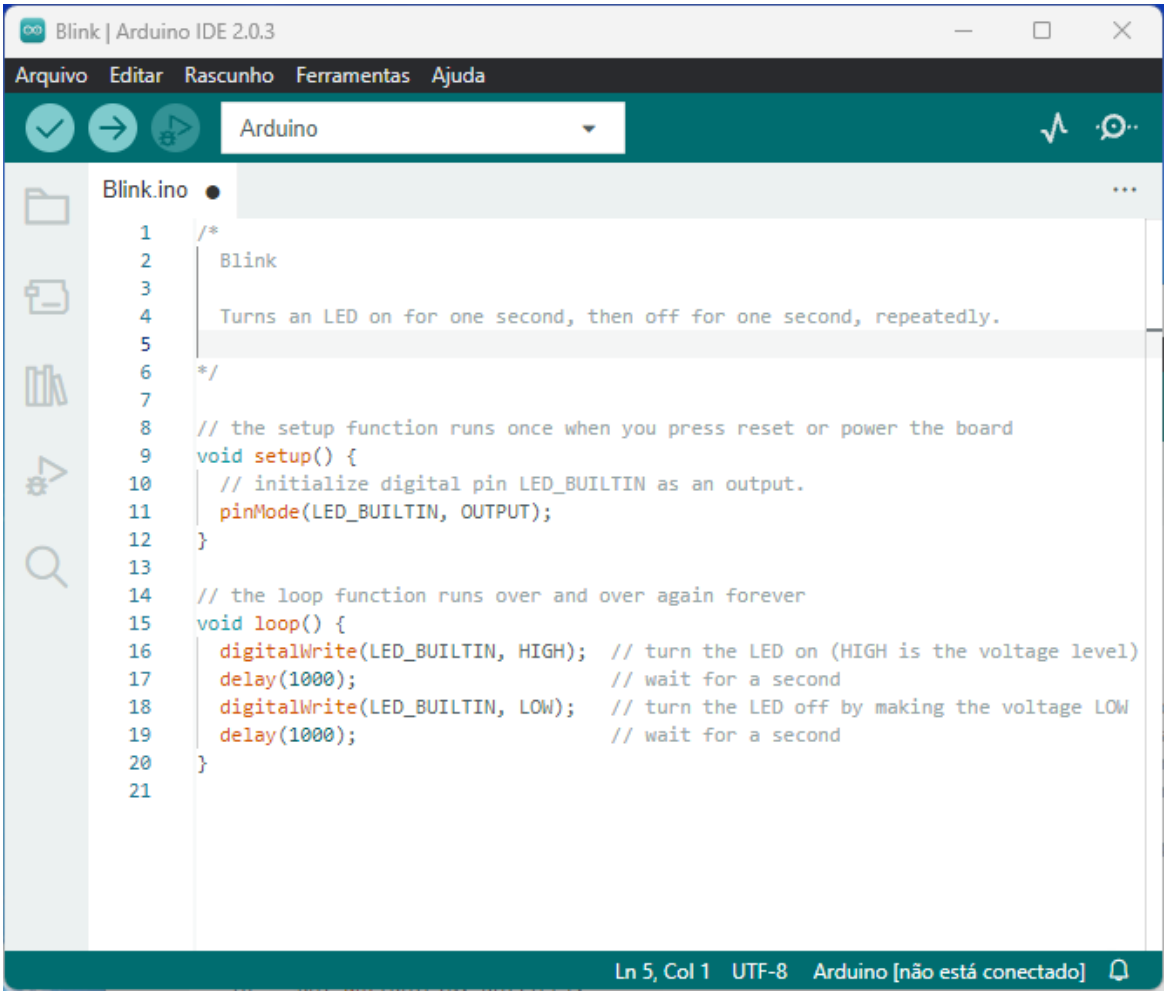


Figura 2. Arduino IDE 2.0 (ARDUINO, 2022).

Com o auxílio das bibliotecas disponibilizadas na internet, é possível programar uma variedade de placas utilizando as funcionalidades integradas na IDE. Essas possibilidades não se limitam apenas aos microcontroladores do Arduino, permitindo também a programação de placas como Raspberry Pi, ESP e muitas outras.

6. ESP32

Um dos aspectos que chamam a atenção do microcontrolador ESP32 é a sua capacidade de processamento que conta com 2 núcleos (dual-core), contém cerca de 500 kBytes de memória SRAM (Static Random Acess Memory), o que permite executar programas até mais complexos, e seu custo de aquisição é relativamente barato, custando em faixa 45 R$, além de consume pouca energia é incluído em seu chip o modulo Wi-Fi e módulo Bluetooth com modo dual. A faixa operacional de tensão é de 2,3V á 3,6V, em operação normal, o regulador de tensão do ESP32 alimentará o chip em 3,3V. A descrição da pinagem do ESP32 é mostrada na Figura 3.

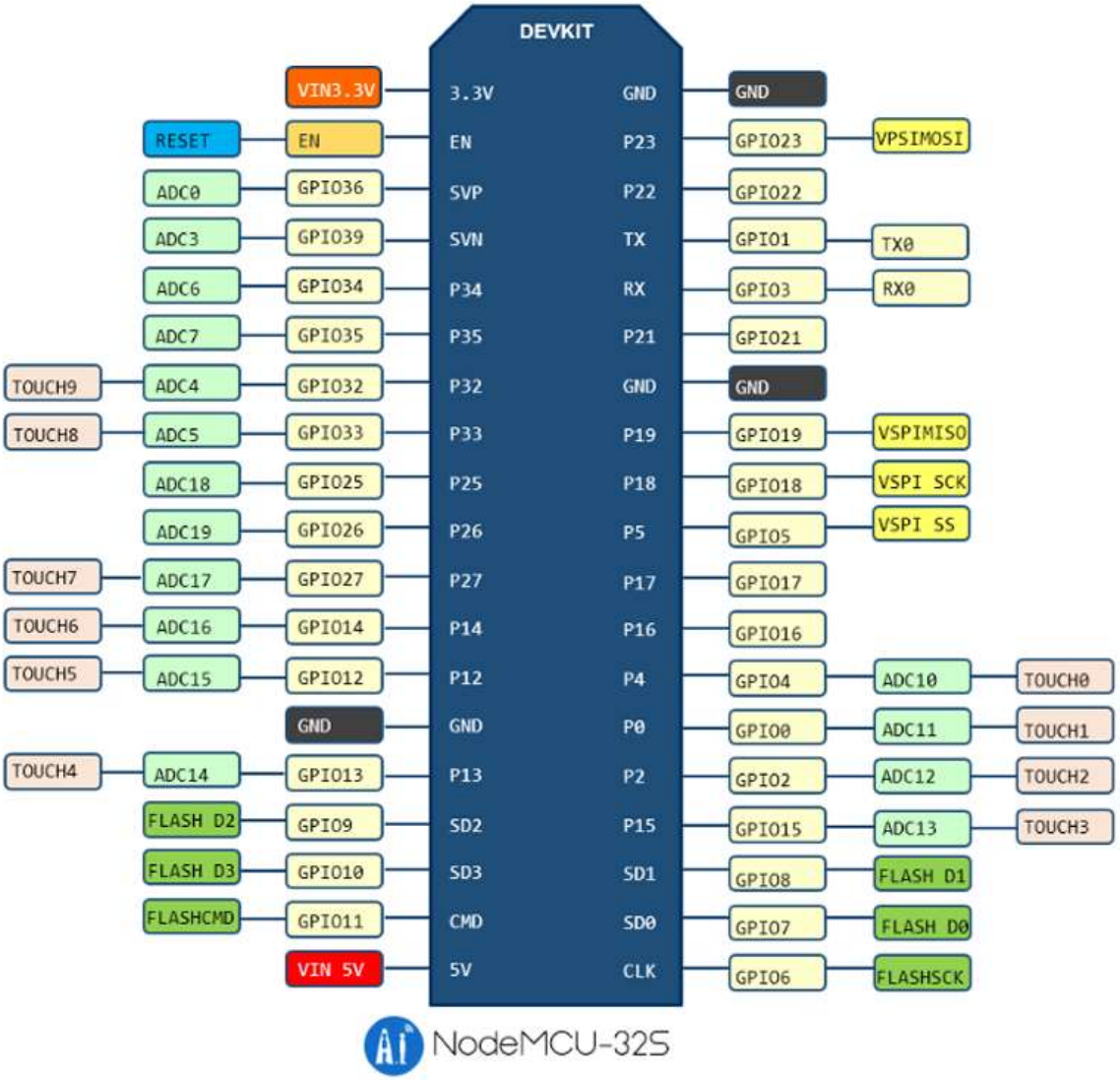


Figura 3. NodeMCU-32S (AI-THINKER, 2019).

Além da quantidade de pinos de entradas e saídas digitais e analógicas, através do diagrama apresentado na Figura 4, observa-se que o ESP32 possui funcionalidade extras como aceleração de hardware para criptografia, sensor de temperatura, sensor de toque, relógio de tempo real e outros pontos envolvendo, por exemplo, PWM, DAC, ADC, I2C, UART, SPI, e entre outros, o que o possibilita a criação de um projeto mais flexível (ESPRESSIF, 2021). Assim, podendo estabelecer um baixo consumo energético, com conectividade WiFi e Bluetooth, e sua programação é acessível por meio da IDE do Arduino.

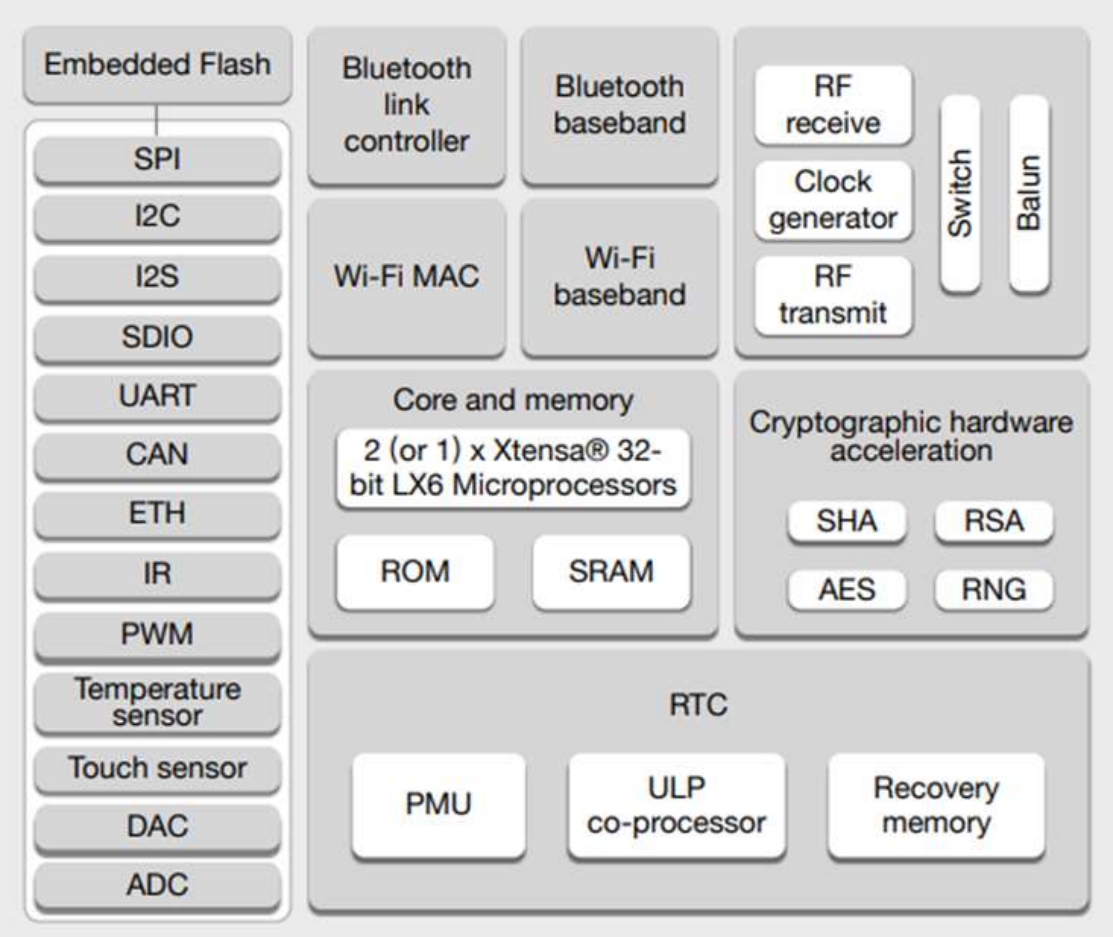


Figura 4. Diagrama de Blocos ESP32 (ESPRESSIF, 2021).

7. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

No âmbito dos microcontroladores, os protocolos de comunicação desempenham um papel fundamental na facilitação da troca de informações entre esses dispositivos e outros elementos de um sistema. Entre os protocolos de comunicação amplamente utilizados, destacam-se o Bluetooth e o Wi-Fi, que permitem a comunicação sem fio em curto e longo alcance, respectivamente. Essas tecnologias viabilizam a conectividade e a troca de dados entre dispositivos em ambientes próximos ou geograficamente dispersos. Utilizam também protocolos como UART (Universal Asynchronous Receiver -Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface) e I2C (Inter-Integrated Circuit), as quais fornecem interfaces específicas para a comunicação serial entre dispositivos. Esses protocolos estabelecem diretrizes para a transmissão de dados síncrona ou assíncrona, dependendo das necessidades do sistema.

Outro protocolo de destaque no contexto dos microcontroladores é o MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que é especialmente projetado para aplicações da IoT (Internet of Things). Ele

possibilita a troca eficiente e confiável de mensagens em dispositivos com recursos limitados, oferecendo um modelo de publicação/assinatura para a comunicação assíncrona em tempo real.

8. MIT APP INVENTOR 2

O MIT App Inventor 2 é ambiente de programação visual baseado na web WYSIWYG - o que você vê é o que você tem, de acesso livre e em blocos, fornece uma interface gráfica sem qualquer restrição de idade e sem nenhum conhecimento de programação, permitindo que os usuários desprovidos de conhecimento sobre programação possam criar aplicativos de modo prático e totalmente funcionais para telefones Android/iOS (PATTON et al., 2019).

O seu ambiente é separado em duas partes, a primeira é a que contém o designer dos componentes, conforme é mostrado na Figura 5, permite que os usuários arrastem e soltem elementos como caixas de texto, botões e imagens para criar a interface do usuário ao qual é desejada em seus aplicativos Android.

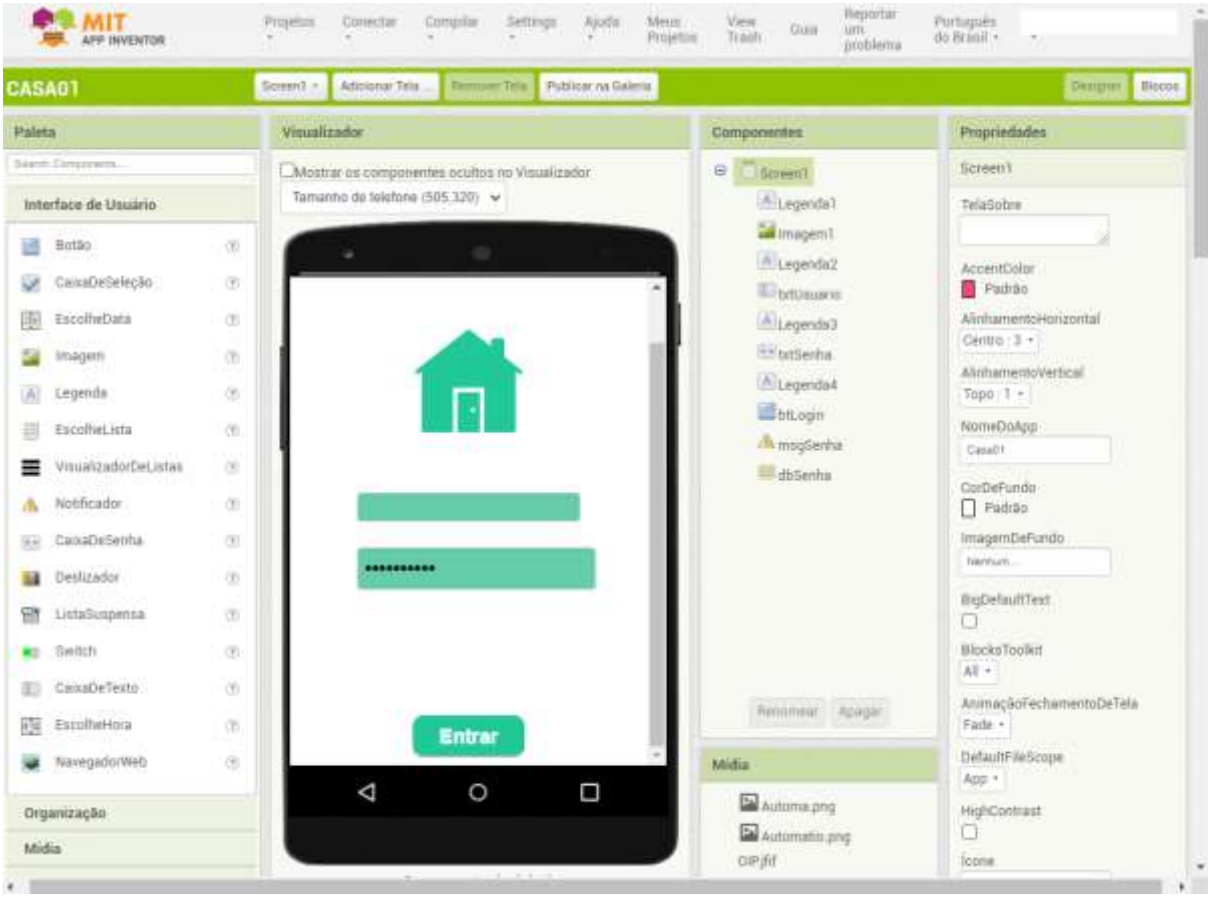


Figura 5. MIT App Inventor 2 - Designer (AUTOR 2023).

A segunda parte é a do editor de blocos que permite que o usuário programar os componentes que foram adicionado na primeira parte para que se comporte conforme a lógica desejada, os blocos contém as mesmas características de um quebra-cabeça, conforme é visualizado na Figura 6.

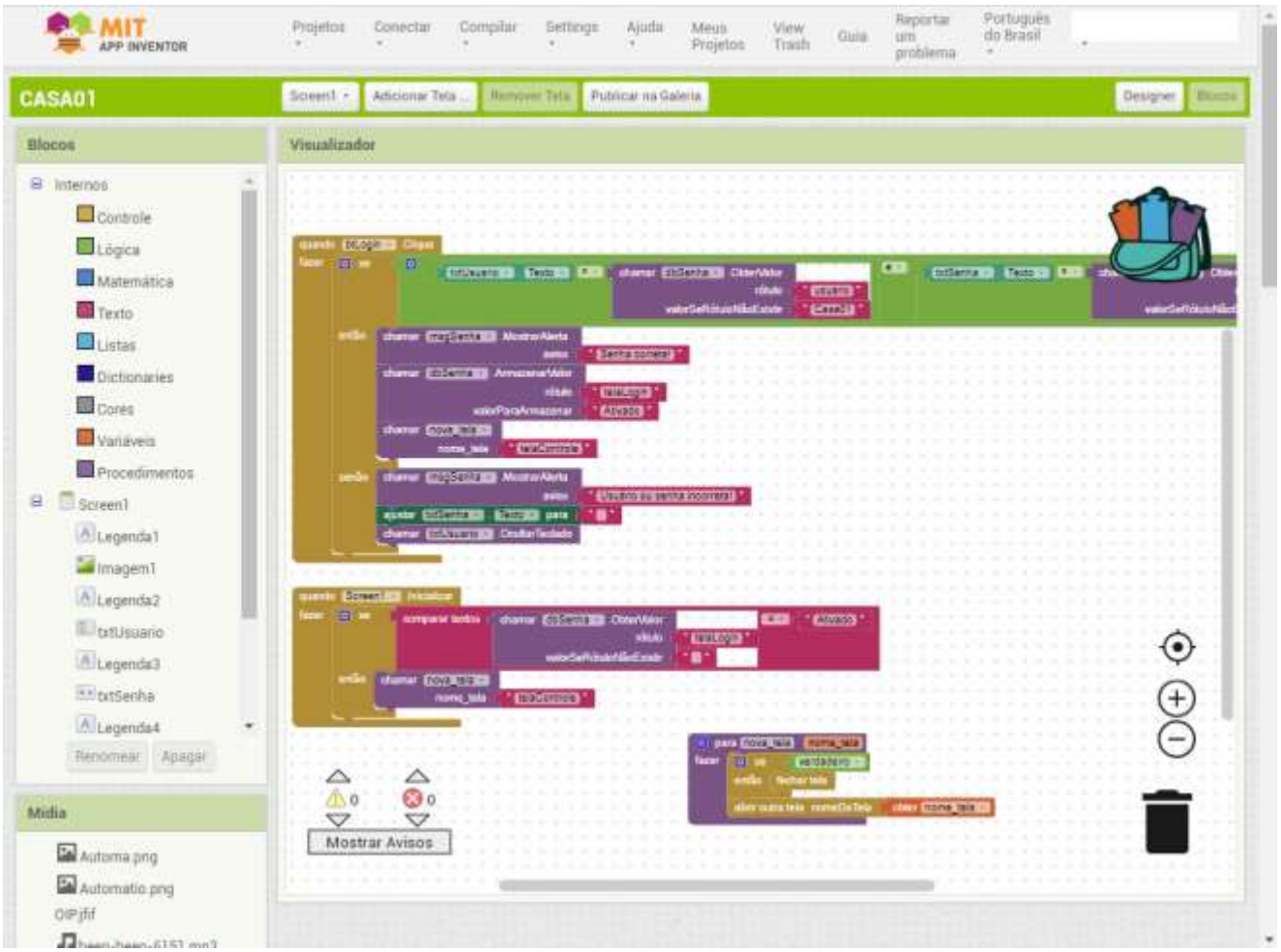


Figura 6. MIT App Inventor 2 - Blocos (AUTOR 2023).

9. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do projeto, foi adquerida uma maquete de uma casa em MDF (Medium Density Fiberboard) ao qual foram acoplados sensores e atuadores. Para a automação foi utilizado o microcontrolador NodeMCU ESP32S, nele é compilado e gravado toda a rotina com as instruções e comandos a serem realizadas conforme a programação desejada. Para o controle e monitoramento foi desenvolvido um aplicativo Android através da plataforma MIT App Inventor 2, o esquema do projeto é mostrado na Figura 7.

Diante disso para a realização do projeto foram utilizados os seguintes componentes apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Materiais utilizados

1	Maquete	Casa MDF
1	Microcontrolador	ESP32 NodeMCU
1	Sensor	DHT11
3	Micro Servo Motor	Sg90
1	Sensor	Presença PIR
1	Sensor	Luminosidade
1	Sensor	Gás
1	Sensor	Chuva
1	Sensor	Obstáculo
1	Módulo	Mini Semáforo
1	Módulo	Mini Ventilador
1	Display	LCD 16x2
50	Fios condutores	Jumpers
1	Protoboard	830 Furos
1	Fonte	5V 2A

Na Figura 7, são ilustradas as interligações entre os componentes do sistema, destacando o papel central do microcontrolador

NodeMCU-32S. Ele atua como o ponto de recepção e envio de dados, estabelecendo a comunicação entre os sensores, atuadores, o Broker e o aplicativo.

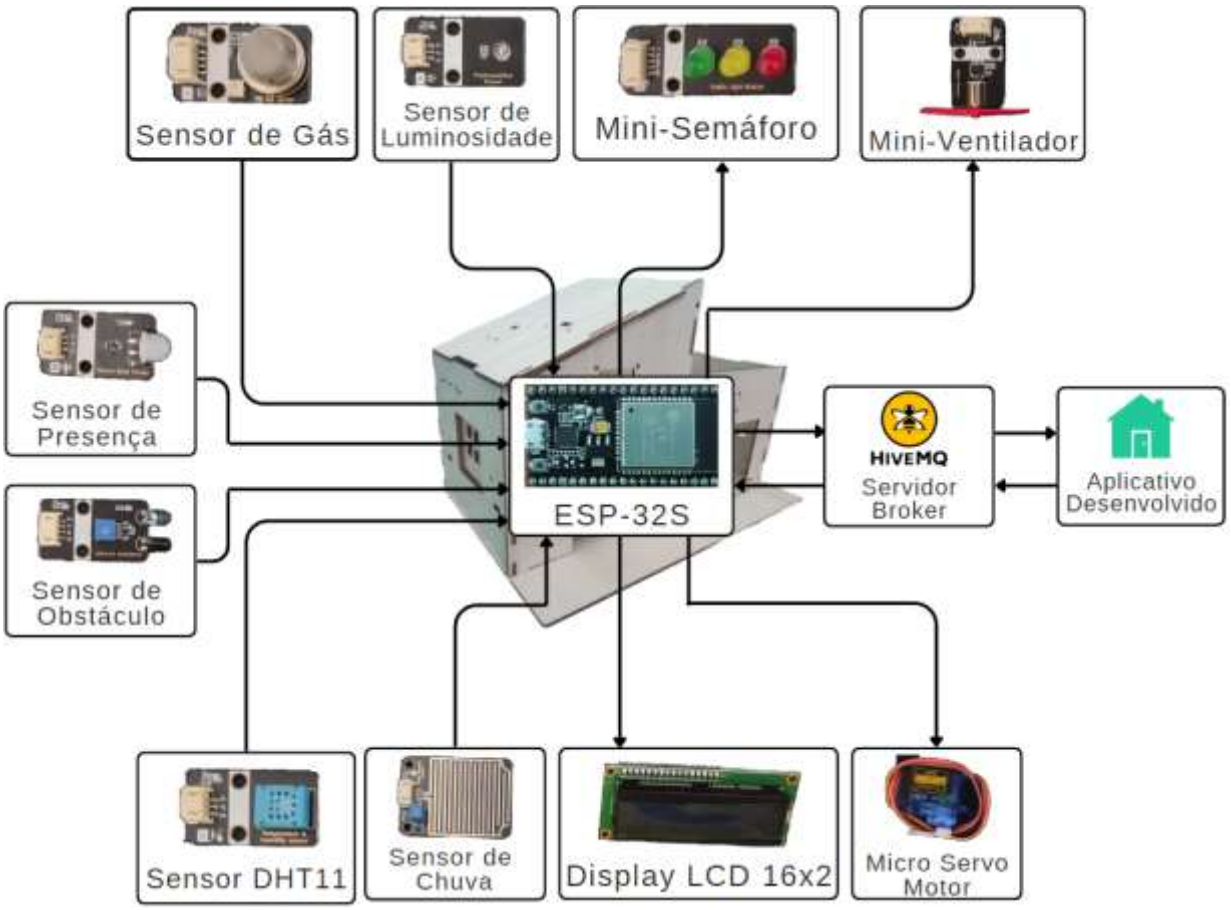


Figura 7. Esquema do Projeto (AUTOR 2023).

Para a aquisição dos componentes foi empregada uma tabela comparativa dos custos no mercado brasileiro junto com a importação do mercado chinês, visualizado na Tabela 2. Tem em vista o preço total, para a aquisição o escolhido foi o mercado de menor preço, contudo, levando em consideração o frete e imprevistos no decorrer da montagem, foi considerado um custo aproximado de 280,00 R$.

Tabela 2. Protótipo: Custos x Comparação

Qtd	Componentes	Preços	
		Brasil	China
1	Maquete Casa MDF	120 R$	100 R$
1	NodeMCU-32S	48 R$	20 R$
1	Módulo Sensor DHT11	18 R$	9 R$
3	Micro Servo Motor Sg90	39 R$	32 R$
1	Sensor de Presença PIR	15 R$	5 R$
1	Sensor de Luminosidade	14 R$	4 R$
1	Sensor de Gás	13 R$	5 R$
1	Sensor de Gotas de Chuva	25 R$	3 R$
1	Sensor de Obstáculo	15 R$	8 R$
1	Módulo Mini Semáforo	14 R$	2 R$
1	Módulo Mini Ventilador	39 R$	7 R$
1	Display LCD 16x2	40 R$	11 R$
50	Jumpers	15 R$	6 R$
1	Protoboard de 830 Furos	18 R$	10 R$
1	Fonte 5 V 2A	20 R$	22 R$
	Preço Total:	**453 R$**	**244 R$**

A criação do design do aplicativo levou em consideração a distribuição dos módulos acoplados à estrutura. Com isso, foram desenvolvidas 4 telas de controle, cada uma com funcionalidades específicas.

A primeira é a tela da varanda, que permite o controle do módulo mini semáforo e exibe informações dos sensores de luminosidade e gotas de chuva. Essa tela proporciona ao usuário a possibilidade de monitorar e controlar a iluminação da varanda, bem como obter dados relacionados às condições climáticas externas, apresentado na Figura 8.



Figura 8. Tela da varanda do aplicativo (Autor 2023).

A segunda é a tela da cozinha, que contém os sensores de gás e detecção de fogo. Essa tela permite ao usuário monitorar e receber alertas sobre possíveis vazamentos de gás ou ocorrência de incêndios na cozinha, visto na Figura 9.



Figura 9. Tela da cozinha do aplicativo (AUTOR 2023).

A terceira é a tela da garagem, apresentado na Figura 10, possui 2 micro servo motores de 90° representando o acionamento da porta da garagem e da entrada. Também conta com os sensores infravermelho e de corpo, que possibilitam a detecção de movimentos próximos à garagem e à entrada.

Dessa forma, o usuário pode controlar remotamente a abertura e o fechamento das portas, bem como receber notificações sobre a presença de pessoas ou veículos.



Figura 10. Tela da garagem do aplicativo (AUTOR 2023).

A quarta é a tela da sala, exibido na Figura 11, está presente o sensor DHT11, responsável pela medição de temperatura e umidade do ambiente. Além disso, essa tela permite o controle do módulo mini ventilador e do micro servo motor de 90° destinado à janela. Com essas funcionalidades, o usuário pode ajustar o conforto térmico da sala de acordo com suas preferências.



Figura 11. Tela da sala do aplicativo (AUTOR 2023).

Adicionalmente, foi desenvolvida uma tela denominada Suporte, que auxilia o usuário na ativação/desativação do comando de voz e na visualização dos estados dos dispositivos. Essa tela fornece um ambiente amigável para interação com o aplicativo, facilitando a configuração e o monitoramento dos módulos e sensores interligados à estrutura.

Essas 4 telas foram cuidadosamente projetadas para oferecer uma experiência intuitiva e eficiente ao usuário, permitindo o controle e monitoramento dos diferentes aspectos da estrutura residencial de forma prática e acessível.

10. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, montou-se a maquete residencial em escala reduzida, equipada com sensores e atuadores controlados pelo microcontrolador NodeMCU-32S. Utilizando a IDE Arduino, foi implementado o código necessário no microcontrolador para estabelecer uma comunicação via Bluetooth com um aplicativo desenvolvido. Através dessa conexão, tornou-se possível controlar o módulo semáforo localizado na frente da estrutura. Além disso, os dados de luminosidade capturados pelo sensor correspondente foram recebidos pelo aplicativo, como ilustrado na Figura 12.



Figura 12. Tela de exibição da varanda (AUTOR 2023).

Durante os testes realizados, foi possível obter sucesso ao acionar o LED verde do módulo semáforo na maquete residencial por meio da tela do aplicativo, o que evidenciou de maneira efetiva o controle dos dispositivos pelo microcontrolador.

A Figura 13 ilustra a maquete residencial com o LED verde do semáforo em pleno funcionamento. A fim de superar as limitações do protocolo Bluetooth, que exigia a ativação constante da funcionalidade e resultava em maior consumo de bateria nos smartphones, optou-se por utilizar os protocolos Wi-Fi e MQTT. Essa escolha oferece uma solução mais eficiente em termos de consumo energético, além de proporcionar uma ampla gama de recursos e possibilidades de interação, aprimorando a experiência.



Figura 13. LED verde aceso (AUTOR 2023).

Para viabilizar a comunicação entre o microcontrolador e o aplicativo, um novo código foi implementado, incorporando os novos protocolos. Essa integração é realizada através de um Broker, um servidor fornecido gratuitamente pela plataforma HiveMQ. O Broker desempenha um papel crucial ao facilitar a conexão dos dispositivos à internet, permitindo a realização testes de forma gratuita, viabilizando o controle dos módulos e sensores interligados ao microcontrolador por meio de publicações e assinaturas.

Por meio da interface intuitiva do aplicativo, o usuário pode controlar os dispositivos conectados à maquete residencial, como o módulo do semáforo mencionado anteriormente, clicando nos ícones correspondentes. Além disso, o aplicativo exibe em tempo real os valores dos sensores, como o sensor DHT11 que captura dados de temperatura e umidade. A Figura 14 apresenta a tela do aplicativo com os ícones de acionamento dos dispositivos, como o mini ventilador e a janela, juntamente com os valores atualizados do sensor DHT11. Essa apresentação visual proporciona uma interação fácil e intuitiva com a maquete residencial, permitindo ao usuário controlar os dispositivos e acompanhar os dados dos sensores.



Figura 14. Tela de exibição da sala (AUTOR 2023).

Após o acionamento do ícone correspondente à janela no aplicativo, a maquete residencial responde abrindo a janela, permitindo a entrada de ar fresco no ambiente.

A Figura 15 ilustra a maquete residencial com a janela aberta, evidenciando o sucesso do controle remoto por meio do aplicativo



Figura 15. Maquete com janela aberta (AUTOR 2023).

Durante os testes, foram realizados experimentos para controlar as portas da garagem e de entrada, utilizando sensores de infravermelho e PIR (Sensor de Movimento por Infravermelho Passivo). O sistema é capaz de enviar notificações para o aplicativo, informando a presença de veículos ou pessoas. Isso proporciona maior segurança e praticidade aos usuários, permitindo o monitoramento e controle remoto das portas da maquete residencial. Na Figura 16, é possível observar a detecção da presença de uma pessoa pelo sensor.



Figura 16. Tela de exibição da garagem (AUTOR 2023).

Após os testes realizados nas portas de garagem e de entrada, também foram conduzidos experimentos na cozinha da maquete residencial, onde sensores de fumaça, e fogo foram instalados visando garantir a segurança do ambiente.

Esses sensores enviam alertas imediatos ao aplicativo no caso de detecção de fumaça (ou vazamento de gás), ou fogo, permitindo que o usuário tome medidas rápidas para solucionar o perigo. A Figura 17 exibe a tela do aplicativo com a indicação de detecção de um percentual de fumaça, evidenciando a eficácia do sistema de segurança implementado.



Figura 17. Tela de exibição da cozinha (AUTOR 2023).

11. CONCLUSÃO

Os testes realizados demonstram a eficiência do sistema desenvolvido integrando um microcontrolador, um aplicativo e vários dispositivos interligados na maquete residencial.

Com a implementação dos novos protocolos de comunicação, como MQTT, contribui-se com uma interação suave e intuitiva entre o usuário e maquete, permitindo o controle remoto de dispositivos e o recebimento de dados de sensores em tempo real. O aplicativo desenvolvido demonstrou ser uma poderosa ferramenta de gerenciamento e controle do dispositivo, oferecendo uma interface amigável e fácil de usar, onde o usuário pode administrar os dispositivos diretamente do aplicativo, controlando convenientemente a maquete.

Além disso, os resultados obtidos nos testes foram satisfatórios, comprovando a precisão e eficácia das funcionalidades implementadas. Os sensores, como o DHT11, os detectores de presença e os sensores de fumaça e fogo, desempenharam corretamente suas funções, enviando informações precisas para o aplicativo. Isso permitiu uma tomada de decisão mais assertiva por parte dos usuários, garantindo a segurança, o conforto e o controle dos ambientes simulados na maquete.

No geral, o sistema mostrou-se uma solução completa e eficiente para o controle inteligente de uma maquete residencial, proporcionando uma experiência interativa e funcional aos usuários. A combinação do microcontrolador, do aplicativo e dos dispositivos interligados permitiu o controle remoto dos ambientes, a visualização em tempo real dos dados dos sensores. Assim, criando um ambiente mais seguro, confortável e eficiente, tornando-se uma solução viável de baixo custo para aplicações similares em residências reais.

Para trabalhos futuros, pretende-se realizar testes em uma residência, instalando sensores e atuadores para obter dados reais dos usuários para futuras melhorias do sistema.

Além disso, a as informações será utilizada para aprimoramento do sistema em futuras melhorias.

REFERÊNCIAS

AI-THINKER. NodeMCU-32S WiFi Module V1 Datasheet. 2019. Disponível em:

<https://docs.ai-thinker.com/_media/esp32/docs/ nodemcu-32s_product_specification.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

ARDUINO. Arduino Software. 2022. Disponível em:<https://www.arduino.cc/en/software>. Acesso em: 03 de dezembro de 2022.

ESPRESSIF. ESP32 Datasheet. 2021. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. Arduino em ação. [S.l.]: Novatec Editora, 2013.

JESUS, A. M. D.; GODOY, P. C. M.; ARAÚJO, R. S.; ALMEIDA, R. A.; BORGES, D. F.; REZENDE, J. N. A.; SILVA, A. D.; BRITO, P. A. T. Aplicação da domótica utilizando Bluetooth, aplicativo e Smartphone. Engenharias em foco, p. 124, 2021.

JUNIOR, S. L. S.; FARINELLI, F. A. DOMÓTICA Automação Residencial e Casas Inteligentes com Arduíno e ESP8266. [S.l.]: Saraiva Educação SA,2018.

PATTON, E. W.; TISSENBAUM, M.; HARUNANI, F. Mit app inventor: Objectives, design, and development. In: Computational thinking education. [S.l.]: Springer, Singapore, 2019. p. 31–49.

PAULUS, G. B.; PILOTI, J. S.; ANTONIAZZI, R. L.; ANTUNES, E. F. Sistema de automação residencial: Acessibilidade no controle. Salão do Conhecimento, 2017.

PINTO, K. H. O. Aplicação da domótica na prevenção de acidentes domesticos. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

RIHAN, M.; BEG, M. Evolution of home automation technology. BVICAM's International Journal of Information Technology, v. 1, 01 2009.

SIMPLÍCIO, P. V. G.; LIMA, B. R.; SILVA, G. S. da. Automação residencial: Uma solução social e econômica. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 4, n. 3, p. 17–17, 2018.

SOARES, A. V.; SIQUEIRA, M. V.; DE, M. Domótica: Projeto de casa inteligente com arduino. 2021.

SOUSA, J. C. G. d. Protótipo de domótica para automação residencial. Dissertação (B.S. thesis) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, 2021.

SOUZA, P. J. C. d. Domótica assistiva: as contribuições de um sistema de acionamento remoto para pessoas que sofrem de baixa mobilidade. 2022.

WEG. Automação residencial: o que é, como funciona e quais as vantagens. 2022. Disponível em: <https://www.weg.net/tomadas/blog/tecnologia/ automacao-residencial-o-que-e-como-funciona-e-quaisas-vantagens>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

Capítulo 7

10.37423/240408912

ESTUDO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE UM SISTEMA OFF - GRID

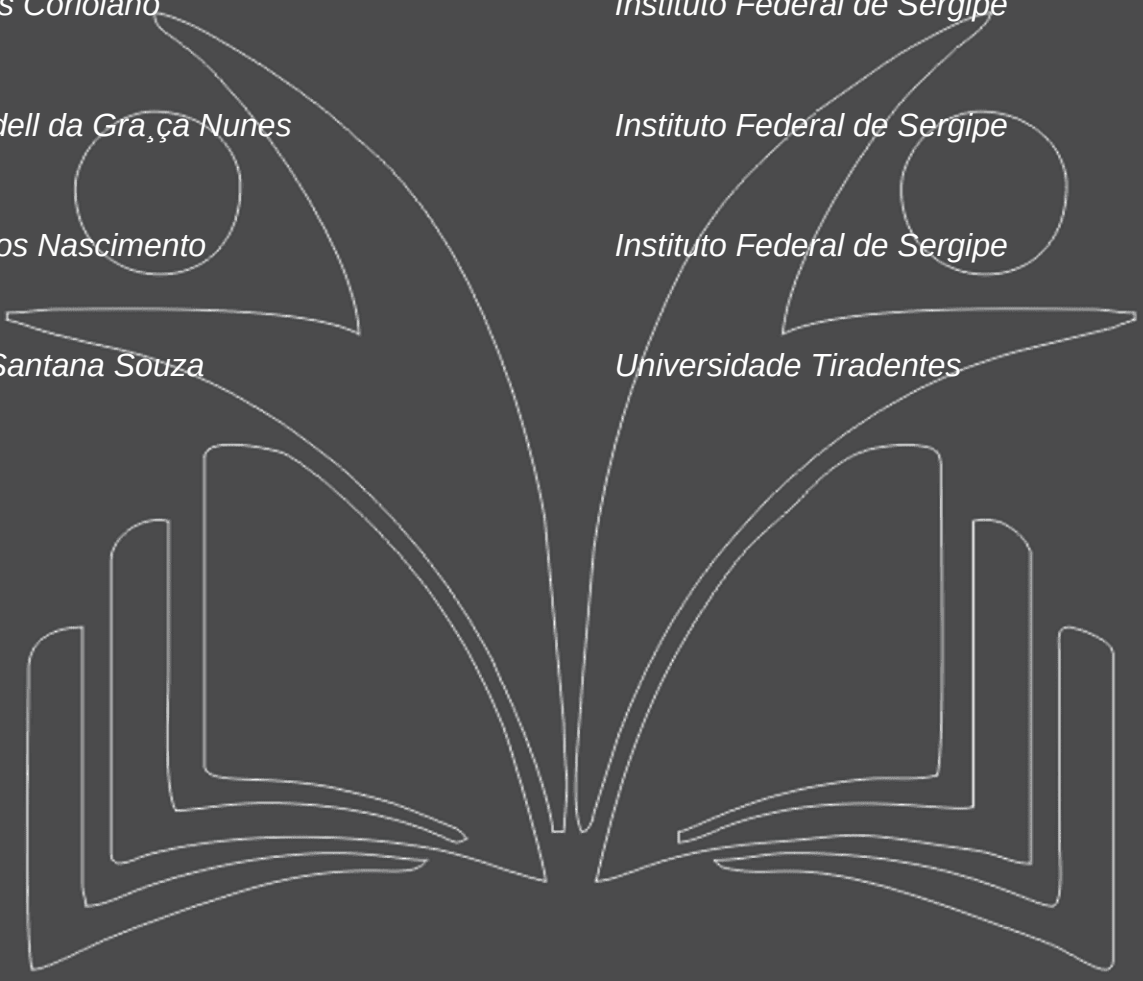
Anderson Santos Gomes — *Instituto Federal de Sergipe*

Diego Lopes Coriolano — *Instituto Federal de Sergipe*

Fábio Wendell da Graça Nunes — *Instituto Federal de Sergipe*

Bruno Santos Nascimento — *Instituto Federal de Sergipe*

Thiago de Santana Souza — *Universidade Tiradentes*



Resumo: Com o aumento gradativo da população e dos modelos de consumo da sociedade atual, destaca-se as discussões envolvendo a geração e consumo de energia elétrica. A base energética do Brasil gira em torno das hidrelétricas, visto que o país possui uma ótima disponibilidade hídrica. Com a carência dos recursos não renováveis determinado pelo consumo desenfreado e diminuição do volume de chuvas, voltam-se os olhos para as fontes de energias renováveis, dentre elas destaca-se a energia solar.

O objetivo deste trabalho é estudar a capacidade de geração de um sistema off-grid de pequeno porte, analisando cada aspecto desse modelo como uma alternativa em locais de difícil acesso de energia ou situações emergenciais de falta de distribuição.

Deste modo foi feito um estudo por meio de revisão bibliográfica de livros e artigos do modelo de geração fotovoltaico, analisando cada componente e seu princípio de funcionamento, entendendo, vantagens e desvantagens de cada um, e assim escolher a melhor opção para realização de um protótipo de geração, com o intuito de analisar a capacidade de geração, bem como a eficácia e viabilidade de implementação de um sistema off-grid para uso prático e fins acadêmicos como estudos, pesquisas, implementação de aulas e cursos na universidade. Assim foi montado e testado em bancada cada parte do sistema de forma separada afim de entender e verificar o funcionamento para posteriormente implementar um sistema completo de geração off-grid.

Palavras-chaves: Sistema isolado, fonte renovável, energia fotovoltaica, Off grid.

1. INTRODUÇÃO

No contexto atual em que vivemos a energia elétrica se tornou algo indispensável a sobrevivência, em contrapartida com o processo de desenvolvimento social tornou-se evidente a falta de energia em todos os lugares possíveis para a convivência humana. Na atualidade por volta de 89% da energia produzida no Brasil vem de fontes renováveis, as bases da produção de energia elétrica no país sempre foram as usinas hidrelétricas que são responsáveis por 60,21% da geração limpa, seguido das eólicas com 11,48%, biomassa e biogás com 8,94% e solar centralizada resultando em média 2,55% da produção fiscalizada.

ABSOLAR (2022) A maior parcela de geração na matriz energética do brasil ainda é da Hidrelétrica que possui uma grande dependência de fatores climáticos bem como problemas de transporte fazendo com que muitas vezes não chegue em lugares mais remotos, assim ao longo do tempo já vem apresentando problemas em épocas de redução de recursos hídricos, tornando necessária a utilização das termoelétricas, resultando no aumento significativo no preço pago pelos usuários.

O Brasil é um país muito promissor no quesito de geração de energia fotovoltaica devido a sua localização na maior parte em região intertropical e alta incidência de raios solares, tornando-se propicio a instalação de usinas e pontos de geração elétrica através de painéis solares, o que pode baratear custos de geração, diminuir impactos ambientais, além de levar energia elétrica para locais mais remotos ou de difícil acesso.

Com intuito de implementar a produção de energia limpa no sistema elétrico brasileiro, a geração fotovoltaica é uma das opções mais promissoras, favorecida pela rápida evolução da tecnologia no setor ao mesmo tempo que há uma constante queda nos valores dos equipamentos e componentes necessários para sua geração. A Geração de energia solar pode ser implementada em dois modelos: On-Grid: Onde o sistema fotovoltaico está conectado à rede de distribuição da concessionária e a produção sobressalente de energia gera créditos validos por até 5 anos para se abater nas futuras faturas de energia elétrica. Off-Grid: Onde o sistema fotovoltaico é isolado e independente da concessionaria de energia, dando vantagem ao usuário em caso de problemas na distribuição regional de energia, atendendo a demanda do local e o excedente e armazenado em acumuladores de cargas (baterias) e usado em momentos de baixa produção energética do sistema.

2. MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL

O Brasil é um país de grande extensão territorial, fato que reflete na complexidade do seu sistema elétrico. O SIN (Sistema Interligado Nacional) é composto por unidades geradoras e pela malha de transmissão de energia elétrica que interliga todos os estados brasileiros, exceto Roraima, o que permite o atendimento do mercado com segurança e economicidade, segundo o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). As unidades geradoras do SIN são em sua maioria baseadas em fonte hídrica, já que a hidrografia brasileira é caracterizada por rios caudalosos e de longas extensões, o que favorece a produção de energia elétrica. Atualmente, a matriz elétrica brasileira é composta por 181.614 MW de potência instalada, segundo ABSOLAR (2022), sendo 60,21% correspondente apenas à fonte hídrica, como indicado abaixo.

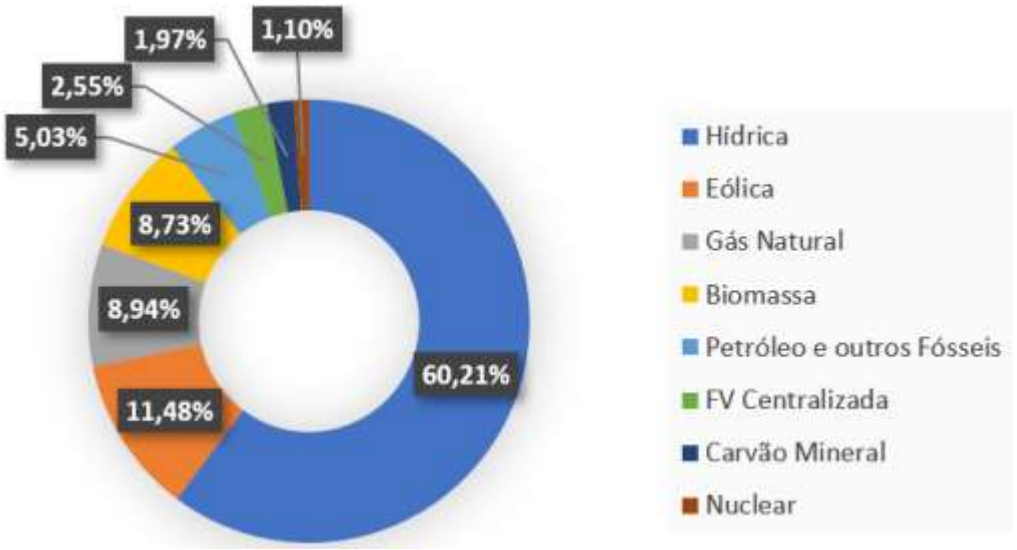


Figura 1. Matriz elétrica brasileira em 2021 (ABSOLAR 2022)

Assim é possível observar que a matriz elétrica no Brasil é composta em sua maioria por fontes renováveis de energia.

Porém, a grande dependência da geração hidrelétrica, tem provocado impactos negativos nos consumidores durante períodos de estiagem, levando à aplicação de medidas de racionamento do uso de energia elétrica e ao aumento da tarifa cobrada nas contas de energia. Com base nisso e no crescente consumo de energia elétrica, como mostrado na Figura 2 a seguir, se torna necessário o aumento da capacidade de geração e um aumento na diversidade da matriz elétrica, a fim de que as outras fontes de energia complementem às hidrelétricas, para que essas fontes alternativas consigam suprir a demanda em períodos de estiagem.

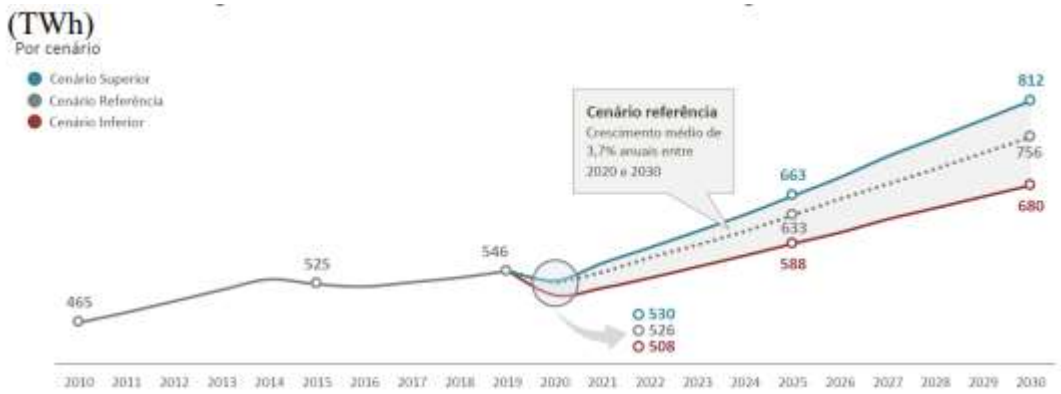


Figura 2. Perspectivas de aumento do consumo de energia elétrica no Brasil (TWh) (EPE, 2022)

3. IRRADIAÇÃO SOLAR

No Brasil o setor da energia fotovoltaica tem imenso potencial de exploração devida abundância de irradiação solar ao longo do território nacional, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o local menos ensolarado no Brasil possui uma incidência média de 3500 Wh/m² sendo possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha que possui uma incidência média de apenas 1250 Wh/m² é e um dos líderes mundiais no uso da energia fotovoltaica, no Brasil incide diariamente entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² em seu território como mostra o comparativo entre os atlas solares brasileiro e alemão na figura abaixo.

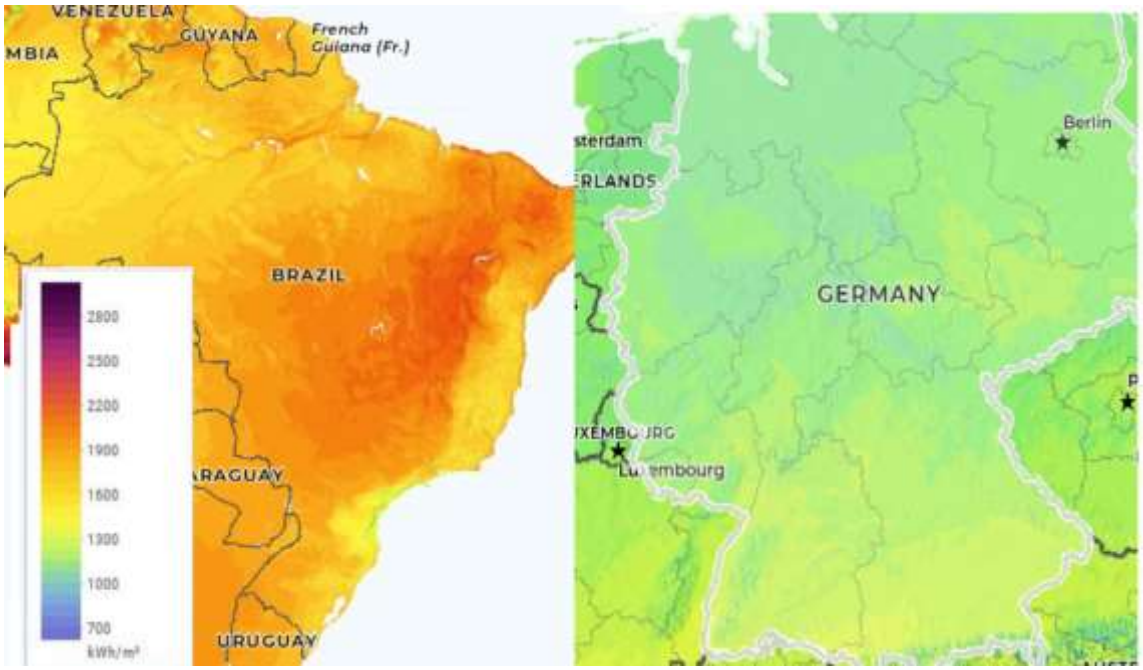


Figura 3. Comparativo entre os Atlas brasileiro e alemão de irradiação solar (GLOBALSOLARATLAS, 2022)

3.1 SISTEMA OFF-GRID

O sistema não dependente da rede(off-grid), são aqueles em que a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é armazenada em um banco de baterias para uso posterior.

Os principais componentes de um sistema off-grid são os painéis fotovoltaicos, controladores de carga, baterias e inversores de frequência. (GHAFOOR; MUNIR, 2015). A Figura 4 apresenta o diagrama de funcionamento desse sistema.

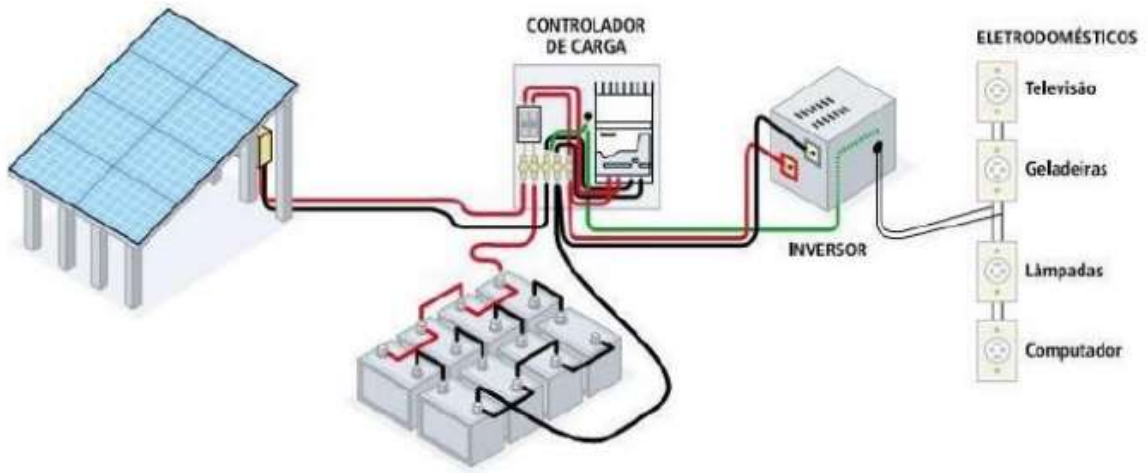


Figura 4. Layout de um sistema off-grid(Albratz 2017)

4. PAINEL SOLAR

Segundo Pereira e Oliveira (2011) os painéis solares, são a parte principal do sistema fotovoltaico de geração de energia. Este equipamento é formado por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é denominado gerador fotovoltaico e constitui a primeira parte do sistema, sendo responsável pela captação de irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica.

Na maioria dos sistemas fotovoltaicos, os painéis solares são colocados no telhado. Um local, no qual não se tem sombra nos painéis, especialmente durante o dia; uma instalação voltada para o nascer do sol geralmente fornecerá o potencial ideal para o seu sistema, mas outras orientações podem fornecer produção suficiente. Árvores e outros fatores que causam sombreamento durante o dia pode causar grande queda na produção de energia. A importância do sombreamento e eficiência não pode ser exagerada. Em um painel solar, se apenas uma de suas células estiver sombreada, a produção de energia será reduzida em mais da metade. Para isso, usa-se um dispositivo capaz de identificar

claramente áreas potenciais de sombreamento antes da instalação do sistema fotovoltaico. (CASALS, 2013).

Hoje em dia encontram-se disponíveis no mercado vários tipos de módulos solares, podendo ser rígidos ou flexíveis, de acordo com o tipo de célula empregada (PINHO; GALDINO,2014).

Quanto à fabricação dos painéis, Pinho; Galdino (2014) destacam que há grandes incentivos fiscais e ambientais da parte do governo nesta área. Com isso, o aumento da produção destes componentes reduziu os custos para a efetivação do sistema.

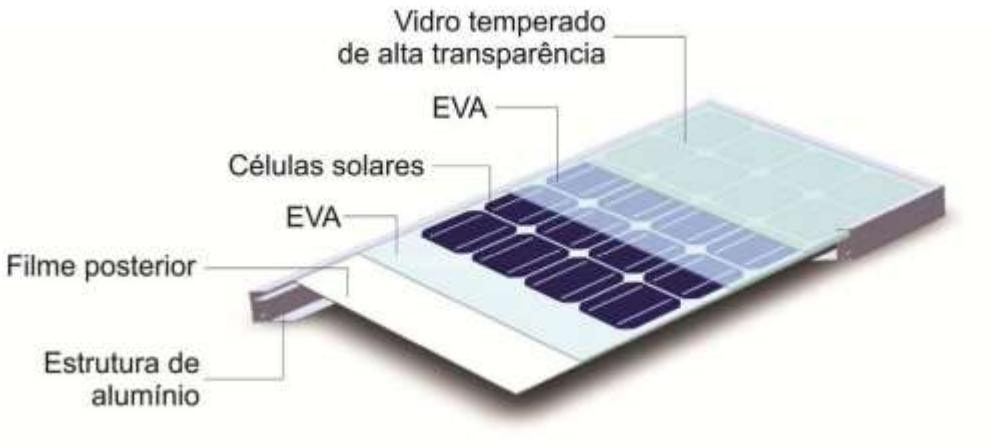


Figura 5. Células Fotovoltaica (Galdino et al., 2014)

5. CONTROLADOR DE CARGAS

Os sistemas fotovoltaicos com baterias devem, obrigatoriamente, empregar um controlador de carga. O controlador de carga é o dispositivo que faz a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, de modo a evitar que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente (VILLALVA, 2015). Esse acessório monitora a carga da bateria e impede que ela descarregue completamente, aumentando sua vida útil. Já em períodos de grande insolação e pequeno consumo energia, a bateria tende a carregar em excesso, aumentando sua tensão e diminuindo sua vida útil. O controlador interfere e desconecta dos módulos que alimentam a bateria. Os componentes do sistema devem ser conectados ao controlador de carga. O módulo nunca deve ser ligado diretamente `a bateria. A Figura mostra o esquema de ligação de um sistema contendo bateria.

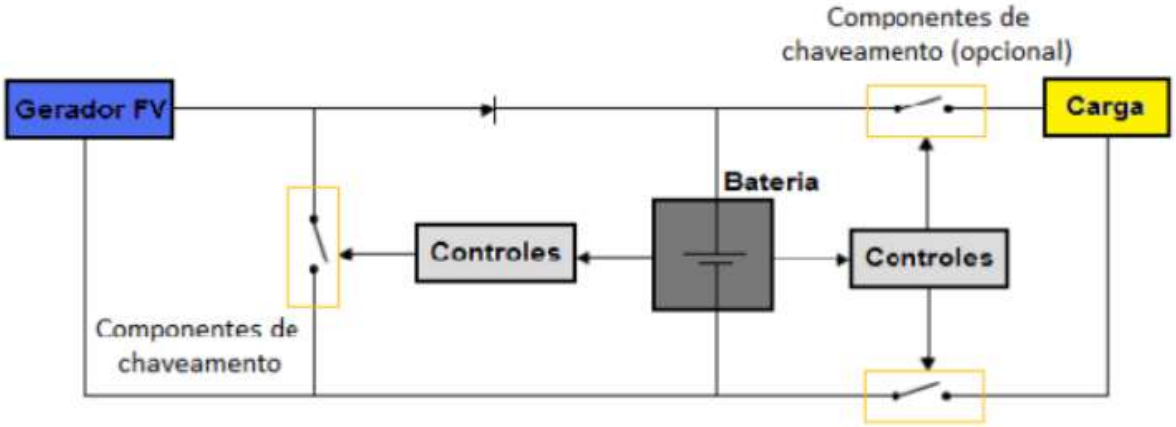


Figura 6. Diagrama simplificado de funcionamento do controlador de carga (Galdino et al., 2014).

6. BATERIAS

A energia solar fotovoltaica é caracterizada como uma fonte intermitente, assim como a eólica, pois não é possível prever com certeza a geração ao longo do dia, pois dependem de condições climáticas. Portanto, torna-se interessante avaliar formas de armazenar essa energia gerada, para utilização posterior quando a demanda for maior do que a geração de eletricidade.

O armazenamento de energia elétrica consiste em gerá-la ou consumi-la da rede, transformá-la em alguma outra forma que possa ser estocada e, posteriormente, transformá-la em energia elétrica novamente (CHEN et al., 2009). Há diversas alternativas para realizar o armazenamento de energia, como indicado na Figura 7.

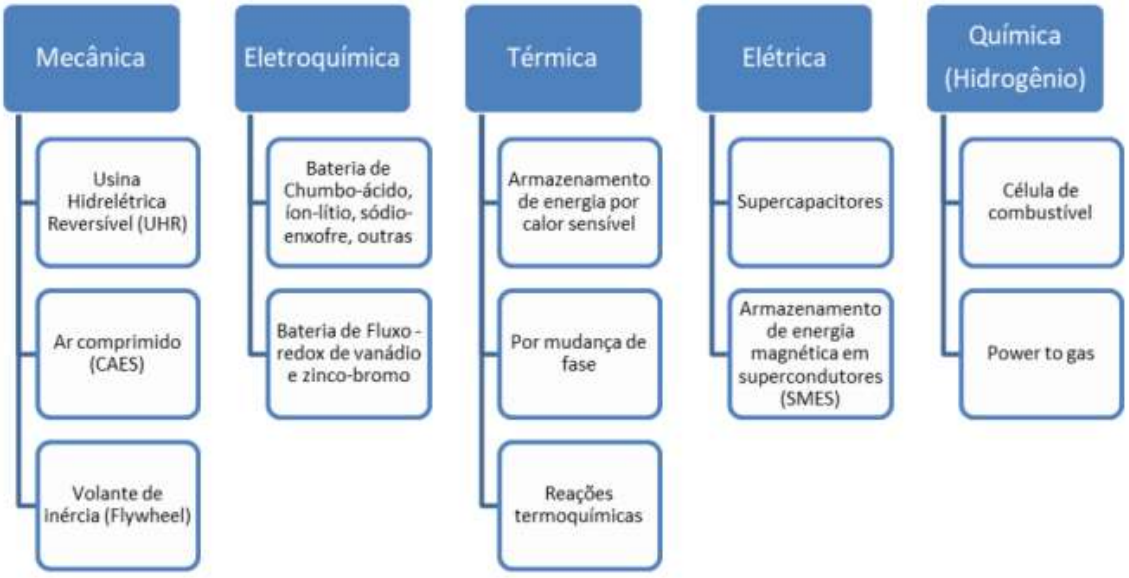


Figura 7. Tipos de armazenamento de energia (EPE 2019).

A Figura 8 indica quais são as tecnologias de armazenamento de energia mais adequadas a depender da potência do projeto, do tempo de descarga da eletricidade e da finalidade, se é destinado para o usuário final, se será utilizado no sistema de transmissão e distribuição ou se será utilizado em conjunto com grandes usinas de geração de energia elétrica.

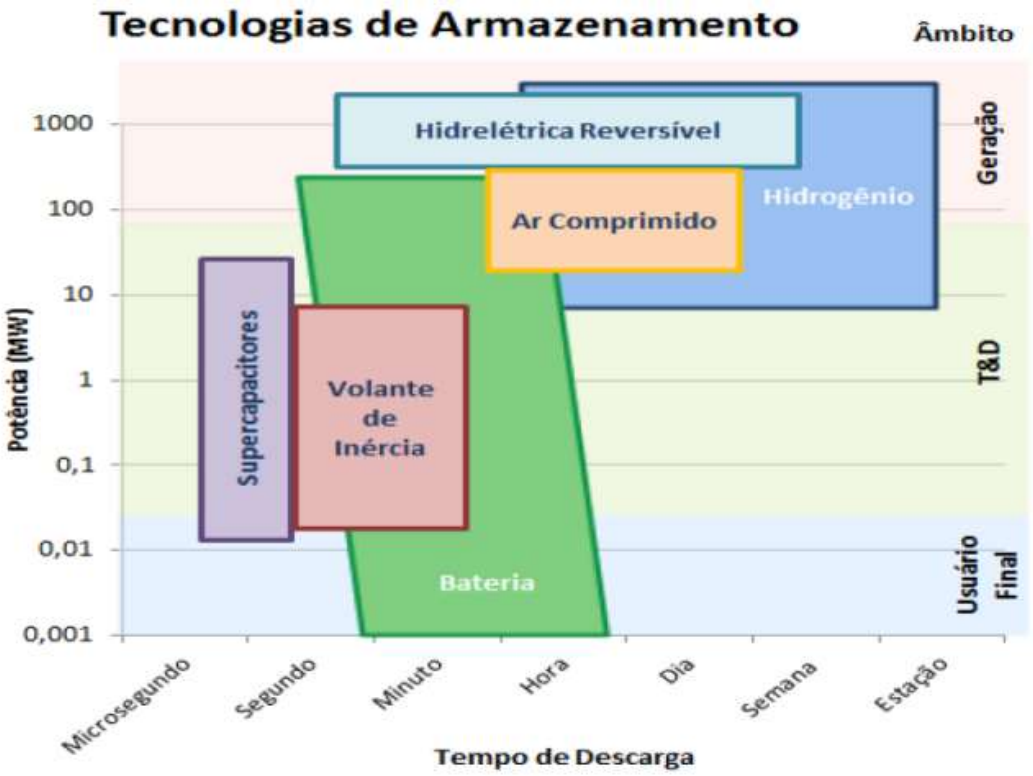


Figura 8. Relação entre os tipos de armazenamento de energia e parâmetros dos projetos (EPE, 2019)

Assim é possível observar, que cada tecnologia de armazenamento tem suas características e suas aplicações principais.

Logo, a comparação técnica e financeira entre elas sempre deve ser realizada caso a caso, pois a viabilidade de cada solução é variável a depender do dimensionamento e da aplicação desejada.

Os métodos de armazenamento eletroquímico, correspondentes às baterias, são capazes de transformar energia elétrica em energia química para armazenamento, depois fazer a operação contraria para fornecer eletricidade à carga. As baterias são utilizadas em diversas aplicações no sistema elétrico, entre elas: operação conjunta com plantas de geração para fornecimento de energia elétrica em sistemas isolados e operação com fontes intermitentes para abastecer a rede elétrica em momentos de alta demanda e baixa geração.

A escolha do tipo de bateria para um sistema depende principalmente da tensão nominal (V), da capacidade de armazenamento (Ah) e da vida útil. Porém, as baterias também se diferenciam umas das outras pelas características de composição química e densidade energética (W/kg). Outra característica importante é a profundidade de descarga, percentual da capacidade da bateria que pode ser descarregado a cada ciclo. As baterias são desenhadas para permitir uma profundidade de descarga específica, no qual se garante uma vida útil especificada pelo fabricante (HUGGINS, 2016), tal que a vida útil significa o número de ciclos de carga e descarga que uma bateria pode executar antes de falhar, (FEDALTO, 2020). A Figura 9, apresenta uma comparação entre as principais características dos dois tipos de baterias mais utilizados atualmente para aplicações no sistema elétrico, a bateria de chumbo-ácido e de íon-lítio.

Bateria	Vida útil (anos/ ciclo)	Densidade energética [Wh.kg^{-1}/ kWh/m^3]	Tempo de descarga	Tempo de recarga	Autodesc. [%/dia]	Temp. de operação [°C]	Tensão crítica [V por célula]
Chumbo-ácido	5-15/ 2000	30-50/ 75	min-h	8-16 h	0,1-0,3	–10-40	1,75 V
Níquel-cádmio	15-20/ 2000	45-80/ <200	seg-h	1 h	0,2-0,6	–40-45	2
Lítio-íon	8-15/ 500-600	100-250/ 250-620	min-h	9 h	0,1-0,3	–10-50	3
Sódio-enxofre	12-20/ <2000	150-240/ <400	seg-h	9 h	20	300	1,75-1,9
Sódio-cloreto de níquel	12-20/ 4000-4500	125/ 150-200	min-h	6-8 h	15	270-350	1,8 - 2,5
Zinco-brometo	5-10/ 300-1500	60-80/ 20-35	seg-10h	4 h	0-1	10- 45	0,17-0,30
Vanad. redox	10-20/ 13000	75/ 20-35	seg-10h	min	0-10	0-40	0,7-0,8

Figura 9. Características dos principais tipos de bateria (CAVANAGH et al.,2015)

É possível, portanto, identificar que cada bateria possui suas vantagens e desvantagens, por exemplo, as baterias de chumbo-ácido possuem preço menor e tempo maior de descarga, porém apresentam baixa vida útil e eficiência, já as baterias de íon-lítio possuem alta vida útil e eficiência, porém possuem preço maior, menor segurança e menor tempo de descarga.

6.1 PROFUNDIDADE DE DESCARGA

A profundidade de descarga (DoD) representa a fração de energia perdida pela bateria, normalmente é expressada pelo total da capacidade da bateria. Como uma bateria de 1000Ah totalmente carregada passa a ser continuamente descarregada até chegar a uma carga de 500Ah, desse modo é possível calcular a profundidade de descarga com a formula a seguir: DoD(%)= (500Ah/1000Ah) x 100% =50%.

Desse modo observamos uma DoD de 50% da capacidade total da bateria. Na maior parte das baterias a vida útil está diretamente ligada a profundidade de descarga que elas sofrem durante os ciclos de carga e descarga, podendo assim adiantar drasticamente o final da vida útil para DoDs maiores(Federal Batteires, 2020).

A profundidade de descarga das baterias é um dos fatores que mais afeta o tempo útil que a mesma terá, pois

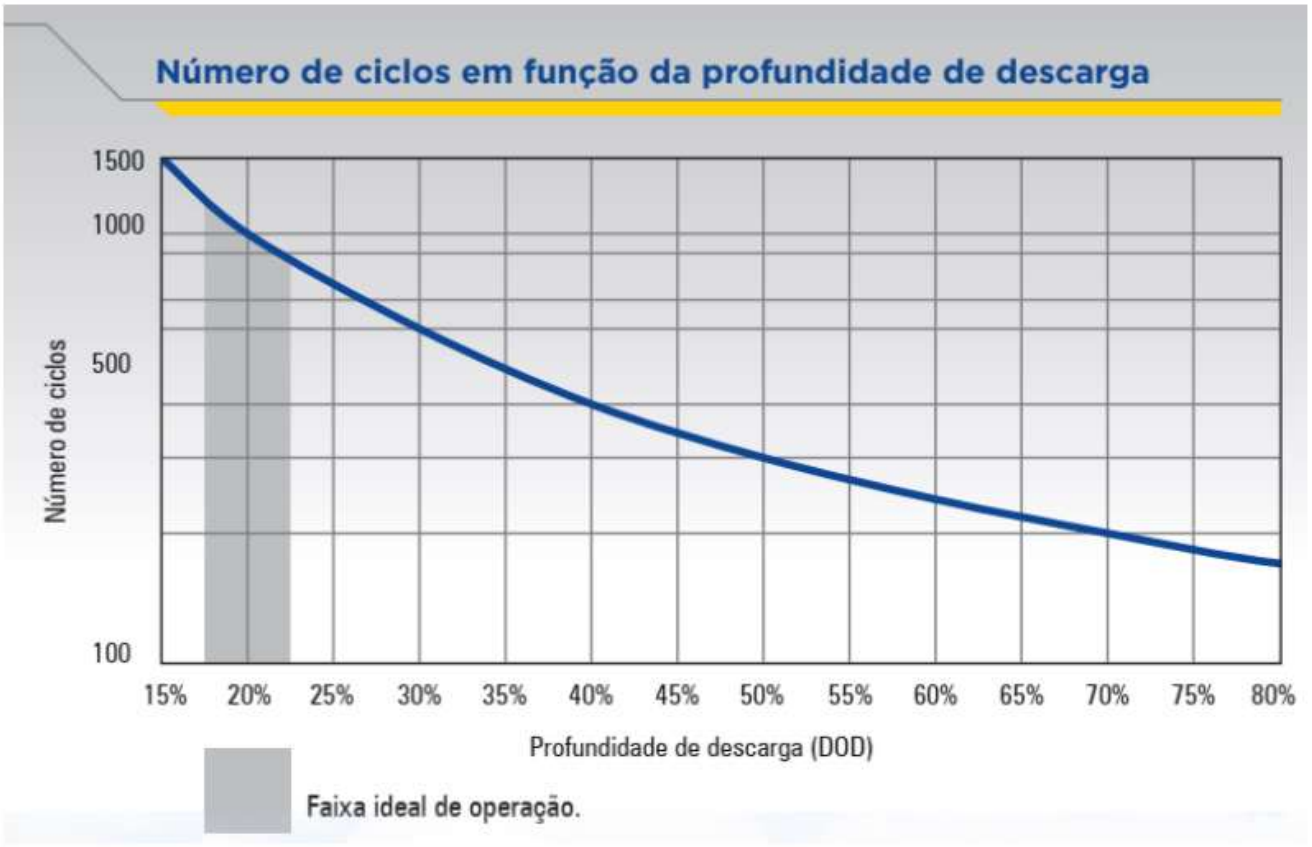


Figura 10. Curva Caraterísticas da Profundidade de descarga (NEOSOLAR,2021).

Modifica a quantidade de ciclos(carga e descarga) que ela suporta sem afetar o funcionamento. Muitas baterias de diferentes tecnologias são intensamente afetadas por DoDs mais agressivos (STRINGINI, 2021).

7. INVERSOR (TIPOS, CARACTERÍSTICAS)

A maior parte dos eletrodomésticos é feita para trabalhar com a rede elétrica de tensão alternadas, tensão de 127V ou 220V, e frequência de 60 Hz (VILLALVA, 2015). Os módulos fotovoltaicos geram tensão continua (tensão CC) e para realizar a conversão em tensão alternada (tensão CA) são utilizados inversores, que além de transformar o sinal saída em uma onda senoidal ou quadrada ainda elevam a tensão para os valores residenciais

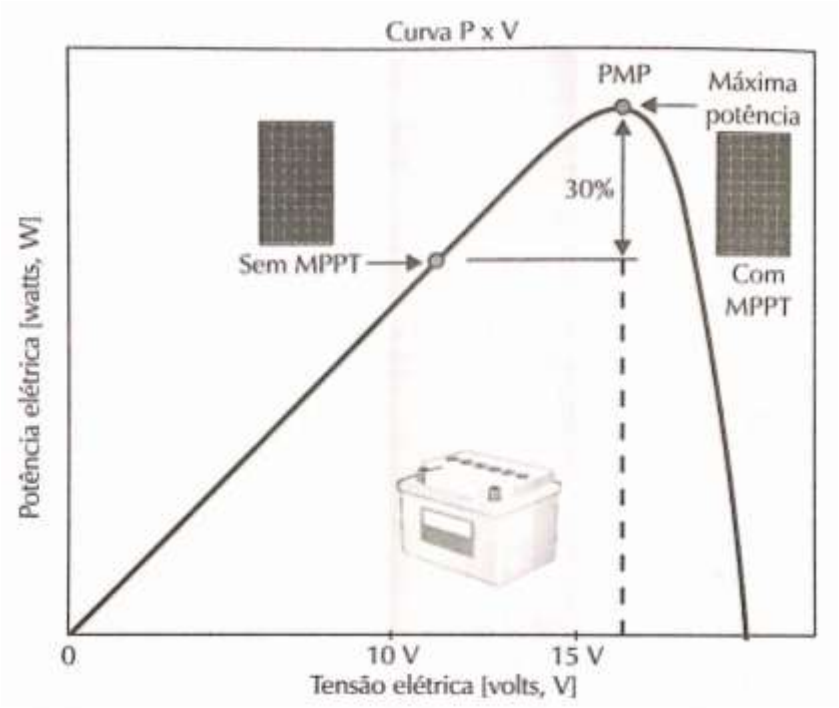


Figura 11. Operação do módulo com o controlador MPPT (VILLALVA, 2015)

Atualmente, existem três tipos de inversores utilizados em sistemas autônomos: inversor de onda quadrada, de onda senoidal modificada e de onda senoidal pura. Segundo Villalva 2015, ondas semi quadradas possuem menos distorção harmônica do que ondas quadradas, contudo os dois tipos são muito distorcidos quando comparados com a senoidal pura. Dessa forma são mais indicados esses tipos de inversores para aparelhos que não sejam sensíveis a ruídos, como eletrodomésticos e lâmpadas. Já em processos que dependem da qualidade do sinal, são utilizados os inversores de onda senoidal pura, que tem um maior valor devido a sua complexidade.

8. FATORES QUE INFLUENCIAM O SISTEMA FOTOVOLTAICO

Apesar do sistema fotovoltaico ter alta confiabilidade técnica, há a ocorrência de perdas que impactam sua eficiência. Essas perdas podem ser provenientes de condições ambientais, como sombreamento

e sujidade, perdas por configuração da instalação, ângulo de inclinação do módulo, perdas elétricas por cabeamento, entre outros.

Portanto, essas perdas devem ser contabilizadas e levadas em consideração desde a primeira etapa da elaboração de um projeto fotovoltaico (BARBOSA, 2010).

O desempenho dos painéis é influenciado por diversos fatores, como a temperatura e irradiância que incide sobre as células fotovoltaicas. As condições padrões de teste, em que são plotadas as curvas características dos módulos, são definidas como uma irradiância de 1000W/m2 (radiação recebida na superfície da terra em um dia sem nuvens ao meio dia) e a uma temperatura de 25ºC. O sombreamento sobre apenas uma célula é mais um fator que pode fazer com que o módulo fotovoltaico deixe de produzir energia.

8.1 IRRADIÂNCIA E TEMPERATURA

A produção de energia de um modulo depende diretamente ao fluxo de fótons que incide sobre a superfície das células.

O movimento do sol implica diretamente na radiação recebida pelas placas fazendo com que seja diferente ao decorrer das horas do dia e à mudança de estações, pois o sol vai estar mais próximo ou mais distante da superfície da Terra. O movimento pode ser acompanhado pelos painéis através de seguidores de movimento solar, mas por possuírem um custo elevado, não é utilizado em instalações residenciais. Nesses casos, é fundamental que seja ajustada a inclinação de acordo com a latitude local e escolher uma face do telhado que proporcione melhor geração na maior parte do tempo de sol (Dos Santos et al., 2020).

A temperatura tem influência na tensão que o módulo fornece em seus terminais e consequentemente a sua potência produzida (VILLALVA, 2015). A corrente fornecida pelo módulo quase não se altera com a variação de temperatura, em contrapartida, a tensão sofre uma queda significativa com o aumento de temperatura o que gera uma redução na potência fornecida pelo módulo, tendo em vista que a potência é o produto entre tensão e corrente. A Figura 12, mostra as curvas para diferentes valores de temperatura.

9. SOMBREAMENTO

A intensidade da corrente elétrica produzida por uma célula fotovoltaica é proporcional à intensidade de radiação que incide sobre ela (VILLALVA, 2015). Devido ao fato de as células do módulo fotovoltaico

estarem ligadas em série, dependem umas das outras para produzir corrente. Ocorre o efeito do sombreamento quando uma ou mais células recebem pouca ou nenhuma luz, impedindo a passagem da corrente das outras células. Na Figura 13 podemos ver uma situação comum, em que uma célula é obstruída por uma folha, promovendo interrupção na produtividade de todo conjunto.

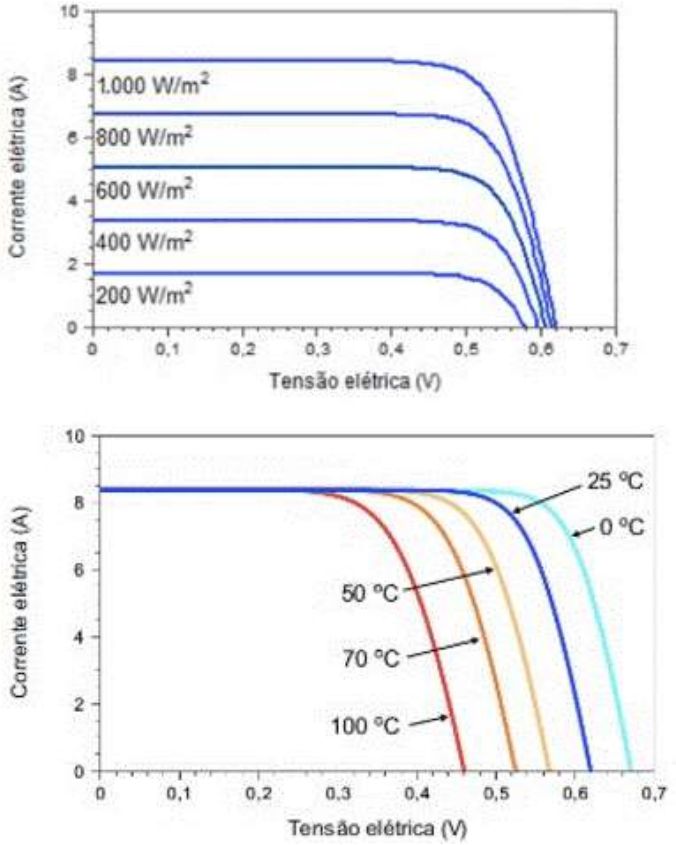


Figura 12. Curvas características de um painel solar(GTES, 2014)

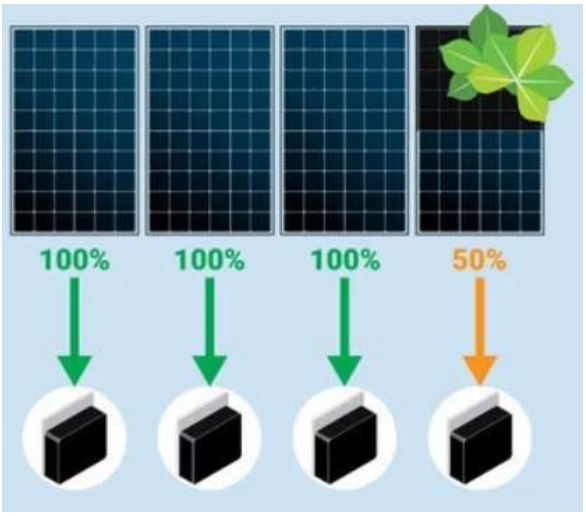


Figura 13. Modulo fotovoltaico sobre efeito de sombra (Reevisa 2021)

10. ÂNGULO DAS PLACAS

O ângulo de inclinação é um parâmetro de suma importância, pois influência diretamente na absorção da irradiação solar direta, e na reflexão da irradiação incidente na superfície do módulo, em suma interfere de forma direta na capacidade de produção de energia elétrica e, consequentemente, no desempenho do sistema. De acordo com Pinho e Galdino (2014), o melhor ângulo de inclinação para um módulo fotovoltaico está relacionado a latitude do local de instalação do sistema. Contudo, ângulos muito próximos a 0° intervém de forma negativa na autolimpeza da superfície do módulo, pois geram o acúmulo de sujeira e água sobre a superfície de absorção.

De acordo com Pinho e Galdino (2014) e Villalva (2017), o ângulo de inclinação de um módulo fotovoltaico precisa ser igual à latitude do local de instalação, contudo, para localidades com latitude menor que 10° deve-se fixar os módulos com ângulo de inclinação mínimo de 10°, afim de possibilitar sua autolimpeza e evitar perdas de geração de energia, por acúmulo de sujidade ou de lˆaminas de água. Assim, com o intuito de minimizar tais perdas nos experimentos foi adotado o ângulo de 10°5 (latitude de Lagarto).

11. MATERIAIS E MÉTODOS

Para estudos e testes de geração e viabilidade de uso, foi usado o kit gerador solar 100W 12v- OFFGRID da Ecoforce com os componentes que o acompanham e outros equipamentos que se fizeram necessários para estudos e realização de testes.

- Placa 100w - 12v dobrável;
- Inversor 400W;
- Controlador de Carga do kit;
- Fiação e acessórios do kit(fios de 1,5mm, 2mm e 4 mm);
- Bateria 12v;
- Controlador de Carga 12v/24v Automático Pwm 100a;
- Fonte de tensão;
- Fios com boca de jacaré;
- Multímetro AC/DC;



Figura 14. Kit gerador solar OFF-GRID (Autor 2022)

Na figura 14, pode ser observado o Kit de geração off-grid que será utilizado para estudo. Após a montagem foi analisado o funcionamento e a capacidade de armazenamento da bateria, onde já foi possível observar pontos a serem implementados, pois não é possível acompanhar a carga da bateria ao longo do tempo e o controlador de cargas não tem um display de configuração e leitura de dados.

Visto que o controlador de carga é de extrema importância para acompanhamento, funcionamento do sistema e programação para um controle mais automatizado, principalmente no sentido de proteção dos componentes, por isso se faz necessário implementar um novo controlador de cargas para utilização nos experimentos.



Figura 15. Equipamento montado (Autor, 2022)



Figura 16. Novo controlador de Carga (Autor, 2022)

O novo controlador de carga é o modelo 12v/24v automático Pwm 100a, que tem um preço acessível variando de 50 a 110 reais em sites na internet, é bem simples de utilizar e tem uma ótima funcionalidade sendo possível programar a tensão máxima da bateria, tensão de ativação da carga, interrupção de descarga da bateria (possibilitando controle da profundidade de descarga), modo de funcionamento (0 a 24 horas) e o tipo de bateria utilizado no sistema, assim já é possível configurar o nosso sistema e principalmente proteger melhor os componentes.

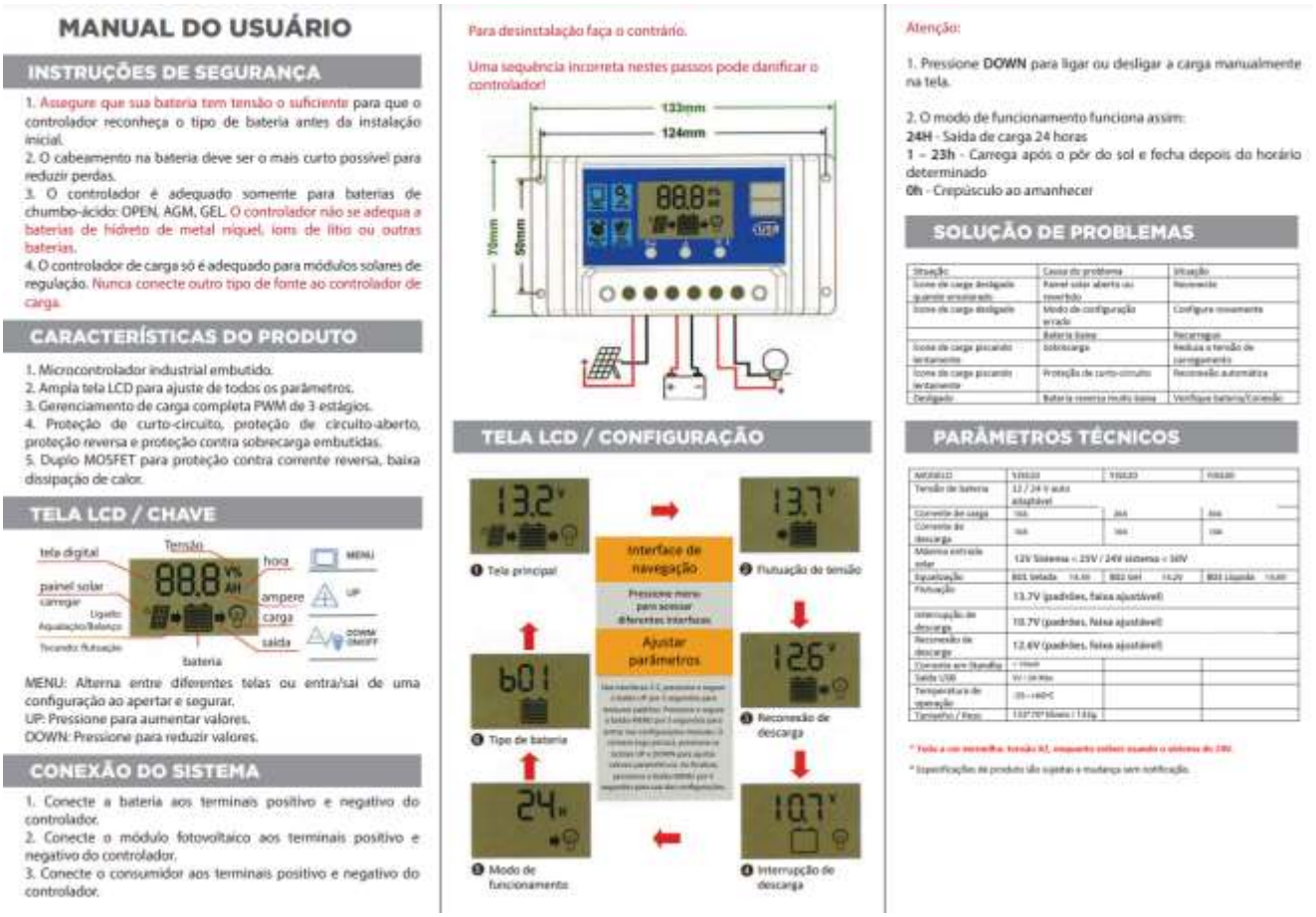


Figura 17. Manual do controlador de carga(Hotsat, 2019)

12. RESULTADOS

Para iniciar o projeto a primeira etapa foi implementar o novo controlador de cargas do sistema assim foi feita a programação do controlador de carga com profundidade de descarga de 85%, ficando a tensão de ativação em 12V e interrupção de descarga 10.2V para proporcionar uma maior vida útil da nossa bateria. Após testes em bancada para verificar o funcionamento da programação, foi verificada a eficiência do controlador para então instalarmos no nosso sistema.

Após testes em bancada para verificar o funcionamento da programação, foi possível observar a eficiência do controlador para então instalarmos no nosso sistema.

Então com o novo controlador de cargas instalado no sistema, foi iniciada a fase de medições para verificar a capacidade do sistema, foi medida a tensão e corrente AC do sistema a cada 30 minutos em diferentes condições, sendo elas dia ensolarado, nublado/chuvoso e sombreamento.

O primeiro gráfico da figura 20 apresenta o desempenho da placa em um dia ensolarado com alta incidência de luz solar, situação ideal onde a placa deve apresentar toda sua capacidade de produção energética, porém podemos ver que apesar do fabricante informar que a placa alcança

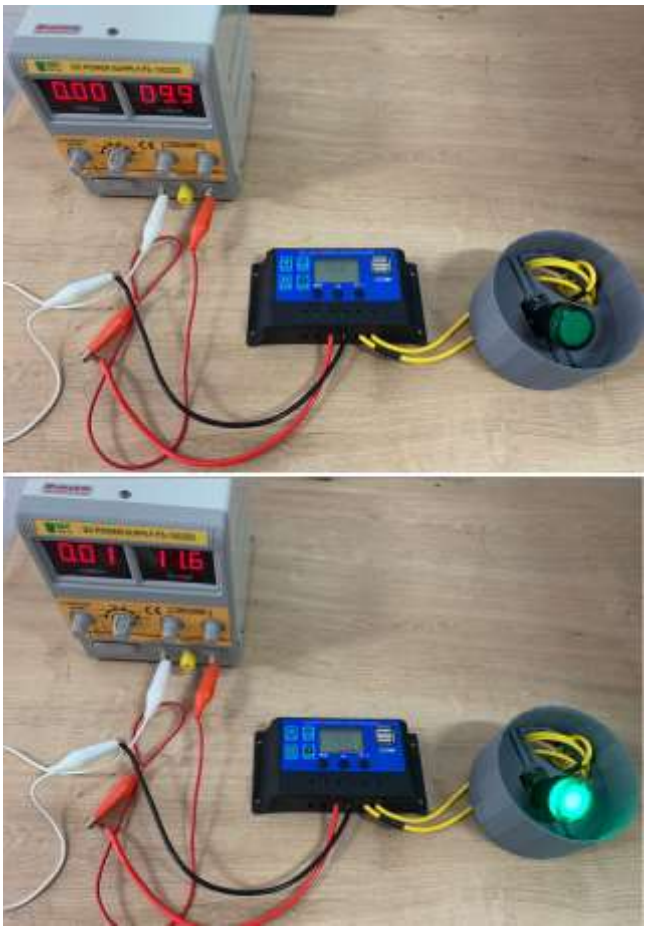


Figura 18. Teste em bancada do novo controlador (Autor,2022).



Figura 19. Sistema com novo controlador de Carga(Autor,2022)

Capacidade de geração d aplaca em dia ensolarado 8/12/22

Horario	Tensão	Corrent	Pot(W)
09:00	18,9	1,32	24,95
09:30	19,11	1,5	28,67
10:00	19,5	1,8	35,10
10:30	18,3	2,1	38,43
11:00	16,2	2,8	45,36
11:30	17	2,9	49,30
12:00	18	3,5	63,00
12:30	18,5	4	74,00
13:00	19	4,5	85,50
13:30	19,3	4,7	90,71
14:00	19,38	3,3	63,95
14:30	18,2	1,85	33,67
15:00	14,4	2,18	31,39
15:30	14,2	1,8	25,56
16:00	13,99	1,35	18,89

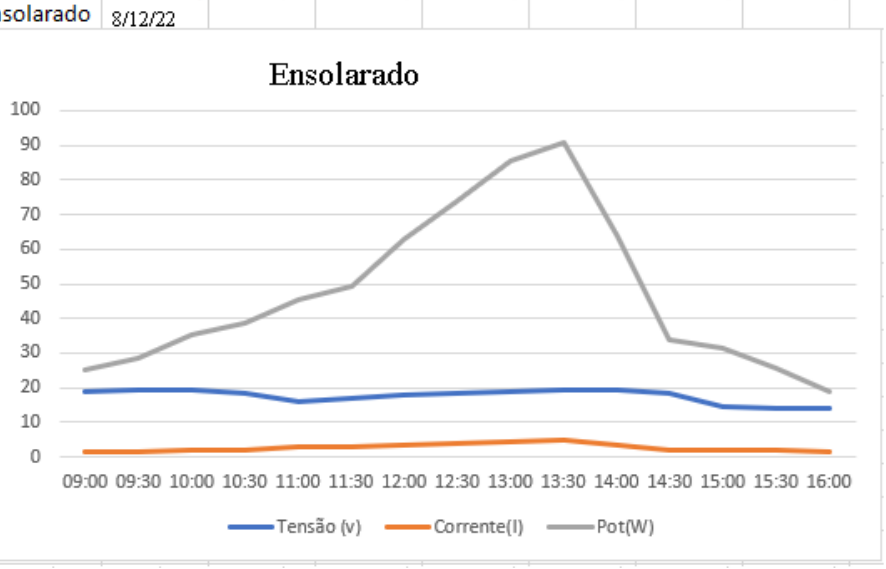


Figura 20. Geração dia ensolarado (Autor, 2022)

Os 100W ela conseguiu atingir apenas 90,71 quase 10% a menos do que é informado pelo fabricante.

Capacidade de geração da placa em dia Nublado/chuva 01/12/2022

Horario	Tensão (v	Corrente(	Pot(W)
09:00	14,8	1,35	19,98
09:30	15,2	1,72	26,14
10:00	13,45	1,12	15,06
10:30	13,04	1,01	13,17
11:00	14,1	1,22	17,20
11:30	15,2	1,44	21,89
12:00	17,8	1,88	33,46
12:30	18,92	2,01	38,03
13:00	19,4	2,32	45,01
13:30	16,16	1,29	20,85
14:00	16,9	1,22	20,62
14:30	15,4	1,12	17,25
15:00	13,8	0,98	13,52
15:30	16,25	1,98	32,18
16:00	15,32	1,28	19,61

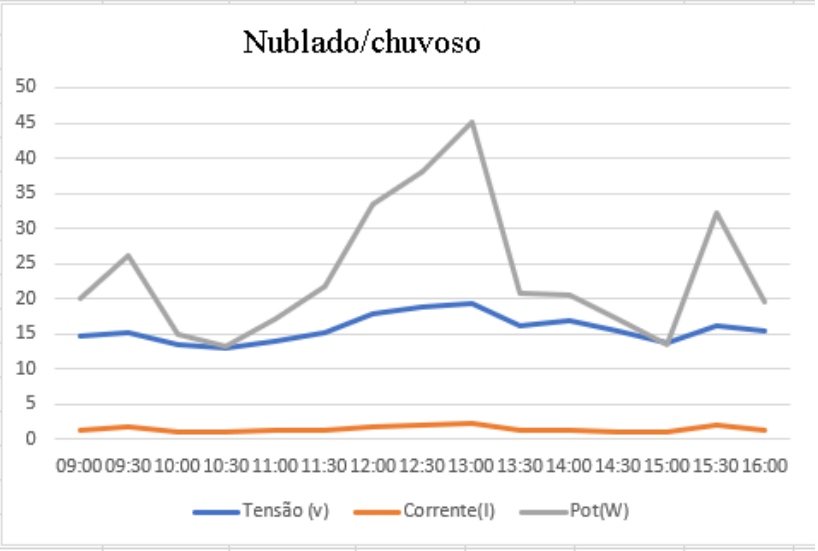


Figura 21. Geração dia chuvoso (Autor 2022)

No segundo gráfico mostrado na figura 21 foram feitas as medições em uma situação que acontece com frequência em certos períodos do ano, logo é importante prever como será o comportamento do sistema, fica evidenciada uma queda de praticamente 50% na capacidade de geração das placas, isso deve ser levado em consideração com cuidado no momento de dimensionamento do sistema que a depender da região pode se tornar inviável, caso haja grandes períodos de chuva.

Capacidade de geração da placa com sombreamento 10/12/22

Horario	Tensão	Corrent	Pot(W)
09:00	15	1,02	15,30
09:30	16,5	1,1	18,15
10:00	17	1,4	23,80
10:30	15,3	1,7	26,01
11:00	11,2	2,1	23,52
11:30	13,3	2,2	29,26
12:00	15,2	2,9	44,08
12:30	14,3	3,4	48,62
13:00	16	3,95	63,20
13:30	16,2	4	64,80
14:00	17,4	2,8	48,72
14:30	14,6	1,15	16,79
15:00	10,2	1,65	16,83
15:30	10,4	1,2	12,48
16:00	9,8	0,85	8,33

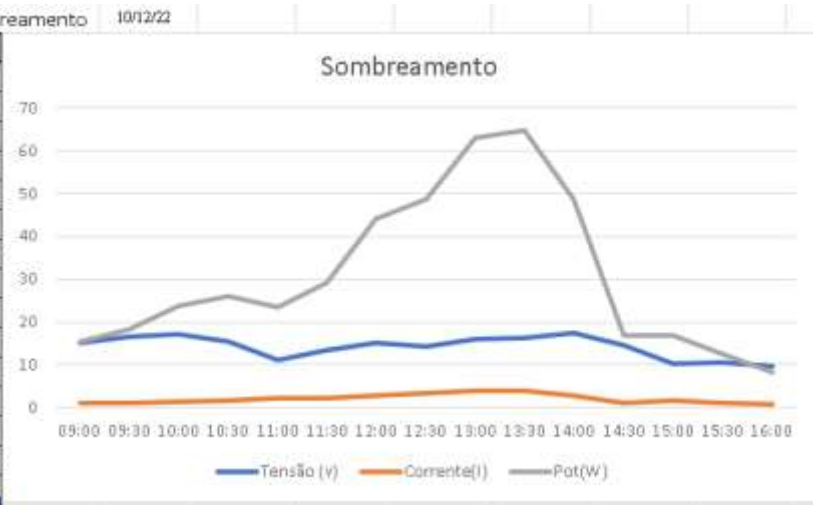


Figura 22. Geração com sombreamento (Autor, 2022)

Uma situação que pode ser evitada com o planejamento bem executado antes da instalação é o sombreamento, uma vez que depende muito do posicionamento dos painéis, e como vemos no gráfico da figura 22 também tem provoca uma diminuição significativa na eficiência dos painéis.

Após feitas as medições partimos para a verificação por meio de testes práticos em bancada simulando a conexão de cargas tanto no inversor ligado diretamente a placa quanto com o inversor conectado a bateria como seria em uma situação em que a placa não estivesse gerando energia, assim foi possível observar o comportamento das formas de onda no osciloscópio e do próprio inversor que quando conectado a uma carga de potência muito elevada aciona o sistema de segurança e desliga de forma automática.



Figura 23. Testes de bancada do inversor(Autor 2022)

13. CONCLUSÕES

A energia fotovoltaica vem ganhando cada vez mais espaço no Brasil e assim surge a demanda por profissionais qualificados para atuar na área e assim atender tal demanda, visto isso é necessário que a universidade tenha material para prepara os alunos para o mercado de trabalho.

Após toda a revisão bibliográfica, experimentos e montagem de sistema é possível observar que o modelo offgrid tem uma grande vantagem sobre o on-grid, uma vez que pode ser montado de forma independente sem ser necessária a aprovação de projetos na concessionaria de energia e um sistema robusto de alto custo, assim o sistema off-grid é perfeito para fins acadêmicos e aplicações onde não há conexão com a rede elétrica.

A depender da carga a ser alimentada o sistema irá demandar mais placas, baterias e controlador bem como inversor mais robustos que suportem uma carga maior, assim o projeto atual com o objetivo de atender uma demanda dos estudantes que carecem de práticas na área se mostra muito promissor sendo possível fazer mais implementações caso haja recursos e posteriormente ser implementado para cargas maiores.

REFERÊNCIAS

Energia solar fotovoltaica no Brasil. ABSOLAR, 03 jan 2022. Disponível em: https://www.absolar.org.br/arquivos/. Acesso em: 04 jun 2022.

Balanço energético nacial 2021. EPE, 2021. Disponível em:https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/2021. Acesso em: 04 jun 2022.

Summary of solar power potential and solar resources. Globalsolaratlas, 2022. Disponível em: https://globalsolaratlas.info/map?15.129112,-54.3875,4. Acesso em: 04 jun 2022.

GHAFOOR, A.; MUNIR, A. Design and economics analysis of an off-grid pv system for household electrification. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, v. 42, p. 496‑502, 2015. 4, 25.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.

CASA S, Martí Rosas; GARRETA, Jaime Cendra. Energia solar térmica. Barcelona: Universitat Polit cnica de Catalun a, 2013.

Catalogo de produtos MOURA Disponível em: AF CATALOGOMOURA SOLAR 19AGO19.indd (neosolar.com.br).

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014 Entendendo as curvas PV, IV dos módulos fotovoltaicos,2022. Disponível em: https://canalsolar.com.br/entendendo-as-curvas-iv-epv-dos-módulos-fotovoltaicos/,4. Acesso em: 04 jun 2022.

Esquema de ligação do Controlador Solar MPPT Gerenciável. Volt, 2022. Disponível em: http://volt.ind.br/ctrlmpptsolarev30a.Acesso em: 05 jun 2022. CHEN, H. et al. Progress inelectrical energy storage system: a critical review. Progress in Natural Science, v. 19, n. 3, p. 291‑312, 2009.

Sistemas de armazenamento em baterias. EPE, 29 nov 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoesdadosabertos/441/EPE-DEE-NT0982019Bateriasnoplanejamento.pdf.Acessoem 05jun2022.

STRINGINI, Leonardo Weber. Cálculo da vida útil e degradação de baterias ocasionada por repetidos ciclos através do método Rainflow Couting. 2021. HUGGINS, R. A. Energy Storage. Stanford: Springer US, 2016.

V. N. S. Diaz, G. R. Sylvestrin, D. L. De Douza, R. Reginatto, J. J. G. Ledesma, O. H. A. Junior. Fundamentos sobre Sistemas de Armazenamento de Energia. In: D. A. Cantane, O. H. A. Junior, M. B. Hamerschmidt (orgs.). Tecnologias de Armazenamento de Energia Aplicadas ao Setor Elétrico Brasileiro ‑ Ed. Scienza, 2020 ‑ São Carlos ‑ SP, Brasil.

FEDALTO, L. F. V. Análise técnica e simulação econômica para aplicações de sistemas de armazenamento de energia com baterias nos sistemas elétricos de potência. 2020.

Dissertação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 29 mai 2020. Federal Batteires. What is Depth of Discharge and why is it so important? FederalBatteries, 2020. Acessado em 10 novembro de 2021.

Disponível em: What is Depth of Discharge and why is it so important? | Federal Batteries | Leading Battery Brands | The Best Battery Solutions.

ESTUDO estratégico mercado de armazenamento. Greener, 2021. Disponível em: https://www.greener.com.br/estudo/estudoestrategico-do-mercado-de-armazenamento-de-energia-no-brasil- 2021/. Acesso em: 05 jun 2022.

Importância de um inversor solar na geração de energia (Reevia,2021). Disponível em: https://reevisa.com.br/post/importanciade-um-inversor-solar/.Acesso em: 05 jun 2022.

VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 2. ed. [S.l.]: Editora ´ Erica, 2015. 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20.

Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (GTES, 2014).Disponível em: Curvas características de um painel solar. Fonte: Manual de Engenharia... | Download Scientific Diagram (researchgate.net).Acesso em: 05 jun 2022.

Irradiação solar diária média [kWh/m2.dia](Cresesb,2022).Disponível em: CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (cepel.br) Acesso em: 05 jun 2022.

Manual do controlador d carga(hotsat,2019). Disponível em: MA https://hotsat.com.br/v2019/wp-content/uploads/2019/10/MANUALCONTROLADOR-DE-CARGA.pdfNUAL CONTROLADOR DE CARGA (hotsat.com.br). Acesso em 04/12/022.

Capítulo 8

10.37423/240408913

A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NA AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO ESCOLAR

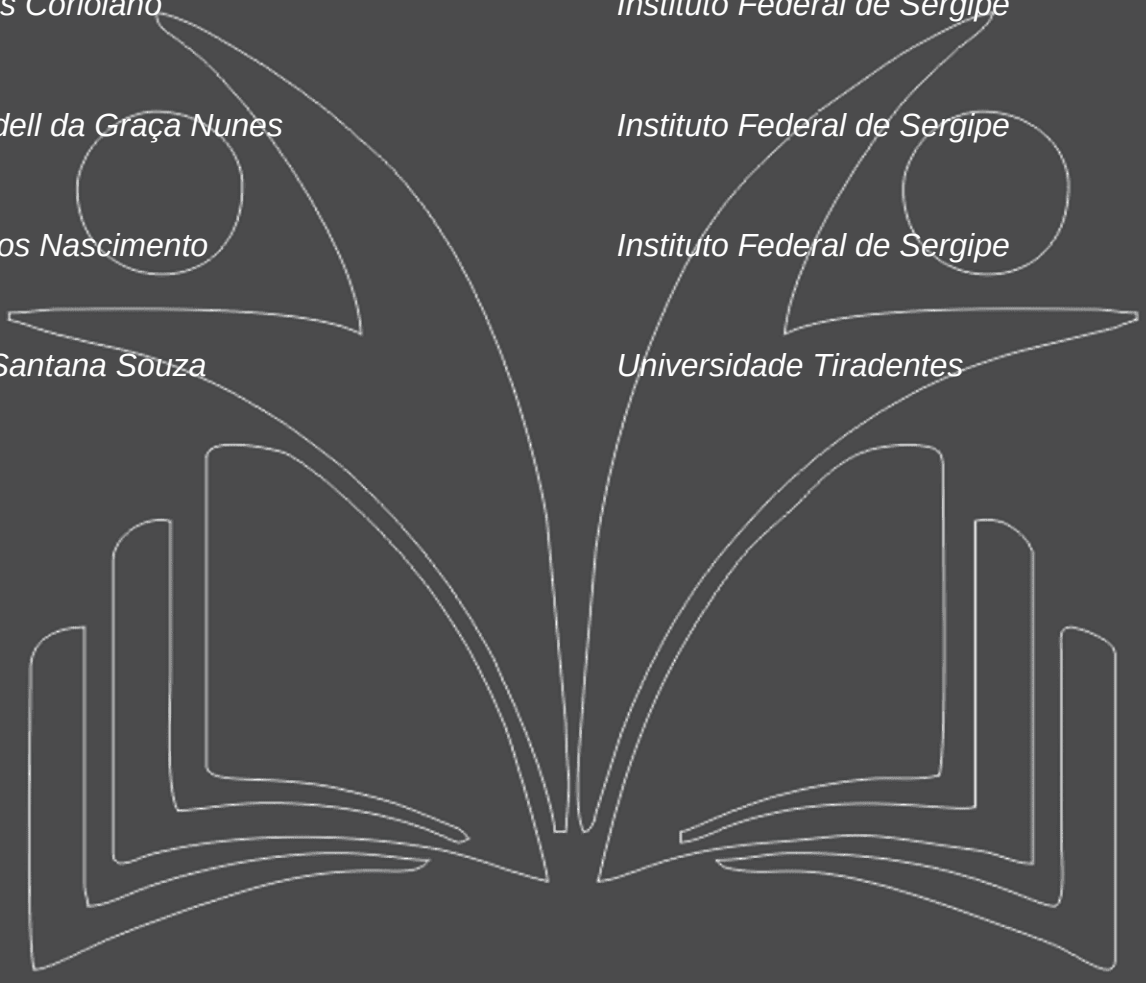
Everton Tavares Pinto — *Instituto Federal de Sergipe*

Diego Lopes Coriolano — *Instituto Federal de Sergipe*

Fábio Wendell da Graça Nunes — *Instituto Federal de Sergipe*

Bruno Santos Nascimento — *Instituto Federal de Sergipe*

Thiago de Santana Souza — *Universidade Tiradentes*



Resumo: Ao longo dos anos viu-se um avanço enorme da tecnologia em todo o mundo, muito desse avanço dar-se pelo fato da implementação da automação em todos os setores da economia. A automação tem sido de suma importância para a agricultura, visto que sua utilização gera grandes benefícios para o setor. Quando utilizada na irrigação é notório os seus resultados, sobretudo na economia de mão de obra, racionamento de água, já que uma vez implementada nesse setor se tem todo o controle e monitoramento do processo. Neste contexto, o presente trabalho tem a finalidade de automatizar um protótipo de irrigação escolar utilizando técnicas de microaspersão e as tecnologias que a automação proporciona. O sistema utiliza uma plataforma arduino, bomba d'água, válvula solenoides e sensores de umidade. Além disso foi desenvolvido um sistema fotovoltaico off grid compondo-se de um painel solar, um controlador de carga e uma bateria para se ter uma maior independência de controle e monitoramento, ou seja, só será alimentado com o sistema off grid os componentes de controle e monitoramento, os demais serão alimentados pela rede local. A automação mostra que pode-se cultivar alimentos com qualidade e eficiência sem agredir o meio ambiente utilizando da tecnologia em benefício do ser humano e da natureza.

Palavras-chaves: Automação, Irrigação, Plataforma Arduino, Sistema Fotovoltaico Off Grid.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é utilizada desde 6000 A.C quando apareceu no Egito e Mesopotâmia e vem se desenvolvendo até os dias atuais. Tem como função o fornecimento de água para as plantas de maneira artificial provendo assim suas necessidades hídricas durante todo o seu ciclo. Existem vários tipos de irrigação sendo as principais a superficial, localizada e microaspersão.

Sabe-se que a irrigação é de grande importância para agricultura, visto que ela garante que haja a produção em lugares com uma enorme escassez de chuvas podendo gerar até três safras por ano se utilizada de forma correta.

Atualmente não são poucos os produtores que utilizam os meios de irrigação de uma forma inadequada, ou seja, não tem consciência da quantidade de água que cada planta precisa para se desenvolver bem fazendo o uso da água por suposição. Assim insere uma quantidade de água muito maior do que a planta precisa sem controle ou monitoramento, gerando um alto gasto de água e de energia elétrica podendo gerar impactos ao meio ambiente como degradação do solo, modificações químicas e físicas de corpos d'água, etc. Com o intuito de aprimorar o uso da irrigação, muitos produtores estão optando pela inserção da automação na agricultura para gerar uma alta produtividade, menores gastos na produção, melhor valia dos recursos hídricos, maior controle e supervisão com o interesse de proporcionar uma maior eficiência no processo.

Para esse processo de automação o painel solar fotovoltaico é de suma importância, pois irá gerar energia suficiente para alimentar todo o sistema de supervisão e controle.

A energia solar fotovoltaica, conversão de energia solar em eletricidade, é uma fonte de eletricidade limpa pois o seu funcionamento não tem emissões indesejáveis, é renovável, devido à natureza inesgotável do sol. Tem, além disso, outras vantagens como o longo tempo de vida dos seus equipamentos (da ordem dos 30 anos), a sua baixa manutenção e as suas modularidade e portabilidade (Brito and Silva, 2006).

Normalmente no manejo da agricultura o trabalhador precisa ir até o local da plantação para realizar procedimentos corriqueiros tais como: ligar/desligar uma bomba, abrir/fechar registros, porém isso despende muito tempo, mão de obra e esforço físico elevando assim os custos de produção ficando inviável a plantação de certas culturas.

Em suma, uma maneira de reduzir esse problema é implementar um sistema de automação na lavoura para o auxiliar o agricultor no controle e supervisão do sistema, deixando o processo automático, conveniente e inteligente.

Portanto este trabalho tem o objetivo de desenvolver a automação de um sistema de irrigação por microaspersão valendo-se de um sistema fotovoltaico off grid para alimentar um sistema de monitoramento e controle, este será utilizado a fim de receber dados através de sensores de umidade de solo e fazer o acionamento de bomba e válvula solenoide.

2. ESTADO DA ARTE

Correia et al. (2016),desenvolveram um protótipo de baixo custo, utilizando um aplicativo WEB, para controle e monitoramento de irrigação automático. Os autores utilizaram um microcontrolador e sensores de temperatura e umidade relativa do ar (DHT11) e sensor de chuva YL- 83, módulo relógio de tempo real RTC-DS1307 e como atuador uma válvula solenoides e adotaram um algoritmo para desenvolvimento do modo automático do sistema de irrigação. Com isso, a redução do consumo de água para as irrigações foi em torno de 27% quando operado no modo automático. Por fim, concluíram que os usuários não tiveram dificuldade em operacionar o sistema desenvolvido e que foi possível viabilizar a promoção do produto.

Silveira et al. (2019), desenvolveram um protótipo de irrigação utilizando uma infraestrutura de comunicação bidirecional de longo alcance (LORA), possibilitando assim a comunicação de atuadores e o gerenciador da fazenda.

Utilizando-se de um sistema de energia solar, válvula solenoide, aspersor, case composta por um relé e o modulo ESP32 lora. Dessa forma, os pesquisadores analisaram as indicações da intensidade do sinal recebido (RSSI) pelo módulo lora nos controladores para 13 distâncias diferentes.

Diante disso foi possível fazer o acionamento e o desligamento das válvulas solenoides através da comunicação atuadores/gerenciador, assim concluíram que, para todas as distâncias, o módulo conseguiu fazer uma comunicação sem falhas com o gerenciador central.

Silva (2020), desenvolveu um sistema off grid com o objetivo de distribuir água com eficiência e controle utilizando energia renovável. No experimento foi utilizado um painel fotovoltaico com potência de 45W, controlador de carga solar, bateria do tipo nobreak, bomba submersível 600L/h com potência de 15W, mangueira, cano de pvc, curva, abra， cadeira metálica, interruptores NA/NF. Foram

feitos testes para verificar as características elétricas e mecânicas do sistema de modo a analisar sua condição e eficiência.

Nesses testes foi modificando a altura de saída do fluxo do sistema. Portanto os resultados obtidos foram satisfatórios visto que, foi implementado um sistema de baixo custo com condições de operação ideais para o processo de distribuição de água alimentado por um sistema off grid.

3. IRRIGAÇÃO

De acordo com Paolinelli et al. (2021), a irrigação é a tecnologia que permite implantar a agricultura irrigada, ou seja, plantios contínuos em uma mesma área independe da distribuição das chuvas, sendo neste sentido, única na capacidade de gerar, de forma integral, ganhos expressivos na produção, na produtividade, na geração de empregos, na geração de renda e, de forma geral no desenvolvimento socioeconômico de uma região, a Figura 1 mostra os principais sistemas de irrigação. Desta forma, a agricultura irrigada intensifica a produção, otimizando o uso da terra e dos ativos (máquinas, sistema de beneficiamento, infraestrutura em geral etc.), gerando benefícios que explicam a forte demanda por seu crescimento e desenvolvimento.

Os vegetais cultivados, principalmente as hortaliças, para produzirem bem, com qualidade e com boa aparência, exigem disponibilidade ideal de água no solo que nem sempre é possível somente com as chuvas, sendo necessária a utilização da irrigação de forma adequada. Irrigar adequadamente significa irrigar na quantidade certa, na hora certa e de forma correta. Em outras palavras: a irrigação precisa ser planejada e bem manejada para uma dosagem certa visto que o excesso de água é tão prejudicial quanto sua falta (dos Santos, 2014).



Figura 1. Tipos de Irrigação (Atlas Irrigação 2021)

As questões sobre o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar são básicas no manejo da água de irrigação.

O manejo deve ser feito visando a fornecer água ás plantas em quantidade suficiente para prevenir o estresse hídrico, favorecendo incremento de produtividade e qualidade da produção, e minimizar o desperdício de água, a lixiviação de nutrientes e a degradação do meio ambiente. Isso envolve a decisão de irrigar em quantidades que possam ser armazenadas no solo, na camada correspondente à zona radicular, e em intervalos suficientes para atender á demanda de água das plantas (Marouelli et al., 2011).

No manejo da irrigação surge a palavra frequência de irrigação e turno de rega, que nada mais é do que o número de dias decorridos entre uma irrigação e outra. A frequência de irrigação pode ser fixa ou variável, dependendo da postura assumida pelo irrigante. A fixa traz consigo a vantagem da possibilidade da programação das atividades ligadas à irrigação das culturas, uma vez que se sabe por antecipação o quando irrigar, ficando apenas a definição de quanto irrigar. Por outro lado, a variável não se sabe exatamente quando se praticar à a irrigação, mas é possível ter em mãos uma aproximação bastante boa de quanto de água aplicar (Hernandez, 1999).

A irrigação pode ser realizada a partir da adoção de diferentes métodos, os quais dizem respeito às formas de fornecimento da água ás culturas, sendo classificados em quatro categorias: superfície, aspersão, localizada ou subterrânea. Por sua vez, vinculado a cada método tem se os diversos sistemas, os quais apresentam componentes específicos para a sua instalação. Contudo, é importante

destacar que para a implantação de qualquer método de irrigação é necessário que o produtor agrícola conheça as diversas fases de desenvolvimento das plantas ao longo do seu ciclo produtivo, bem como as características do solo, do relevo, do clima da sua região, além da disponibilidade de recursos hídricos (quantidade e qualidade da água).

A partir destas informações, o produtor poderá decidir qual método é mais adequado às suas condições para, posteriormente, selecionar e dimensionar o sistema a ser adotado e manejá-lo corretamente para se aplicar a lâmina requerida (Cremasco et al., 2018).

4. FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

4.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para Costa et al. (2020), desde a antiguidade o sol vem sendo usado como fonte de energia, estando presente na iluminação natural das construções, na distribuição e organização do solo urbano e agrícola. O uso dessa fonte natural de energia foi evoluindo até transformá-la em eletricidade através de um sistema de células fotovoltaicas.

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida através radiação solar por meio de células fotovoltaicas, a Figura 2 demonstra esse processo. Essas células fotovoltaicas basicamente são responsáveis por captar os raios oriundos do sol e transformá-los em energia que pode ser utilizada pelo homem, onde a geração acontece dentro da célula ao passo que ocorre uma interação da radiação do sol com o material semicondutor (Dos Santos et al., 2020).

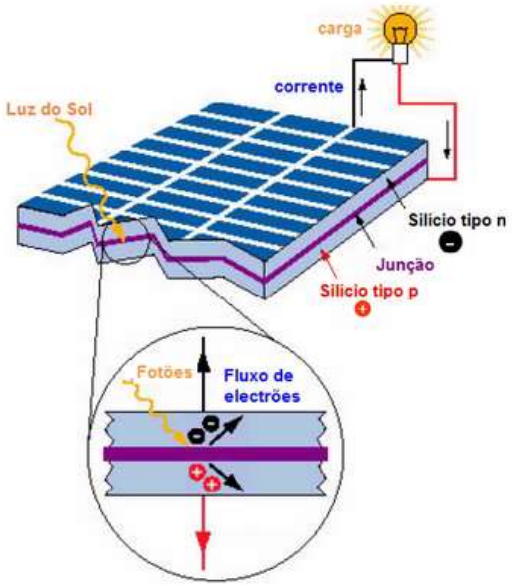


Figura 2. Produção de energia solar (Segurança na construção 2016)

A produção de eletricidade a partir da luz solar, conhecida como conversão fotovoltaica, vem crescendo gradualmente no mercado mundial. No Brasil, assim como em muitos outros países, a disseminação da tecnologia solar fotovoltaica começou com sistemas isolados, que abasteciam locais distantes das redes de distribuição de eletricidade.

Esses sistemas continuam sendo uma opção para energizar comunidades distantes do acesso à rede convencional de distribuição de eletricidade, mostrando-se economicamente viáveis para certas regiões do país (Zilles, 2012).

Este crescimento se deve a vários fatores, entre os quais se podem citar a diminuição nos custos de fabricação e aumento na eficiência dos módulos além da, facilidade na implementação de sistemas de pequeno e grande porte (Abdala, 2019).

A utilização de sistemas fotovoltaicos tem sido uma das alternativas capazes de reduzir a emissão de poluentes no processo de conversão de energia utilizando fontes fósseis, descentralizar a geração de energia elétrica, suprir demanda em locais remotos e/ou sem acesso à rede convencional e dar uma nova opção de investimento a consumidores (do Egito Dutra, 2020).

A incorporação da energia solar em setores como a agricultura busca estimular o uso de energia limpa e aproveitar ao máximo os recursos naturais para a produção agrícolas, obtendo alta produtividade e uso de recursos e obter colheitas com elevados padrões de eficiência, criando um valor acrescentado no cultivo da terra (García Marin et al., 2019).

4.2 ENERGIA EÓLICA

Segundo Martins et al. (2008), a conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica vem sendo utilizada pela humanidade há mais de 3000 anos. Os moinhos de vento utilizados para moagem de grãos e bombeamento de água em atividades agrícolas foram as primeiras aplicações da energia eólica. O desenvolvimento da navegação e o período das grandes descobertas de novos continentes foram propiciados em grande parte pelo emprego da energia dos ventos.

A energia do vento pode ser utilizada também na geração de eletricidade através de turbinas eólicas acopladas a geradores elétricos, a Figura 3. Em regiões do planeta onde existem ventos constantes a energia eólica é uma fonte inesgotável e muito importante de eletricidade (Villalva, 2015).

Pode ser obtida de várias formas. O mais convencional é por meio de aerogeradores. O aerogerador é um tipo de gerador de eletricidade colocado junto a um catavento, convertendo assim a energia eólica

(energia dos ventos) em energia elétrica. É implantado em parque eólico na terra ou mar, com presença de vento mais abundante, nele é acomodado um conjunto de aerogeradores conectados a uma rede de transmissão de energia elétrica (Oliveira and Pinheiro, 2020).



Figura 3. Torre Eólica (Antônio 2013)

4.3 ENERGIA HIDRELÉTRICA

A energia hidrelétrica é muito empregada no Brasil, Figura 4. Quase toda a eletricidade gerada no País tem origem nessa fonte. A água de um rio é represada e depois escoa por um duto. O movimento da água faz girarem as pás de uma turbina. A energia potencial da água armazenada no reservatório, transformada em energia cinética durante o escoamento, é transformada em eletricidade por um gerador elétrico acoplado à turbina. A eletricidade produzida é conduzida para um transformador elétrico e depois despachada para os centros de consumo através de linhas de transmissão. Como a água dos rios se renova devido ao ciclo de evaporação e das chuvas, a energia hidrelétrica é considerada uma fonte renovável de eletricidade (Villalva, 2015).

Em geral as hidrelétricas apresentam baixa emissão de gases de efeito estufa, principalmente quando comparadas com as termelétricas. Em uma usina hidrelétrica, a geração de energia não implica no consumo da água, deixando o recurso hídrico livre para utilizar após a geração e, por esse motivo, é considerado uma fonte economicamente competitiva, com baixo custo de operação. A flexibilidade operativa é outro benefício da hidrelétrica (Silva et al.,2018).



Figura 4. Hidrelétrica (Sustentável 2021)

4.4 ENERGIA DE BIOMASSA

A energia da biomassa é obtida a partir da queima de compostos orgânicos de origem vegetal ou animal, na Figura 5 podemos ver a produção a partir de compostos vegetais. Os combustíveis fósseis são uma forma de biomassa não renovável. A biomassa renovável, por outro lado, é constituída de compostos orgânicos, sobretudo vegetais, que podem ser repostos pelo plantio e não se esgotam (Villalva, 2015).

Assim como outras opções de energia renovável, o potencial teórico para a energia da é enorme. Dos aproximadamente 100.000 Terawatts de fluxo de energia solar que atingem a superfície da Terra, cerca de 4.000 Terawatts atingem os 1,5 bilhões de hectares de plantações existentes no mundo. Admitindo que as tecnologias de biomassa moderna possam atingir uma eficiência da conversão energética de 1%, essas plantações poderiam, em teoria, produzir 40 Terawatts de fluxo de energia, ou mais de 3 vezes o atual fluxo de abastecimento global de energia primária de 14 Terawatts. Essa comparação não tem a intenção de sugerir que todas as terras cultiváveis deveriam ser usadas para a produção de energia, mas somente para ilustrar que há espaço para uma expansão significativa da contribuição energética da biomassa moderna, dado que essa contribui, c˜ao foi estimada em somente 0,17 Gigawatts em 2003 (Goldemberg, 2009) .

5. SISTEMA FOTOVOTAICO OFF-GRID

Na visão de Guntzel (2018), os sistemas off-grid ou autônomos, são caracterizados por não estarem conectados à rede elétrica. Desta maneira, há necessidade de baterias que serão responsáveis pelo armazenamento da energia gerada para abastecer a carga consumidora.

Este sistema é bastante utilizado em áreas remotas, visto que geralmente é o modo mais econômico e viável em áreas desse tipo.

Numa rede que utiliza unicamente energia solar, um sistema off-grid só é concebível se for utilizado um bloco de geração, que vai produzir toda a energia necessária e um bloco de armazenamento, composto por baterias, que irá



Figura 5. Produção de energia de biomassa (Ivo 2019)

Entrar em funcionamento quando a geração for inexistente.

Além destes blocos ainda vão ser necessários componentes para controlo de potência, como inversores e reguladores de carga, e outros componentes cruciais como cabos e aparelhos de proteção (dos Santos, 2019).

5.1 PAINEL SOLAR

Segundo Lana et al. (2015), os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia, a Figura 6 detalha o seus componentes.

Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os

responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (Pereira and Oliveira, 2011).

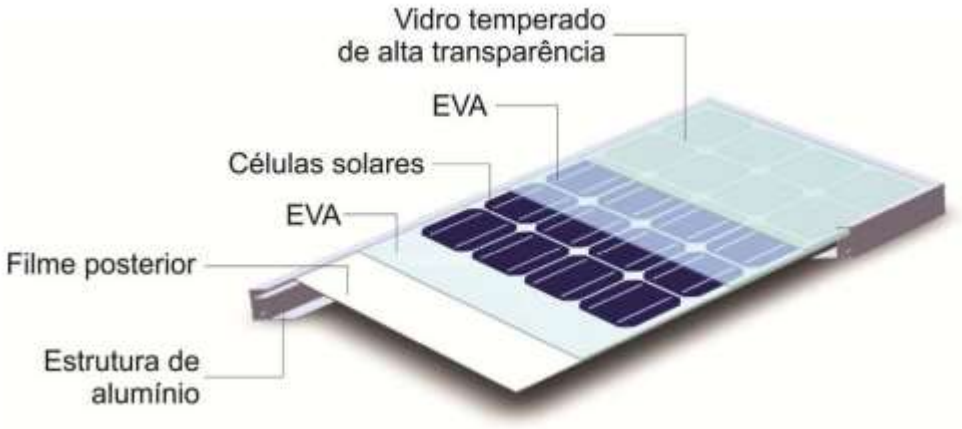


Figura 6. Célula Fotovoltaica (Galdino et al., 2014)

Uma célula fotovoltaica é composta tipicamente pela junção de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra N. Existem células de múltiplas Junções, que possuem um maior número de camadas, entretanto seu funcionamento é idêntico ao das células de duas camadas.

As células de múltiplas junções produzem mais energia, porém são mais caras e não são tão utilizadas quanto as de apenas duas camadas (Villalva, 2015).

5.2 CONTROLADOR DE CARGA

Controladores de carga São dispositivos que objetivam protegera bateria ou banco de baterias contra sobrecargas e descargas profundas, prolongando sua vida útil, na Figura 7 pode-se observar o seu diagrama de funcionamento. São equipamentos indispensáveis no projeto de um sistema fotovoltaico isolado, pois impedem riscos de explosão da bateria e danos irreversíveis às cargas conectadas (Barbosa, 2014).

A forma mais simples de se implementar é através de um diodo conectado entre a bateria e o painel. Isso garante que a bateria não se descarregará no painel durante a noite. (Reiter et al., 2014).

O princípio de funcionamento consiste na medição da tensão da bateria, que é um indicador direto do estado de carga da mesma. Em caso de sobrecarga, o módulo fotovoltaico é desconectado do sistema e, em caso de descarga profunda, a carga é desconectada do sistema.

Portanto, é um dispositivo que controla a carga da bateria, mantendo-a entre a carga plena e a máxima profundidade de descarga permissível (Barbosa, 2014).

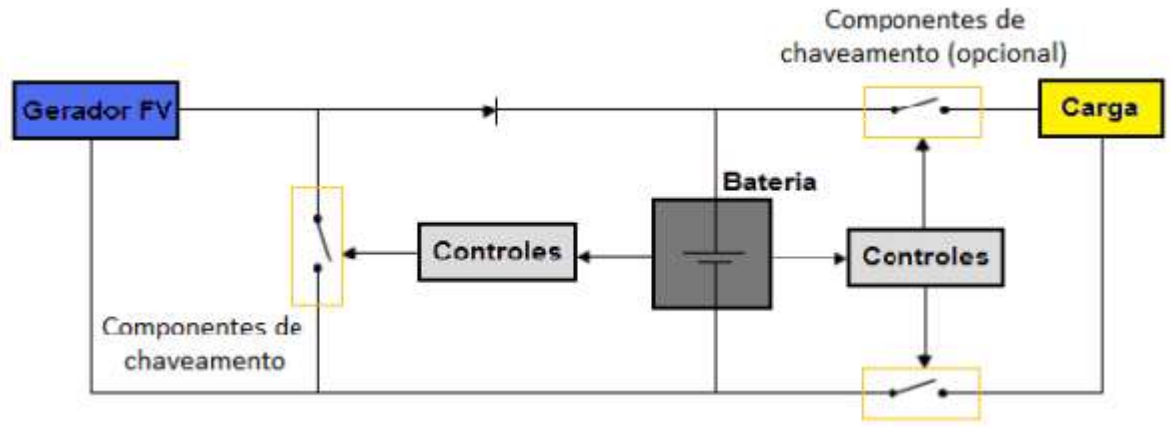


Figura 7. Diagrama simplificado de funcionamento do controlador de carga (Galdino et al., 2014)

5.3 INVERSOR SOLAR

O inversor é um equipamento que objetiva converter corrente contínua (CC) dos painéis e banco de baterias em corrente alternada (CA) para alimentar um conjunto de cargas. É a unidade condicionadora de potência do sistema fotovoltaico. A escolha de um inversor interfere no desempenho, confiabilidade e custo de um Sistema Fotovoltaico.

Quando estão no circuito, adicionam complexidade ao mesmo, mas possuem os atrativos de facilitar a instalação elétrica e permitir o uso de acessórios convencionais (TVs, vídeos, geladeiras etc) (Barbosa, 2014).

O inversor deve dissipar o mínimo de potência, de modo a evitar perdas e produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos figura 8 mostrar o funcionamento do inversor.

Inversores isolados comumente operam com tensões de entrada de 12, 24, 48 ou 120 Volts (CC) que geralmente são convertidos em 120 ou 240 Volts (CA), na frequência de 60 ou 50 Hertz (Ferioli et al., 2005).

5.4 BATERIA

Para um sistema fotovoltaico isolado, é de fundamental importância a utilização de baterias para armazenamento da energia gerada pelos painéis devido á alternância de dias e noites, das estações do ano e de passagens de nuvens que influenciam nos níveis de radiação solar. Com isso, é garantida energia elétrica suficiente, armazenada nas baterias, para suprir as cargas conectadas ao sistema na ausência total de radiação por tempo determinado de acordo com o dimensionamento (Barbosa, 2014).

Convencionalmente as baterias eletroquímicas de chumbo- ácido são aplicadas a veículos e sistemas de emergência.

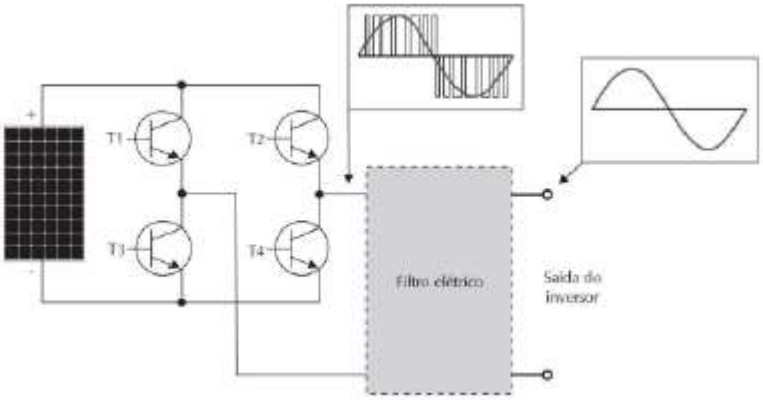


Figura 8. Funcionamento do inversor PWM de Onda Senoidal Pura (Gradella 2015)

Mostrando-se versáteis, confiáveis e apresentando uma boa relação custo-eficiência para estas aplicações. Desde que os sistemas de potência, que incorporam tecnologias renováveis como a solar fotovoltaica, foram introduzidos como alternativas energéticas de geração de eletricidade para diversas aplicações na solução de deficiências de eletrificação rural, iluminação pública, fornecimento de energia para sistemas de telecomunicações, navegação e sinalização, por exemplo, o uso destas baterias foi a opção encontrada para o armazenamento da energia elétrica gerada, adaptando a geração intermitente à demanda, e assim garantindo um fornecimento constante de energia. A escolha destas baterias foi e é determinada em função do custo e da disponibilidade, sendo uma tecnologia aparentemente de fácil adaptação a esta aplicação (Copetti and Macagnan, 2007).

Para sistemas fotovoltaicos desligados da rede, os sistemas de armazenamento de energia tornam-se importantes para compensar os períodos sem radiação solar suficiente (por exemplo, durante a noite ou em dias nublados) (Ovelha, 2017).

Para caracterizar uma bateria, é necessário ter em conta alguns fatores, entre eles a sua tensão, densidade e energia específica, rendimento energético, capacidade (quantidade máxima de energia elétrica que a bateria pode fornecer durante o seu processo de descarga e até a descarga estar completa), auto descarga (percentagem de descarga da bateria mesmo quando não é utilizada), ciclos de vida (número de vezes que bateria pode carregar/descarregar durante a sua vida útil) e profundidade de descarga (Ovelha, 2017), a Figura 9 mostra em detalhes a estrutura da bateria.

A escolha em geral nos projetos nacionais, e principalmente quando se trata de sistemas domiciliares isolados, é por baterias de chumbo-ácido automotivas seladas, pois se verificou das primeiras

instalações que o nível de eletrólito baixava e a dificuldade de reposição de água se tornava uma fonte de problemas. Os custos anuais da instalação refletem os custos reais de operação relacionados à manutenção e trocas e, assim, uma bateria com pouca ou livre de manutenção passa a ser um parâmetro importante, especialmente se os sistemas são pequenos e localizados em zonas rurais de difícil acesso (Copetti and Macagnan, 2007).

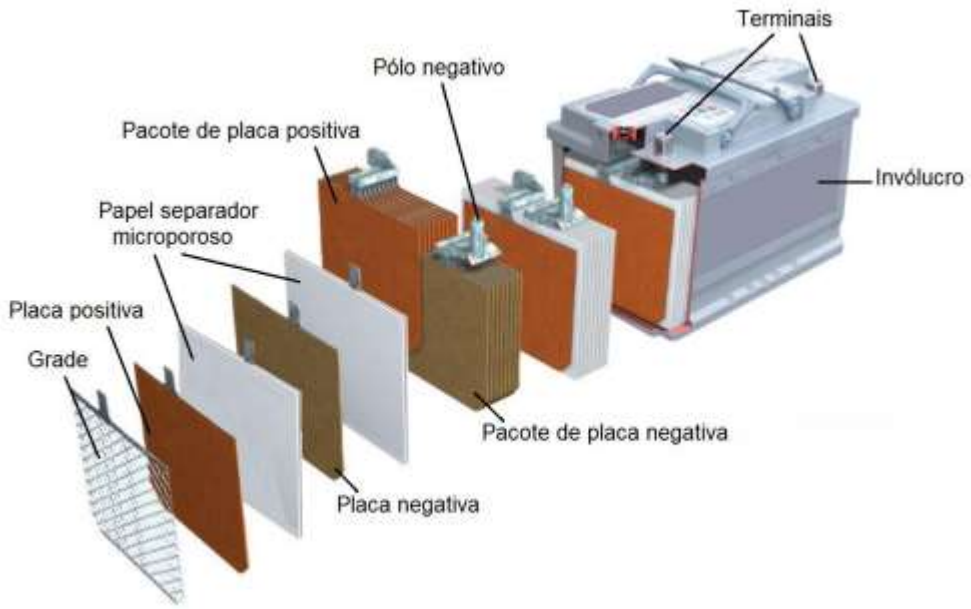


Figura 9. Bateria (ZOBAA 2013)

Em diversos casos uma bateria pode nao ser suficiente para suprir a demanda por corrente ou tensão do sistema, nesses casos ´e necessário o agrupamento de baterias, criando assim um banco de baterias, esse agrupamento pode ser feito em série, paralelo ou série-paralelo. A ligação de baterias em série resulta numa capacidade constante, porém a tensão terminal aumenta. A ligação de baterias em paralelo resulta no aumento da capacidade do sistema, porém a tensão terminal continua a mesma. No caso da ligação em série-paralelo, ocorre tanto o aumento da tensão terminal quanto da capacidade, porém ocorre um aumento de complexidade do sistema (SANTOS and MATSUMOTO, 2010).

Segundo Carneiro (2009), profundidade de descarga (DoD) indica a percentagem da capacidade nominal que é usada antes de se proceder ao recarregamento da bateria. A medida da DoD é relacionada pelos fabricantes com a tensão da bateria. A capacidade é indicada considerando descargas até um determinado nível de tensão da bateria.

- Quanto maior a tensão da bateria maior será a sua profundidade de descarga;

- Quanto menor for o tempo de descarga, mais profunda pode ser essa descarga;
- Quanto mais profunda for a descarga menor será o número de ciclos de carga/descarga que a bateria conseguirá efetuar.

A Figura 10 demonstra o gráfico de curva característica de vida útil em função de profundidade de descarga (DoD).

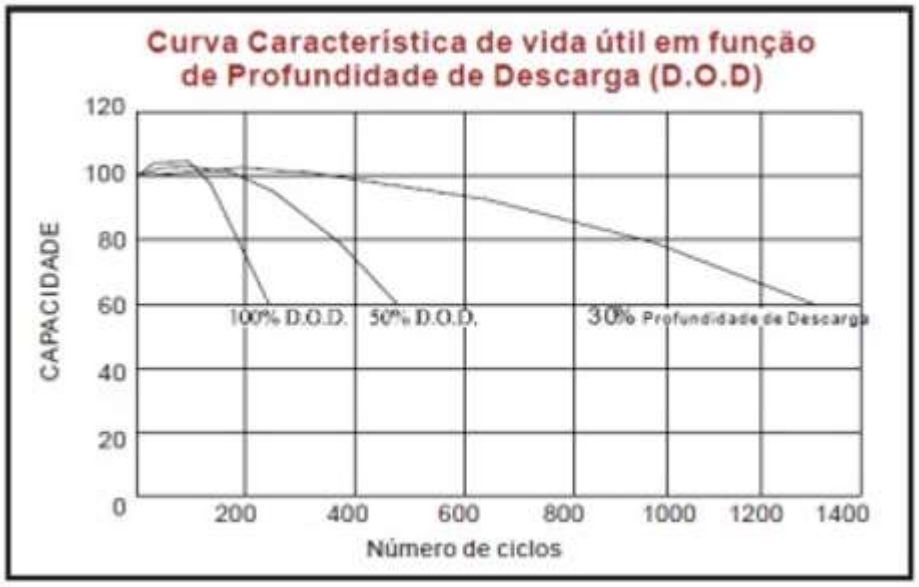


Figura 10. Gráfico da Profundidade de Descarga (Unipower 2022)

6. ARDUINO

Segundo Blum (2018), O Arduino é uma plataforma microcontroladora de desenvolvimento associada com uma linguagem de programação intuitiva que você desenvolve utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Arduino. Ao equipar o Arduino com sensores, atuadores, luzes, alto-falantes, módulos adicionais (chamados deshields), e outros circuitos integrados, você pode transformar o Arduino em um "cérebro" programável para praticamente qualquer sistema de controle, na Figura 11 pode-se ver todos os componentes do arduino.

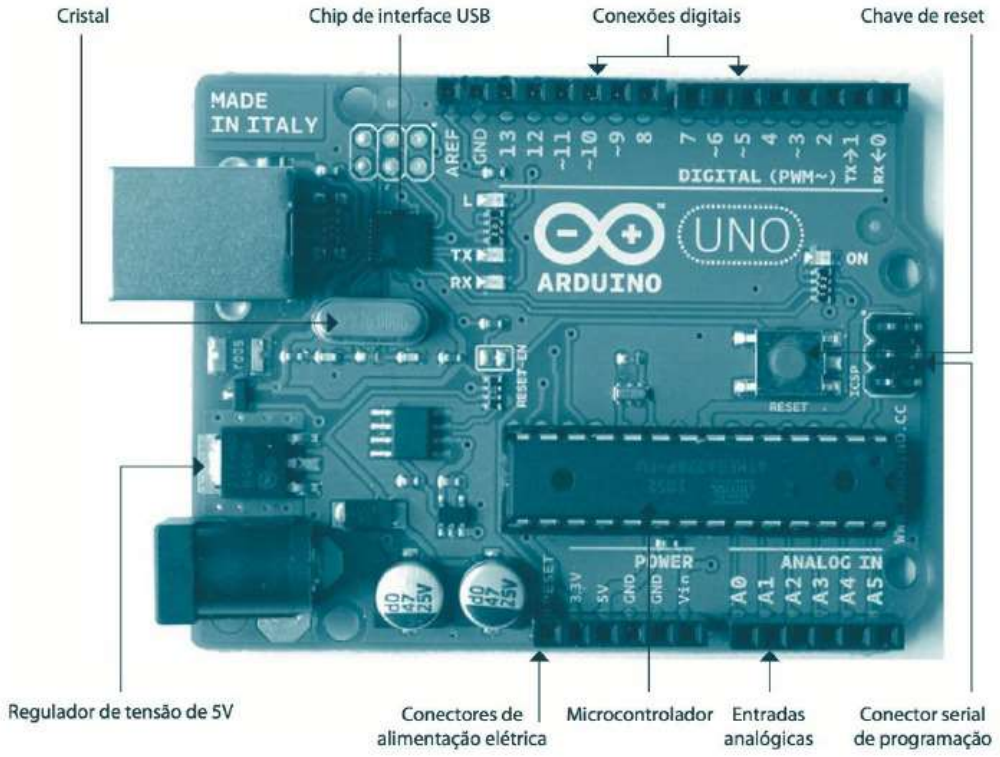


Figura 11. Arduino Uno (Monk 2013)

A plataforma utiliza-se de uma camada simples de software implementada na placa, que é um bootloader, e uma interface amigável no computador que utiliza a linguagem Processing, baseada na linguagem C/C++, a qual é também open source. Através do bootloader dispensa-se o uso de programadores para o chip - no caso a família AVR do fabricante ATMEL - facilitando ainda mais o seu uso uma vez que não exige compiladores ou hardware adicional.

Neste ambiente de desenvolvimento, são disponibilizadas bibliotecas que permitem o interfaceamento com outros hardwares, permitindo o completo desenvolvimento de aplicações simples ou complexas em qualquer área (Souza et al., 2011).

O ambiente de desenvolvimento integrado do arduino, IDE, do inglês "Integrated Development Environment" é uma aplicação escrita em Java cross-plataform, não necessitando portanto de instalação, Figura, a 12 mostra a plataforma IDE. Além disso, este é portável para vários sistemas operacionais e originado da IDE para a linguagem de programação Processing (Oliveira, 2022).

O objetivo do Arduino é a criação de ferramentas acessíveis, de baixo custo, voltadas para fins acadêmicos, comerciais, domésticos ou móveis. Ele pode ser utilizado independente ou conectado a um computador, podendo oferecer informações, recursos e serviços (Dias Junior et al., 2022).

A maior vantagem do Arduino sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização; pessoas que não são da área técnica .

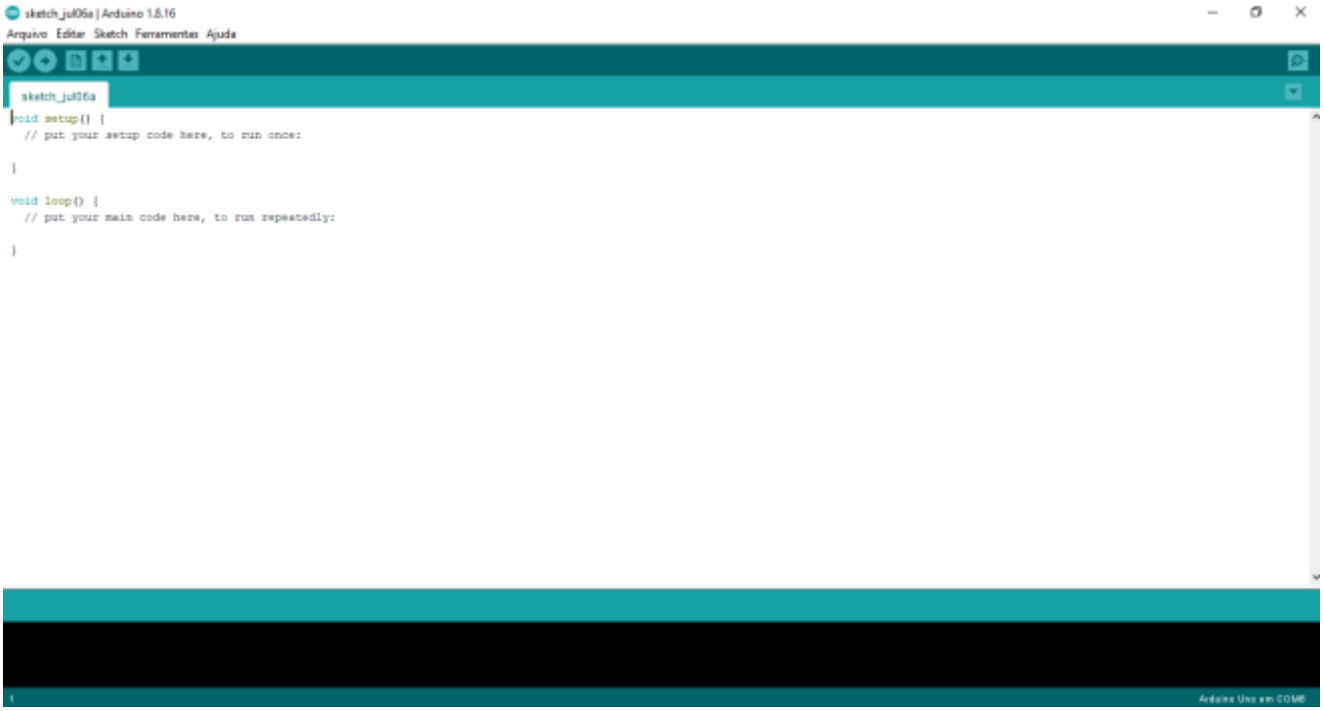


Figura 12. Plataforma IDE (Autor 2022)

Podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto. Artistas, mais especificamente, parecem considerá-lo a forma perfeita de criar obras de arte interativas rapidamente, e sem conhecimento especializado em eletrônica. Há uma grande comunidade de pessoas utilizando Arduinos, compartilhando seus códigos e diagramas de circuito para que outros os copiem e modifiquem (McRoberts, 2018).

7. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar este trabalho, foi desenvolvido no Colégio Estadual Prof Abelardo Romero Dantas a automação de um protótipo de um sistema de irrigação por micro aspersão utilizando um sistema fotovoltaico off grid para alimentar o sistema de controle e monitoramento que irá fazer o acionamento de bomba e válvulas solenoides com o auxílio de dados de sensores de umidade que a plataforma arduino irá receber em tempo real, a Figura 13 detalha o esquema de ligação do projeto.

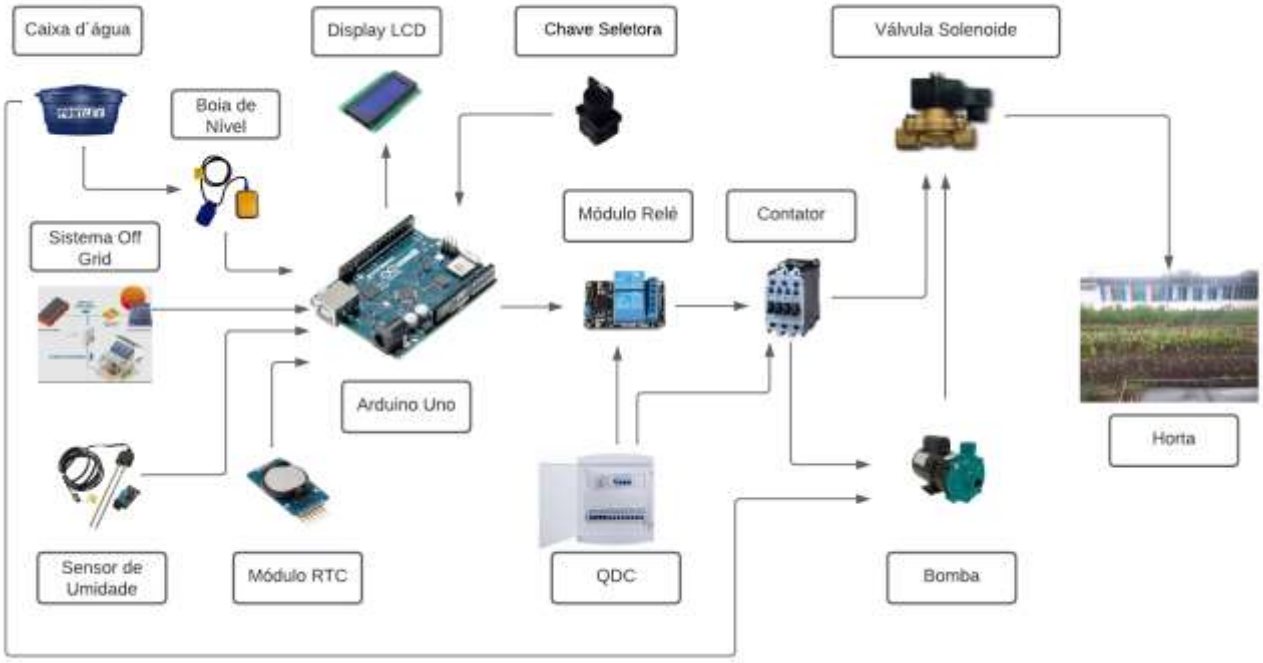


Figura 13. Esquema de Ligação do Projeto (Autor 2022)

Para a realização do projeto foram utilizados os seguintes componentes:

- 1 x Painel fotovoltaico;
- 1 x Bateria;
- 1 x Controlador de Carga;
- 1 x Arduino Mega;
- 1 x Módulo RTC;
- 2 x Sensor de Umidade de Solo com Sonda HD-38;
- 1 x Boia de Nível Monofásica 100 à 254V/15A;
- 2 x Relés;
- 1 x Display LCD 20x4 com I2C e Backlight Azul;
- 1 x Válvula solenoide 1 Polegada, 127V;
- 1 x Bomba ELETROPLAS ECS-150M 1,5CV Monofásica 127/220V;
- 1 x Quadro de comando de pvc;
- 1 x Chave seletora de 3 posições;
- 3 x Botão de comando pulsante;
- 1 x Disjuntor bifásico de 32A;
- 1 x Contator tripolar 32A;
- 1 x Transformador trafo;

- 1 x Caixa d'água de 1000 litros;
- 3 x Barramento;
- 100m de mangueira santeno;
- 30m de tubulação 1 polegada;

Na Figura 14, pode ser observado o fluxograma de controle automático do sistema. Com isso é possível perceber como o sistema irá se comportar.

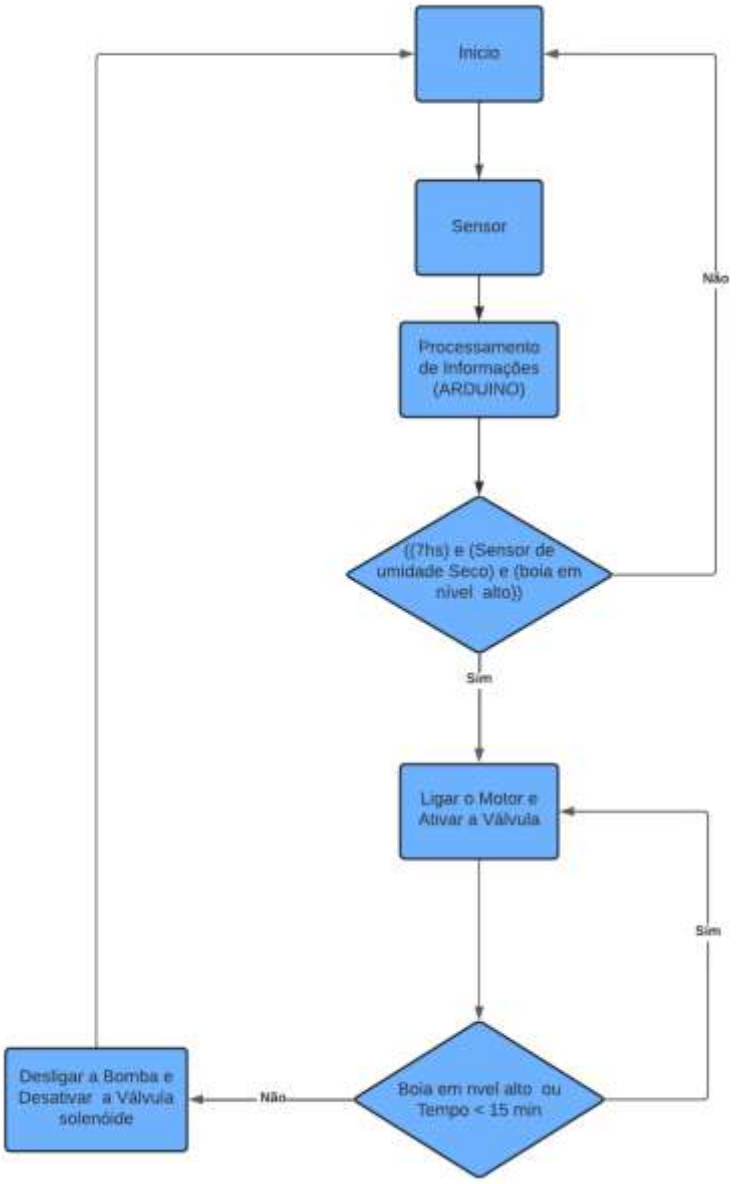


Figura 14. Fluxograma de Controle Automático do Sistema (Autor 2022)

Para iniciar o sistema seleciona a chave na posição automática assim o arduino recebe a informação da chave e em seguida inicia a leitura dos sensores. O sistema foi desenvolvido com um controle automático e um manual, este para fazer testes ou caso haja falhas no controle automático o produtor

poderá assumir o controle manualmente do sistema para fazer o acionamento e as devidas manutenções.

A boia na caixa d'água informará ao arduino se o nível está alto ou baixo. Sabendo dessa informação o arduino estará habilitado para iniciar o processo ou manter o sistema desligado até que o volume do reservatório seja suficiente para dar início.

O fornecimento de água para a caixa d'água se dá através do próprio sistema de encanação da escola, ou seja, por meio de uma bóia simples que irá abrir e fechar o fluxo de água à medida que o nível sobe ou baixa.

Foi utilizado um sensor de umidade de solo HD-38 que tem como função ler um certo nível de umidade ao seu redor presente no solo. Com duas sondas onde se passa corrente através do solo, logo lê-se a resistência para se obter o nível de umidade. A água faz com que o solo conduza eletricidade com mais facilidade, ou seja, a resistência será baixa da mesma forma se o solo estiver seco a resistência será alta, dessa forma se tem os níveis de umidade do solo.

Foram feitos testes com o sensor de umidade para saber quais as faixas de umidade do solo que as plantas precisam para o seu pleno desenvolvimento e através dessas faixas fazer os devidos acionamentos de liga/desligar e o monitoramento das condições do solo como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Umidade do Solo

Condições do solo	Faixa de Umidade
Solo Seco	Umidade >= 310
Solo Úmido	Umidade <= 270

Cada planta tem sua quantidade de água necessária para se desenvolver bem, mas como o projeto não é de uma monocultura podemos tirar uma média da quantidade de água aplicada e disponibilizá-la de forma uniforme para todas as culturas. Para ter um controle desta aplicação utilizou-se um módulo RTC para fazer um relógio no arduino desenvolvendo assim um tempo específico para ligar e desligar o sistema de irrigação.

Para o projeto do sistema fotovoltaico off grid foram utilizados alguns componentes como painel solar, controlador de carga e bateria, os valores de cada item podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Tabela de custo do sistema off grid

Conponentes	Qtd	Valor
Módulo Fotovoltaico	1	250
Controlador de Carga	1	80
Bateria	1	160
Total	-	490

Durante a edificação do trabalho notou-se a importância de pesquisar em qual período e horário seria mais eficiente ligar o sistema de irrigação, pois havendo um mau planejamento nessa escolha o sistema poderia ter perdas significativas de água devido à alta temperatura causando a evaporação da água, como também o vento repelindo a água para outros locais. Levando em consideração que a irrigação será por microaspersão obtivemos os seguintes resultados como pode ser visto na Tabela 3. Assim foi escolhido o período da manhã às 7:00 horas.

Ao sistema foi desenvolvido condições para que haja um funcionamento com eficiência e segurança, como por exemplo:

- Em dias de chuva ou que o solo esteja úmido o sensor de umidade enviará dados ao arduino para que o sistema não seja ligado evitando um gasto desnecessário de água e energia.
- Se o nível da caixa estiver baixo o arduino não dará início ao processo pois se a bomba for ativada para trabalhar em seco pode ser danificada e vir a queimar causando um prejuízo alto para o sistema.
- Se o sistema for ativado e por alguma razão o nível da caixa estiver baixo antes do fim do processo, o sistema será desligado para proteger a bomba de trabalhar a seco.
- Por fim, em dias secos em que a planta precise receber água se as condições necessárias foram satisfeitas o sistema irá atuar normalmente fazendo o acionamento da bomba e da válvula para que o fluxo de água seja constante capaz de suprir a necessidade hídrica.

Tabela 3. Faixa de Melhores Horários para Irrigar

Período	Faixa de Hórarios
Mãnha	5:00 ás 8:00
Tarde	15:00 ás 18:00

Para mostrar dados e informações do processo foi utilizado um display LCD 20x4, que irá mostrar em tempo real oque está acontecendo no sistema.

8. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA OFF GRID

De acordo com a Tabela 3 a energia diária total que o sistema precisaria é de 1,388 kwh, porém o sistema off grid não vai alimentar a bomba e a válvula solenoide, dessa forma para desenvolver o dimensionamento só utilizaremos a energia diária consumida pelo sistema de controle e monitoramento para fazer os devidos cálculos.

Tabela 4. Análise de Consumo Diário

Equipamento	Qtd	P(w)	Tempo(h)	Energia/dia(kWh)
Sistema C.M	1	2,16	24	0,05184
Válvula	1	16,63	1	0,01663
Motor	1	1.320	1	1,320
Total	-	-	-	1,388

8.1 ENERGIA GERADA POR MÓDULO

Para fazer o cálculo da energia diária gerada por modulo é preciso fazer o cálculo das horas de sol pleno como pode ser visto na Equação 1, como também é preciso escolher o módulo solar fotovoltaico a ser utilizado, dessa forma o módulo escolhido foi o modelo: HG50 que tem uma potência máxima de 50w e uma corrente de curto circuito de 3.03A

$$Horas\ de\ sol\ pleno\ =\ \frac{G_{HI}\ dia}{1000\ W/m^2} \qquad (1)$$

$$Horas\ de\ sol\ pleno\ =\ \frac{5.338\ Wh/m^2}{1000W/m^2}$$

$$Horas\ de\ sol\ pleno\ =\ 5,338h$$

Onde:

G_{HI}: Irradiação Horizontal Global;

$$Energia\ Diária\ Gerada\ =\ T_{BB}\ X\ I_{SC}\ X\ H_{SP} \qquad (2)$$

$$Energia\ Diária\ Gerada\ =\ 12V\ X\ 3,03A\ X\ 5,338h$$

$$Energia\ Diária\ Gerada\ =\ 194,08Wh$$

Onde:

T_{BB}: Tensão do Banco de Bateria;

I_{SC}: Corrente de Curto Circuito;

H_{SP} : Horas de Sol Pleno;

8.2 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

$$Número\,de\,Módulos = \frac{E_{DC}}{E_{DG}} \qquad (3)$$

$$Número\,de\,Módulos = \frac{51,84W/h}{194,08W/h}$$

$$Número\,de\,Módulos = 0,26$$

$$Número\,de\,Módulos = 1$$

Onde:

E_C: Energia Diária Consumida;

E_G: Energia Diária Gerada;

Logo, o sistema precisará de 1 módulo fotovoltaico para suprir a demanda energética de todo o sistema de controle e monitoramento.

8.3 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

$$Baterias\,em\,Série = \frac{T_{BB}}{T_B} = \frac{12V}{12V} = 1 \qquad (4)$$

Onde:

T_{BB}: Tensão do Banco de Bateria;

T_B: Tensão da Bateria;

$$Capacidade\ do\ Banco\ de\ Bateria\ = \frac{E_{DC}}{T_{BB}\ X\ D_{oD}} \quad (5)$$

(1)

$$Capacidade\ do\ Banco\ de\ Bateria\ = \frac{51,84Wh}{12V\ X\ 0,50}$$

$$Capacidade\ do\ Banco\ de\ Bateria\ = 8,64Ah$$

Onde:

E_{DC}: Energia Diária Consumida;

T_{BB}: Tensão do Banco de Bateria;

D_{oD}: Profundidade de Descarga;

$$Baterias\ em\ Paralelo\ = \frac{C_{BB}}{C_B} \quad (6)$$

$$Baterias\ em\ Paralelo\ = \frac{8.64Ah}{9Ah}$$

$$Baterias\ em\ Paralelo\ = 0,96$$

$$Baterias\ em\ Paralelo\ = 1$$

Onde:

C_{BB}: Capacidade do Banco de Bateria;

C_B: Capacidade da Bateria;

Foi escolhido uma profundida de descarga de 50%, sabemos que quanto maior o dod menor será a vida útil da bateria, mas devido aos recursos limitados tivemos que utilizar materiais que o Laboratório Integrado de Automação já possuía. Logo o sistema precisará de uma bateria de 9Ah e 12V. A bateria utilizada foi a Unipower de 9Ah e 12V.

8.4 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA

$$Entrada\ do\ Módulo = N_M\ X\ C_C \quad (7)$$

$$Entrada\ do\ Módulo = 1\ X\ 3,03A$$

$$Entrada\ do\ Módulo = 3,03A$$

Onde:

N_M: Número de Módulos;

C_C: Corrente de Curto;

O controlador de carga precisará ter uma corrente de entrada maior que 3,03A e uma tensão de entrada na bateria de 12V. Logo o controlador de carga utilizado foi o Solar Charge Controller que tem uma corrente de entrada de 30A e uma tensão de entrada de 12V. O controlador escolhido poderia ter uma corrente de entrada menor, porem como dito antes foi preciso utilizar o controlador que o Laboratório possuía, justificando assim a alta corrente de entrada.

9. RESULTADOS

O projeto teve início com a limpeza do local e construção das leiras, visto que o local estava a um bom tempo parado e não estava em condições de plantio, na Figura 15 pode ser visto a construção dos canteiros da horta. Foi testado algumas mangueiras que já estavam no local, mas como estas estavam muito tempo paradas e no sol ficaram ressecadas e com vários furos o que gerava um desperdício muito grande de água, então foi decidido por sua troca e colocar um sistema de encanamento e mangueiras novas.



Figura 15. Horta do Projeto (Autor 2022)

Foi testada uma bomba que o laboratório tinha de 1 CV de potência, mas o resultado não foi satisfatório visto que a pressão nas mangueiras foi fraca, logo compramos uma bomba nova de 1,5 CV de potência para suprir a demanda do projeto. O sistema off grid foi dimensionado e instalado com os materiais que o laboratório já possuía para amenizar os custos de implantação, vale ressaltar que o sistema off grid foi dimensionado e instalado para suprir a demanda energética do sistema de controle e monitoramento ou seja apenas os circuitos de corrente continua o que justifica a falta do inversor solar no dimensionamento e na instalação, na Figura 16 pode-se ver o esquema de ligação do sistema off grid.

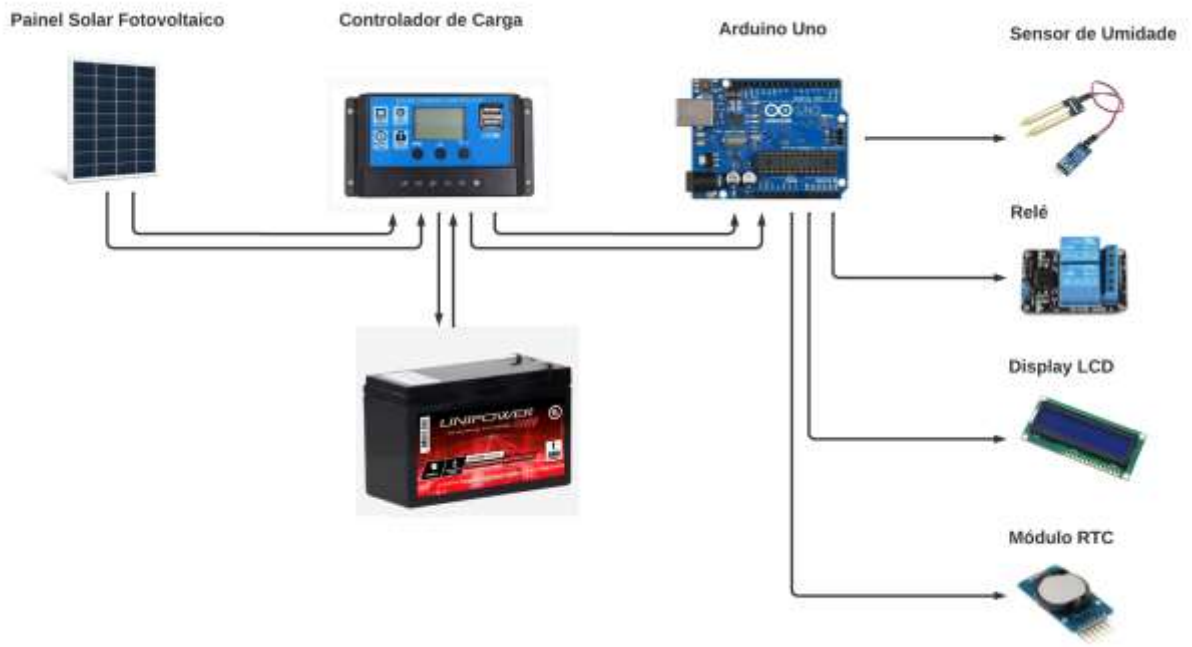


Figura 16. Esquema de Ligação do Sistema Off Grid (Autor 2023)

Após o desenvolvimento do código de programação foi feita a montagem do quadro de controle e monitoramento como também de todo o sistema de potencia possibilitando assim fazer testes com os sensores, válvula e bomba, na Figura 17 pode-se observar o quadro de controle e monitoramento.

Foram feitos testes no laboratório antes de instalar o sistema no colégio, a Figura 18 mostra os testes na bancada em laboratório e na Figura 19 está o sistema instalado no colégio.

Todos os testes foram feitos com o objetivo de identificar falhas no sistema, gerar uma tabela com faixas de umidade



Figura 17. Quadro de Controle e Monitoramento (Autor 2023)

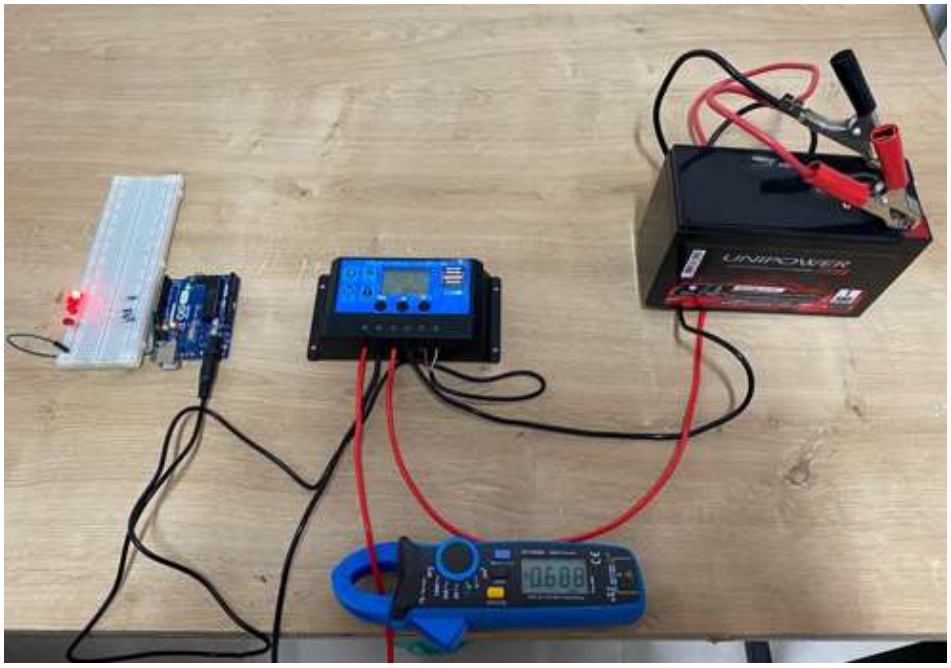


Figura 18. Testes de Bancada do Sistema Off Grid (Autor 2023)



Figura 19. Sistema Off Grid Instalado (Autor 2023)

Do solo e testar a pressão da água nos canos. Os testes ocorreram de forma bastante positiva, visto que os resultados foram satisfatórios.

Para o projeto foi adiquirido cerca de 11.000 sementes para a plantação sendo elas de variados tipos de legumes e verduras como beterraba, alface, repolho, pimentão, cebolinha e cenoura, como também 10 bandejas para produção de mudas, na Figura 20 pode-se ver a evolução da horta após a instalação de todo o sistema.



Figura 20. Horta Irrigada (Autor 2023)

Ao final do projeto notou a necessidade de de construir um local onde o sistema de controle e monitoramento fosse instalado com segurança e proteção contra a chuva e sol, dessa forma foi construído um abrigo para todo o sistema de potência e eletrônico, como pode ser visto na figura 21.



Figura 21. Abrigo (Autor 2023)

10. CONCLUSÕES

A agricultura por muito tempo foi feita por meio de um sistema braçal e de gastos elevados dos recursos hídricos, a automação chega para amenizar esses fatores e potencializar os recursos, visto que a partir do momento que o agricultor insere a tecnologia no campo tem resultados eficientes e satisfatórios, o trabalho manual diminui significativamente e os recursos hídricos são usados de forma consciente e controlados gerando economia para o produtor e benefícios para o meio ambiente.

Após o final dos testes foi possível observar que todo o funcionamento do sistema está alinhado com os objetivos iniciais. É importante ressaltar o projeto tem bastante potencial para ampliação.

Toda a parte de monitoramento e controle foi desenvolvido de modo que o seu uso se tornasse simples, pois facilitará para o agricultor fazer o manejo e as devidas manutenções durante todo o ano.

O projeto teve o apoio de alguns professores e alunos do Colégio, pensando não somente na produção agrícola, mas também na inserção de jovens no processo de automação e geração de alimentos. Estes aprenderam na prática a importância de usar nosso solo e água de forma consciente e responsável

Ao final do projeto conclui-se que o sistema de automação de irrigação utilizando energia solar é viável, sustentável e de baixo custo a médio e longo prazo. Hoje uma boa parte das verduras e legumes que o refeitório utiliza para fazer o almoço dos estudantes estão sendo produzidos no próprio colégio de forma orgânica e consciente para com o uso da água através de automação e energia renovável, trazendo resultados importantes e gerando consciência de que sim, pode-se produzir de forma que não agrida o meio ambiente e que utilize das tecnologias atuais em pró dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

Abdala, P.J.P. (2019). Energia solar e eólica. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 1.

Barbosa, I.S.B. (2014). Dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico isolado.

Blum, J. (2018). Explorando o Arduino: Técnicas e ferramentas para mágicas de engenharia. Alta Books Editora.

Brito, M.C. and Silva, J.A. (2006). Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. O instalador, 25(676), 07.

Carneiro, J.A. (2009). Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Copetti, J.B. and Macagnan, M.H. (2007). Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. In I CBENS-I Congresso Brasileiro de Energia Solar, 29. sn.

Correia, G.R., de Oliveira Rocha, H.R., and das Dores Rissino, S. (2016). Automação de sistema de irrigação com monitoramento via aplicativo web. Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, 24(4), 314‑325.

Costa, A.C., de Oliveira, D.F., Rabelo, M.H., Bravo, M.D.d.S.L., Piazzarolo, J., et al. (2020). Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável? Brazilian Journal of Development, 6(9), 72637‑72656.

Cremasco, C.P., Castro, E.R., Boso, A.C.M.R., Costa, B.R.S., and Gabriel Filho, L.R.A. (2018). Utilização de materiais recicláveis na construção de equipamentos de Irrigação. Revista Ciência em Extensão, 14(4), 185‑194.

Dias Junior, G.M. et al. (2022). Automação de ar condicionado residencial utilizando arduino e android. do Egito Dutra, A. (2020). Impactos socioeconômicos da energia solar fotovoltaica no estado da Paraíba. In VII

Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018. dos Santos, J.A.M. (2019). Introdução de painéis fotovoltaicos num sistema off-grid.

dos Santos, L.M.F. (2014). Irrigação em hortas escolares ou comunitárias. ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL E

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NAS ESCOLAS DO PARANÁ, 217.

Dos Santos, R.B., Martins, V.R., and de Sousa Borges, R.R. (2020). Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas: Estacionamento solar do centro universitário unievangélica. Brazilian Journal of Development,6(4), 20097‑20106.

Ferioli, K., Vilhena, A., Aguiar, M., Arrifano, R., and Corrêa, F. (2005). Projeto de sistema fotovoltaico isolado (off grid) para residências. IESAM: Belém.

Gacía Marín, L.A. et al. (2019). Uso de la energía solar en la agricultura.

Goldemberg, J. (2009). Biomassa e energia. Química nova, 32, 582‑587.

Guntzel, I.L. (2018). Análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, instalados em posto de combustível. B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Hernandez, F.B.T. (1999). Manejo da irrigação. CURSO DE CAPACITAÇÃO EM AGRICULTURA IRRIGADA, 1, 19‑26.

Lana, L.T.C., Almeida, E., Dias, F.C.L.S., Rosa, A.C., do Espírito Santo, O.C., Sacramento, T.C.B., and Braz,

K.T.M. (2015). Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. Engenharias On-line, 1(2), 21‑33.

Marouelli, W.A., de OLIVEIRA, A., Coelho, E.F., Nogueira, L.C., and de SOUSA, V. (2011). Manejo da água de irrigação. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Capítulo em livro científico (ALICE).

Martins, F.R., Guarnieri, R.A., and Pereira, E.B. (2008).

O aproveitamento da energia eólica. Revista Brasileira de Ensino de Física, 30, 1304‑1.

McRoberts, M. (2018). Arduino básico. Novatec Editora.

Oliveira, A.M.Q. and Pinheiro, J.G.L. (2020). Energia renovável com utilização da energia eólica. Episteme Transversalis, 11(1).

Oliveira, J.C.G. (2022). Utilização da plataforma arduino para a automatização de um circuito rlc acoplado para coleta de dados.

Ovelha, R.M.R.V.d. (2017). Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia offgrid. Ph.D. thesis.

Paolinelli, A., Dourado Neto, D., and Mantovani, E.C. (2021). Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no brasil: história, política pública, economia e recurso hídrico.

Pereira, F. and Oliveira, M. (2011). Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria.

Reiter, R.A., de Oliveira Reiter, R.D., and Péres, A. (2014). Controlador de carga de acordo com a portaria 396 do inmetro. Seminário de Eletrônica de Potência e Controle (SEPOC 2014), 1.

SANTOS, E.W. and MATSUMOTO, R.S. (2010). Dibb-dimensionador de banco de baterias. Curitiba, 1‑50.

Silva, E.C.d. (2020). Estudo De Um Sistema Fotovoltaico Off Grid De Bombeamento. B.S. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Silva, L.R.d.J.R., Shayani, R.A., and de Oliveira, M.A.G. (2018). Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais. In VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018.

Silveira, J.D., Veloso, A.F.d.S., da Silva, T.A., Machado, K.R., Silva, A.d.S., Junior, J.V.d.R., and Rabelo, R.A.

(2019). Implementação de uma automação na agricultura de precisão do colégio técnico de teresina utilizando módulos lora. In Anais da VII Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde, 127‑132. SBC.

Souza, A.R.d., Paixão, A.C., Uzêda, D.D., Dias, M.A., Duarte, S., and Amorim, H.S.d. (2011). A placa arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo pc. Revista Brasileira de Ensino de Física, 33(1), 01‑05.

Villalva, M. (2015). Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações. 2015. São Paulo, Brasil: Saraiva.
Zilles, R. (2012). Energia solar fotovoltaica. USP, São Paulo.

Capítulo 9

10.37423/240408931

ESTUDO DE CASO SOBRE A PROPOSIÇÃO DE UM POSICIONAMENTO ESTRATÉGICO PARA UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO DE SILOS E ARMAZÉNS

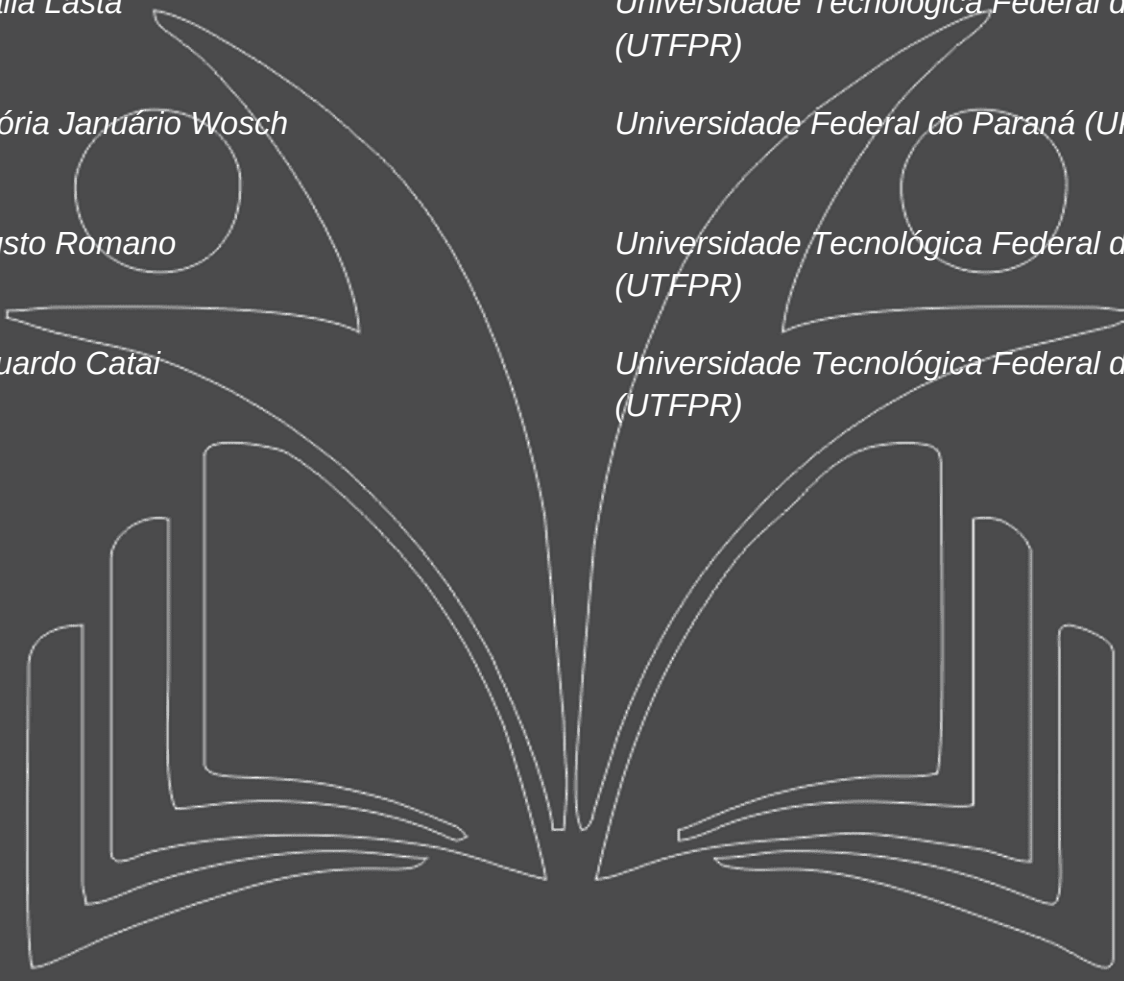
Luciana de Oliveira Lima — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)*

Caroline Dalla Lasta — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)*

Lorena Victória Januário Wosch — *Universidade Federal do Paraná (UFPR)*

Cezar Augusto Romano — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)*

Rodrigo Eduardo Catai — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)*



Resumo: Algumas empresas de sucesso nem sempre conhecem as próprias estratégias que utilizam. É o que acontece na empresa deste estudo de caso, que projeta e executa obras de silos e armazéns graneleiros no Brasil, na região do Mato Grosso. Em tempos de instabilidade política e econômica, a falta de um posicionamento estratégico pode fragilizar o rumo de uma empresa. Assim, com o intuito de manter a empresa bem posicionada no mercado, e de traçar um caminho definido de metas e objetivos, realizouse um diagnóstico empresarial em formato de entrevistas, além de uma análise dos cenários externos brasileiros. Com base nisso, foi possível realizar uma análise SWOT para situar a empresa frente a um posicionamento estratégico, onde se definiu a estratégia de manutenção. Por fim, com base na análise SWOT e na avaliação dos cenários externos, sugeriram-se alguns planos estratégicos para que a empresa possa se manter preparada frente às fraquezas internas e ameaças externas.

Palavras chave: Planejamento Estratégico, Diagnóstico Empresarial, Agronegócio.

1. INTRODUÇÃO

Estratégia é a integração do conjunto de atividades de uma empresa. O sucesso da estratégia depende de se conseguir fazer muitas coisas bem e em saber integrá-las (PORTER, 1996).

O desenvolvimento de um Planejamento Estratégico proporciona à empresa um profundo conhecimento de si mesma. O resultado deste desenvolvimento pode gerar informações de visão, missão, objetivos, metas e estratégias da empresa (RIZZO e FALSARELLA, 2006).

Ainda, uma empresa pode não ter necessariamente uma estratégia definida, mas seguramente assume algum perfil estratégico, porém muitas empresas de sucesso nem sabem quais são suas próprias estratégias (OLIVEIRA, 2010).

Desta forma, dada a importância de um posicionamento estratégico empresarial, este estudo de caso propõe a estruturação de uma postura estratégica para a empresa em análise, a qual possui nove anos de experiência no setor de construção de silos e armazéns de grãos no Brasil, mas que ainda não possui um planejamento estratégico definido.

2. METODOLOGIA

O estudo de caso de planejamento estratégico em questão realizou-se em uma empresa que atua no ramo da construção civil e que tem por finalidade projetar e executar obras industriais e agroindustriais. Neste setor, a empresa já projetou e executou em torno de trinta silos, armazéns e unidades armazenadoras completas de grãos de soja, milho, dentre outros grãos. A organização encontra-se instalada no estado do Mato Grosso, que é conhecido como o “celeiro nacional”.

Para o planejamento de estratégia empresarial em questão, estruturou-se um questionário de diagnóstico baseado no formulário de auto-diagnóstico SEBRAE (2017), em alguns critérios elencados por Oliveira (2010), e nos conhecimentos das autoras, de forma que o formulário foi avaliado e aprovado por professor doutor na área.

A aplicação do questionário foi realizada duas vezes, em duas reuniões diferentes, de forma que os dois sócios da empresa pudessem ser consultados. Além disso, levantaram-se dados relacionados aos cenários externos brasileiros, de forma a projetar oportunidades e ameaças enfrentadas pela empresa.

A estratégia empresarial desenvolvida no presente estudo tem por objetivo estabelecer um caminho definido de planos, metas e objetivos para a empresa em análise. As principais etapas deste estudo foram:

a) Realizar análise SWOT;
b) Situar a empresa frente às forças competitivas de Porter (2004);
c) Definir uma estratégia competitiva genérica de Porter (2004);
d) Estabelecer uma postura estratégica;
e) Propor planos estratégicos de melhoria.

3. ANÁLISE DOS CENÁRIOS EXTERNOS BRASILEIROS

Segundo Oliveira (2010), a análise dos cenários proporciona a previsão do futuro com base na interação entre tendências e eventos históricos. Além disso, a avaliação dos cenários é uma das etapas de um diagnóstico empresarial, a fim de enquadrar a empresa em questão em uma postura estratégica.

Para tanto, os cenários externos estudados foram o cenário econômico, político-legal, tecnológico e demográfico, e encontram-se detalhados nas próximas seções.

3.1 CENÁRIO ECONÔMICO

O Brasil ocupa notável posição mundial na produção agroindustrial, e tem batido recordes de produção. Na avaliação feita no mês de Maio de 2017 pelo IBGE, o Mato Grosso liderou como maior produtor nacional de grãos, com uma participação de 25,6%, seguido pelo Paraná (17,9%) e Rio Grande do Sul (15,3%), que, somados representaram 58,8% do total nacional.

O Paraná embora não seja o maior produtor nacional de grãos, possui a maior produtividade média de soja, sendo a maior do mundo na safra 2016/2017. Com a produção de 3,6 toneladas por hectare, o estado supera em 4% a média colhida nos Estados Unidos, maior produtor mundial, que atingiu 3,5 ton/hectare, segundo dados do Paraná (2017a). O volume médio paranaense também é superior à média brasileira, que alcança 3,2 ton/hectare.

A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (2016), afirma que o desempenho do agronegócio brasileiro no período de 2016 a 2026 será melhor do que a média mundial, aumentando a participação do país no mercado global. Esse fato vem sendo confirmado com as produções recordes de grãos que é resultado das condições climáticas favoráveis, emprego de tecnologia e aumento das áreas de plantio.

As projeções para 2024/25 são de uma safra de grãos de aproximadamente 259,7 milhões de toneladas. Comparado com a safra de 2014/15, que está estimada em 200,7 milhões de toneladas, corresponde a um acréscimo de 29,4%. Esse acréscimo corresponde a uma taxa anual de crescimento de 2,6% (BRASIL, 2015).

3.2 CENÁRIO POLÍTICO-LEGAL

Dado o fato de que o cenário político brasileiro encontra-se instável, uma das áreas que são diretamente afetadas é a de oferecimento de linhas de crédito para o agronegócio. Um exemplo disso é o Programa para Construção e Ampliação de Armazéns (PCA). Esta linha de crédito tem por objetivos ampliar a capacidade de armazenamento agrícola, reduzir problemas logísticos de escoamento da produção em pico de safra, além de proporcionar ao produtor rural e as cooperativas a possibilidade de escolher o melhor momento de escoamento e comercialização dos produtos (BANCO DO BRASIL, 2017).

Embora essa linha de crédito exista, desde o final de 2015, cerealistas não conseguem mais acessar o financiamento por meio do PCA, o qual cobria 100% do projeto. Barbiero (2017), presidente da Associação das Empresas Cerealistas do Rio Grande do Sul (Acergs), afirma que a opção que os cerealistas têm é um crédito com juro mais alto e que cobre apenas 50% do investimento, o que dificulta a ampliação de silos (ZH CAMPO E LAVOURA, 2017).

Como a armazenagem tem sido um problema para os agricultores, o governo anunciou recentemente o Plano Safra 2017/2018, que consiste em um programa dentro das condições fiscais do país e que possibilita um crescimento relativamente pequeno no volume de recursos para financiamentos e juros levemente mais baixos, de acordo com a avaliação da Associação Brasileira do Agronegócio (ABAG, 2017).

O Plano Safra é um incentivo para retomada, pois há necessidade de cobrir o déficit de armazenagem devido aos recordes de produção de grãos. Com este cenário, as empresas fabricantes de silos e armazéns podem ficar otimistas e esperar um crescimento no volume de vendas (MAIS GOIÁS, 2017).

3.3 CENÁRIO TECNOLÓGICO

No quadro da produção agrícola nacional, as empresas e produtores de agronegócio estão passando por uma modernização do padrão tecnológico. Assim, a competitividade não está mais relacionada

aos recursos naturais de cada uma, mas sim à qualidade da industrialização do produto. Isto resulta em um aumento de produção por hectare (PARANÁ, 2017b).

No âmbito de tecnologias para projetos, a plataforma BIM (*Building Information Modeling*) vem ganhando espaço. Esta plataforma de trabalho propõe a integração entre projetos, e a parametrização do desenho, de forma que problemas vistos apenas na fase da obra sejam antecipados para a fase de projeto. Desde 2011 a comissão especial de estudos 134 da ABNT vem trabalhando em NBRs específicas para projetos BIM no Brasil (CATELANI, 2016).

Além disso, o governo de Santa Catarina lançou em 2015 um guia para projetos BIM, já que passou a exigir em alguns processos de licitação projetos neste formato. Este ato incentivou outros Estados a se organizarem, como o Paraná, que pretende lançar um caderno BIM para o próprio estado ainda em 2017 (PARANÁ, 2017c).

Por fim, quanto às tecnologias na fabricação de silos, Viscardi (2013), diretor de Vendas e Marketing de Armazenagem de Grãos da GSI Brasil, destaca a utilização de sistemas de termometria que controlam a temperatura do grão dentro do armazém. Ao sinal de qualquer alteração, o equipamento aciona o sistema de aeração para refrigerar o local.

3.4 CENÁRIO DEMOGRÁFICO

De acordo com a Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio (PNAD) divulgada pelo IBGE, a região Centro-Oeste do Brasil foi a que registrou maior número de migrantes no ano de 2013, onde 34,2% dos habitantes desta região são de outras regiões do país. A pesquisa também apontou que o estado do Mato Grosso foi o que teve maior porcentual neste quesito, chegando a 38% de migrantes, sendo que a principal motivação destas migrações é a busca por trabalho (VEJA, 2014).

Historicamente o estado do Mato Grosso teve um papel importante com relação à migração, visto que até os anos 80 foi uma das poucas alternativas de destino para pessoas ligadas a atividades agrícolas. No entanto, hoje o estado apresenta aumentos demográficos, e parte desse crescimento se dá pelo surgimento de novos núcleos rurais. Ainda, o crescimento nos grandes centros urbanos é um evento notável, pois existe atualmente um processo de desruralização e inchamento urbano causado pelas principais atividades econômicas, a pecuária e a soja (CUNHA et al., 2002).

4. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1 ANÁLISE SWOT

Como o diagnóstico estratégico deve focar o momento atual, a empresa precisa ter pleno conhecimento de seus pontos fortes e fracos para enfrentar as ameaças e oportunidades dos cenários externos (OLIVEIRA, 2010). Assim, após entrevistas com os sócios da empresa e análises dos fatores externos, desenvolveu-se a análise SWOT detalhada na Tabela 1 a seguir.

Ambiente	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Interno	a) Potencial no ramo do agronegócio; b) As principais atividades da empresa se encontram no Mato Grosso; c) Conhece bem o mercado, o perfil dos consumidores e as forças da concorrência; d) Equipe capacitada, com bom inter-relacionamento; e) Boa estrutura de suporte para produção; f) Qualidade do produto final; g) Cumprimento de prazos; h) Parceria com fornecedores; i) Equilíbrio na negociação com os clientes; j) Bom relacionamento com clientes; k) Satisfação dos clientes; l) Fabricação própria de peças de concreto utilizadas nas obras.	a) A matriz da empresa se encontra em Curitiba; b) Falta de metas e indicadores; c) Falta de repasse das decisões e metas da alta gerência para os colaboradores; d) Não define com precisão as responsabilidades e funções, e) Comunicação interna falha, distância física entre colaboradores; f) Sistema operacional defasado, o que resulta em retrabalhos; g) Falta de tecnologias na área de projetos (*hardware* e *software*); h) Não acompanhamento de novos processos de projeto (BIM).

Ambiente	Oportunidades	Ameaças
Externo	a) Produções recordes de grãos e projeções positivas para o agronegócio; b) Mato Grosso lidera produção nacional de grãos; c) Paraná possui a maior produtividade média mundial de grãos (ton/hectare); d) Clientes em fase de expansão e desenvolvimento.	a) Cenário político instável; b) Novos entrantes no mercado; c) Soluções paliativas, como os "silos-bolsa"; d) Concorrentes podem estar a frente ao dominar as novas tecnologias de projeto; e) Concorrentes com preço inferior; f) Governos exigem elaboração de projetos com a tecnologia BIM.

Tabela 1 – Análise SWOT formulada para a empresa em estudo

Fonte: Autoria própria (2017)

Destacam-se como pontos fortes a valorização pela qualidade do produto final e o cumprimento dos prazos de entrega das obras. Quanto aos pontos fracos, a falha na comunicação entre departamentos e a falta de repasse das decisões da alta gestão merecem atenção. Além disso, a empresa ainda não começou a se preparar para os projetos BIM.

Em relação às oportunidades, a região de atuação da empresa, Mato Grosso, é lider de produção nacional de grãos. Por fim, quanto as ameaças mais significativas, destacam-se a instabilidade do

cenário político; e a exigência de projetos BIM em alguns processos de licitação lançados pelo Governo.

4.2 FORÇAS COMPETITIVAS DE PORTER

Porter (2004) relaciona cinco principais forças competitivas que indicam como as empresas se posicionam no ambiente competitivo. São elas: novos entrantes no mercado, produtos substitutos, poder de negociação com fornecedores/compradores e rivalidade entre concorrentes atuais. Desta forma, na Tabela 2, descreve-se como a empresa encontra-se posicionada frente a estas forças.

Forças	Posicionamento Empresa	Ameaça
Novos Entrantes no Mercado	Ameaçada	Não há barreiras de entrada no mercado.
Produtos Subtitutos	Ameaçada	A popularização do "Silo-Bolsa" pode entrar como substituto de um armazém, pois é oito vezes mais barato do que o silo convencional.
Poder de Negociação dos Fornecedores	Sem Ameaça	Criou sua própria fornecedora de concreto e de pré-moldados; Criou laços de parceria com demais fornecedores, mesmo pagando mais caro por certos produtos.
Poder de Negociação dos Compradores	Sem Ameaça	Apesar de o cliente possuir tendência a investir apenas o necessário, de forma que o preço seja favorável para si (PORTER, 2004), a experiência da empresa supera esta possível ameaça.
Rivalidade entre Concorrentes Atuais	Ameaçada	A estrutura de rivalidade que mais se encaixa neste caso, segundo Porter (2004) seria a de "Crescimento lento da indústria". Como a empresa não procura expandir sua fatia de mercado, este pode ser um ponto perigoso, caso seus concorrentes pretendam expandir negócios.

Tabela 2 – Posicionamento da empresa frente às Forças Competitivas de Porter

Fonte: Autoria própria (2017)

4.3 ESTRATÉGIA COMPETITIVA GENÉRICA

Segundo as definições das estratégias competitivas genéricas de Michael Porter (2004), as quais são liderança em custo, diferenciação e foco, a empresa pratica a estratégia de diferenciação. Este tipo de estratégia preza pela imagem da marca e pelo diferencial do produto. No caso da empresa em análise, este diferencial é a qualidade final das obras e o cumprimento dos prazos de entrega.

Para atingir estes dois diferenciais, a empresa investiu em equipamentos para montar a sua própria concreteira, produzindo assim, suas próprias peças pré-moldadas, o que garante a qualidade estrutural e de acabamento final dos armazéns. Além disso, a empresa também possui uma gama de

equipamentos próprios, como máquinas para movimentação de terra e caminhões betoneiras, que otimizam o tempo de execução das obras.

Conforme Porter (2004), a estratégia de diferenciação proporciona a fidelização dos clientes, mesmo que estes paguem um preço mais caro do que o valor ofertado pelos concorrentes.

Frente a isto, a empresa que usa desta estratégia deve estar bem preparada em relação à diferenciação, não somente perante os concorrentes diretos, mas também em relação aos produtos substitutos.

Ainda, deve-se levar em consideração que nem todos os clientes podem pagar ou estão dispostos a obter esta diferenciação. Assim, a empresa deve estar ciente de que atinge apenas uma fatia do mercado, e é de suma importância que este público seja identificado para que possa se direcionar o marketing a esta parcela (PORTER, 2004).

Para manter esta estratégia, Porter (2004) elenca alguns recursos e habilidades que se requerem. São eles:

a) Grande habilidade de marketing;
b) Engenharia do produto;
c) Tino criativo;
d) Grande capacidade em pesquisa básica;
e) Reputação da empresa como líder em qualidade ou tecnologia;
f) Longa tradição na indústria;
g) Forte cooperação dos canais.

De todas as características listadas, ainda falta a empresa se firmar como líder no seu nicho de atuação, além de aprimorar as habilidades de marketing, a fim de criar estudos que identifiquem os principais clientes, e propor estratégias para melhorar a divulgação da marca.

Já a “longa tradição na indústria” é o principal diferencial dentre as habilidades listadas, já que a empresa possui vinte e quatro anos de existência, e nove anos de experiência em projetos e execução de silos e armazéns graneleiros.

4.4 POSTURA ESTRATÉGICA

Segundo Oliveira (2010) uma postura estratégica adequada otimiza a interação entre os fatores externos e os internos da empresa. Além disso, define um objetivo a se alcançar, e traça a maneira

para se atingir este objetivo. As quatro principais posturas estratégicas são desenvolvimento, crescimento, manutenção e sobrevivência.

Sendo assim, com base na análise SWOT e na análise dos cenários externos, enquadra-se a organização na postura estratégica de manutenção, pois a empresa enfrenta um ambiente externo de ameaças, mas passa por um momento onde os pontos fortes são tão significativos que permitem que a empresa possa sobreviver às adversidades externas, e ainda se manter na posição conquistada até o presente (OLIVEIRA, 2010).

Na Tabela 3 demonstra-se o posicionamento de cada postura frente aos pontos fortes e fracos e oportunidades e ameaças.

		Análise Interna Predominância de:	
		Pontos Fortes	Pontos Fracos
Análise Externa Predominância de:	Oportunidades	Desenvolvimento	Crescimento
	Ameaças	Manutenção	Sobrevivência

Tabela 3 – Tipos básicos de posturas estratégias com destaque na Estratégia de Manutenção

Fonte: Adaptado de Oliveira (2010)

De acordo com a análise SWOT, a empresa em estudo possui predominância de pontos fortes, porém, devido ao cenário externo político-legal representar uma ameaça, a empresa deve aproveitar este momento para potencializar os pontos fortes e minimizar os pontos fracos. Isto não significa que a empresa deve parar de investir, mas sim, moderar os investimentos. (OLIVEIRA, 2010)

Ainda segundo Oliveira (2010), ao se adotar esta postura estratégica, a empresa deve buscar medidas defensivas frente às ameaças. Para tanto, a estratégia de manutenção pode se mostrar de três maneiras distintas, sendo estas a estratégia de estabilidade, de nicho e de especialização. O tipo de estratégia que mais se enquadra a realidade da empresa em análise é a estratégia de nicho.

A estratégia de nicho propõe que a empresa evite se expandir geograficamente, adote uma postura de menor risco e foque em um único negócio, de forma a não desviar recursos para outras atuações. Para tanto, o produto precisa ser diferenciado para que possa ser competitivo.

Ainda, recomenda-se que depois de se escolher este nicho é que a empresa comece a traçar as estratégias, a fim de denotar representatividade e importância (OLIVEIRA, 2010).

Portanto, no caso da empresa em estudo, o nicho de serviço ao qual merece destaque é o de projeto e construção de obras agroindustriais, mais precisamente na área de projetos e construção de silos e armazéns graneleiros na região do Mato Grosso. Este nicho é a principal atividade e especialidade da organização, além de que a empresa já se encontra instalada no Estado destacado.

Quanto ao diferencial deste serviço, destaca-se a qualidade final da obra e o cumprimento nos prazos de entrega.

4.5 PROPOSTAS ESTRATÉGICAS

A fim de minimizar os pontos fracos da empresa, e de prepará-la para enfrentar as ameaças externas, propõem-se, nas seções a seguir, as seguintes propostas estratégicas para que a empresa possa se manter na postura estratégica de manutenção.

4.5.1 ATUALIZAR O ORGANOGRAMA

Observou-se que o organograma contido no Manual da Qualidade em vigor na empresa encontra-se defasado. Como o fluxo de informações é um elemento chave para os processos decisórios da alta gestão (OLIVEIRA, 2010), elaborou-se um novo organograma de acordo com a estrutura organizacional atual da organização, conforme demonstrado abaixo:

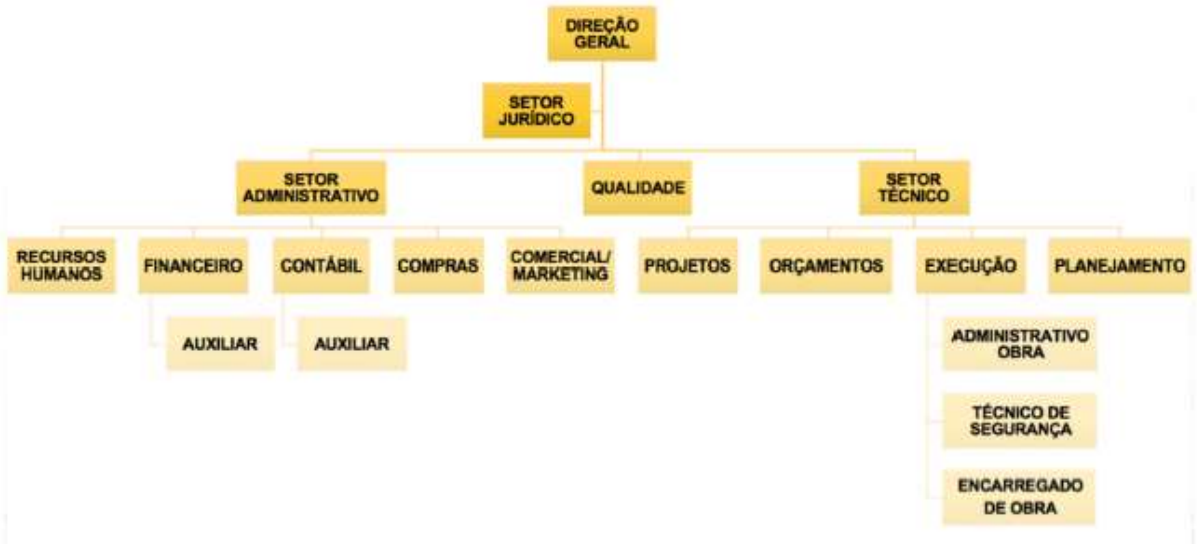


Figura 1 – Proposta de atualização do organograma da empresa

4.5.2 REVISÃO DA POLÍTICA DA QUALIDADE MISSÃO, VISÃO E VALORES

Missão, visão e valores da empresa são os principais componentes de um diagnóstico estratégico. Estes componentes definem a identidade da empresa, de forma que a missão define a razão de ser da organização (OLIVEIRA, 2010). Assim sendo, elaborou-se uma nova revisão da política de qualidade, missão, visão e valores por descrever melhor o perfil que a empresa possui atualmente, de acordo com a estratégia competitiva de diferenciação e do posicionamento estratégico de manutenção. Segue o modelo sugerido na Tabela 4.

Sistema de Gestão da Qualidade	Descrição
Política da Qualidade	Promover a melhoria contínua da qualidade nos projetos e na execução das edificações, visando à satisfação dos clientes e a redução dos custos de produção.
Missão	Atuar no ramo da construção civil, atendendo as necessidades dos clientes, através da melhoria contínua da sua infraestrutura e tecnologia a fim de garantir qualidade, rapidez, flexibilidade e confiabilidade em seus contratos.
Visão	Ser referência no mercado do agronegócio, como uma construtora que se destaca pela qualidade, confiança e comprometimento com a satisfação dos seus clientes.
Valores	a) Honestidade, simplicidade, verdade e ética norteiam as ações da nossa empresa; b) Qualidade nos serviços e produtos; c) Pontualidade no cumprimento de contratos; d) Respeito e segurança com seus colaboradores, bem como a valorização das equipes e incentivos de desenvolvimento pessoal e profissional; e) Responsabilidade socioambiental; f) Busca constante por novas tecnologias atreladas a construção; g) Engenharia atuante com equipes que valorizam o respeito e a harmonia entre si.

Tabela 4 – Proposta de atualização de política da qualidade, missão, visão e valores para a empresa

Fonte: Autoria própria (2017)

A atualização da missão da empresa irá direcionar o corpo diretor no estabelecimento de novas metas e planos. A sugestão para o cumprimento dessas novas diretrizes é de realizar reuniões semestrais com todos os colaboradores para apresentar os resultados e acompanhar indicadores.

Propõe-se reformular e reanalisar esta missão a cada três anos. Segundo Fung et al. (2008) neste tempo é possível se lançar ao desafio de alcançar as metas, e ainda não estar defasado quanto a mudanças de cenários externos.

4.5.3 ATUALIZAR MEIOS DE COMUNICAÇÃO VIRTUAIS

Como o posicionamento genérico de diferenciação preza pela marca e imagem da empresa, é imprescindível que os meios de comunicação virtuais, como site e LinkedIn, estejam sempre

atualizados e bem apresentados, visto que estes meios encontram-se todos bastante desatualizados. Ainda, Porter (2004) listou como requisito a "grande habilidade em marketing" para manter o posicionamento em diferenciação e destacar a marca da empresa.

Assim, a empresa deve atualizar as últimas obras realizadas, missão, visão e valores, além de dar destaque para notícias relacionadas ao agronegócio para vincular a marca da empresa com o ramo de atuação.

4.5.4 DESENVOLVER A COMUNICAÇÃO INTERNA

Foi observado que a comunicação interna entre colaboradores é um tanto falha. Devido ao afastamento frequente da alta gestão para visitar as obras e as demais filiais, ocorrem casos de falta de comunicação, ou de repetição dos dados já informados. Sendo assim, são sugeridas a seguir duas propostas de aprimoramento para comunicação entre alta gestão e colaboradores, e entre matriz, filiais e departamentos.

4.5.4.1 COMUNICAÇÃO ENTRE ALTA ADMINISTRAÇÃO E COLABORADORES

Estratégia e liderança estão intrinsecamente conectadas (PORTER, 1996). É essencial que a alta gestão repasse os posicionamentos estratégicos para a equipe. Para o cumprimento das metas e planos estabelecidos é necessário que sejam praticadas reuniões com os colaboradores para o repasse e acompanhamento das informações. Sugere-se que as reuniões sejam realizadas semestralmente para apresentação de resultados e acompanhamento de indicadores.

Além disso, é neste momento que os colaboradores podem também fazer um *brainstorming*, ou seja, trazer ideias, visões e sugestões de melhorias nos processos da empresa.

4.5.4.2 COMUNICAÇÃO ENTRE DEPARTAMENTOS

A comunicação diária entre departamentos, matriz e filiais também pode ser aprimorada.

Nesse sentido propõe-se a utilização de um *software* específico para comunicação e gerenciamento de tarefas, como a ferramenta Trello, que é um programa baseado no sistema *kanban*.

O *software* é um organizador de tarefas e eventos. É ideal para organizar as tarefas de uma equipe, visualizar a ordem de prioridade dessas atividades e ainda facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas. Isto auxilia na correção da falha de comunicação e dos repasses repetitivos da mesma

informação, já que o programa funciona como um agente central de informações, em que todos os envolvidos se reportam a este agente central.

O ideal é que haja um colaborador responsável em apresentar a ferramenta para a equipe, prestar suporte na implantação e posteriormente supervisionar e garantir que todos estejam usando a ferramenta de forma adequada.

Com a ideia consolidada, posteriormente sugere-se que seja utilizado um *software* de gerenciamento mais complexo e que englobe mais informações relevantes, como dados financeiros e fluxos físico-financeiro das obras.

4.5.5 IMPLANTAR SETOR DA QUALIDADE

Apesar de a empresa em análise possuir o sistema ISO 9001, por falta de tempo dos gestores e de responsáveis pela qualidade, a empresa não irá renovar este sistema em 2017. Sendo assim, para haver uma melhor distribuição das tarefas da qualidade entre os colaboradores, e manter o sistema, sugere-se formar uma equipe responsável pela manutenção das boas práticas da qualidade.

A proposta é que a equipe seja formada por um membro de cada setor da empresa. Esta equipe seria responsável por manter atualizadas as metas e indicadores da organização. Para o treinamento desta equipe, a Fundação Nacional da Qualidade (FNQ) oferece cursos gratuitos baseados no Modelo de Excelência em Gestão (MEG) incluindo até mesmo cursos online e presenciais, além de certificados para os participantes (FNQ, 2017).

4.5.6 ATUALIZAÇÃO DE *HARDWARES*, *SOFTWARES* E IMPLEMENTAÇÃO DA PLATAFORMA BIM (*BUILDING INFORMATION MODELING*)

Visto que a tecnologia de projetos BIM vem ganhando espaço, e que aos poucos o Governo está passando a exigir projetos neste formato, é essencial que a e empresa comece a investir neste aprimoramento tecnológico.

Segundo Succar e Kassem (2016), a primeira etapa de uma implantação BIM é investir na capacidade tecnológica de *hardware*, *softwares* de modelagem e preparação da equipe. A apresentação de projetos tridimensionais é um dos primeiros passos a se trilhar; e além da empresa se preparar para utilizar esta tecnologia disruptiva, ainda melhora a visualização dos projetos perante seus clientes, soma qualidade ao produto final, e agrega valor a estratégia de diferenciação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância do posicionamento estratégico se dá pelo fato de preparar a organização para os futuros acontecimentos e tendências, além de auxiliar na manutenção da posição que uma empresa possui, pois se antecipa a alguns riscos que possam cercar a organização. Assim, o objetivo do estudo foi elaborar uma proposta de postura estratégica para a empresa em análise, dada a importância de se estabelecer um rumo bem definido para a organização.

Primeiramente realizou-se uma análise SWOT, a fim de se conhecer as principais características da empresa e do ambiente externo.

Em seguida, confrontou-se a empresa frente às forças competitivas de Porter (2004), e concluiu-se que a empresa encontrava-se mais bem preparada frente ao poder de negociação dos fornecedores, pois a empresa em questão estabelece vínculos de parceria com os principais deles. Além disso, como forma de prezar pelo controle de qualidade e dos prazos, a empresa montou sua própria fornecedora de materiais de obra de concreto pré-moldado.

Quanto à estratégia competitiva de Porter (2004), a empresa se enquadrou na estratégia de diferenciação, pois preza pela qualidade do produto final e pelo prazo de entrega das obras.

Assim, a empresa deve estar atenta à imagem da marca, e às estratégias de marketing, pois o diferencial de seu produto será o nome e a qualidade, de forma que nem todos os clientes estarão dispostos a pagar a mais por estas características (PORTER, 2004).

Por fim, em relação à postura estratégica, a empresa foi situada na postura de manutenção. Isto significa que a empresa possui predominância de pontos fortes, porém, a instabilidade do cenário externo político-legal pode representar uma ameaça. Assim, sugere-se aproveitar este momento para potencializar os pontos fortes e minimizar os pontos fracos para se preparar às ameaças em questão.

Porém, apesar de definida uma postura estratégica, o planejamento deve ser revisado de acordo com a mudança dos cenários e do amadurecimento da empresa, à medida que missão e visão sejam também revisadas.

Neste sentido, após se consolidar o posicionamento de manutenção, e logo que o cenário externo encontrar-se mais favorável, propõe-se que a organização adote a postura de crescimento com estratégia de expansão, e atente-se a alternativa de expandir os negócios para o Estado do Paraná.

Os recordes de produção de grãos no Paraná, que inclusive ultrapassou os índices de produtividade dos Estados Unidos em 2016/2017 (PARANÁ, 2017a), dão indícios de um mercado que pode ser explorado, o que reforça a ideia de que um planejamento estratégico pode ter um perfil dinâmico e passível de mudanças.

REFERÊNCIAS

ABAG. *Plano Safra tem pontos positivos; nova colheita recorde é possível, diz Abag.* Disponível em:

<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/plano-safra-tem-pontos-positivos-nova-colheita-recorde-epossivel-diz-abag.ghtml>. Acesso em: 19 jun. 2017.

BANCO DO BRASIL. *PCA – Construção e Ampliação de Armazéns: Modernização, reforma e construção de novos armazéns.* Disponível em: <http://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/agronegocios/agronegocio---produtos-e-servicos/credito/investir-em-sua-atividade/pca---construcao-e-ampliacao-de-armazens#/>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Projeções do Agronegócio: Brasil 2014/2015 a 2024/2015.* Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015.

CATELANI, Wilton S. *Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras.* Vol. 3 - Colaboração e Integração BIM. 132 p. Brasília: CBIC, 2016.

CUNHA, José M. P.; ALMEIDA, Gisele M. R.; RAQUEL, Fernanda. *Migração e Transformações Produtivas na Fronteira: o caso de Mato Grosso.* Disponível em:

<http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/anais/pdf/2002/gt_mig_st33_cunha_texto.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Outlook Fiesp 2016: Projeções para o Agronegócio Brasileiro.* São Paulo: FIESP, 2016.

FNQ. *Cursos*. Disponível em: <http://www.fnq.org.br/aprenda/cursos>. Acesso em 15 set. 2017.

FUNG, Victor K; FUNG, William K.; WIND, Yoram. *Competindo em um mundo plano: Como construir empresas para um mundo sem fronteiras.* 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estatística da Produção Agrícola: maio de 2017.*

Disponível em:<ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201705.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2017.

MAIS GOIÁS. *Construção de armazéns deve crescer 30% neste ano com o Plano Safra 2017/2018.* Disponível em <http://www.emaisgoias.com.br/construcao-de-armazens-deve-crescer-30-neste-ano-com-o-plano-safra-20172018/>. Acesso em: 20 jun. 2017.

OLIVEIRA, Djalma de Pinto Rebouças de. *Planejamento Estratégico: conceitos, metodologia e práticas.* 28. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

PARANÁ. Agência de Notícias. *Paraná é o primeiro do mundo em produtividade de soja.* Disponível em:<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=93562&tit=Parana-e-o-primeiro-do-mundo-naprodutividade-de-soja>. Acesso em: 17 jun. 2017a.

PARANÁ. Secretaria da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. *Tecnologias para o Agronegócio.*

Disponível em: <http://www.seti.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=11>. Acesso em: 19 jun. 2017b.

PARANÁ. Secretaria de Infraestrutura e Logística. *LaBIM.* Disponível em:

<http://www.bim.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=12>. Acesso em: 19 jun. 2017c.

PORTER, Michael E. *Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência.* 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PORTER, Michael E. *What is strategy.* Harvard Business Review, 1996.

RIZZO, Giovana de A.; FALSARELLA, Orandi M. *Estrutura informacional para monitoramento do planejamento estratégico apoiado no balance scorecard*. eGesta - Revista Eletrônica de Gestão de Negócios. Vol. 2, n.2, p. 113-137.

SEBRAE. *MPE Diagnóstico*. Disponível em: <http://www.diagnosticodagestao.sebrae.com.br/login >Acesso em: 10 mai. 2017

SUCCAR. Bilal; KASSEM, Mohamad. *Building Information Modelling: Point of Adoption.* CIB World Congress, Tampere Finland, May 30 - June 3, 2016.

TERRA. *Novos silos aumentam a capacidade de armazenagem de grãos.* Disponível em:

<https://www.terra.com.br/economia/brasil-rural/novos-silos-aumentam-a-capacidade-de armazenagem-degraos,7fc9631a2a33f310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html> Acesso em: 21 jun. 2017.

VEJA. *Centro-Oeste é a região com mais migrantes no país.* Disponível em:

<http://veja.abril.com.br/politica/centro-oeste-e-a-regiao-com-mais-migrantes-no-pais/>. Acesso em: 20 jun.2017.

ZH CAMPO E LAVOURA. *Com safra recorde, silos-bolsa e piscinões se multiplicam no campo.* Disponível

em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2017/04/com-safra-recorde-silos-bolsa-episcinoes-se-multiplicam-no-campo-9772153.html>. Acesso em: 17 jun. 2017.

Capítulo 10

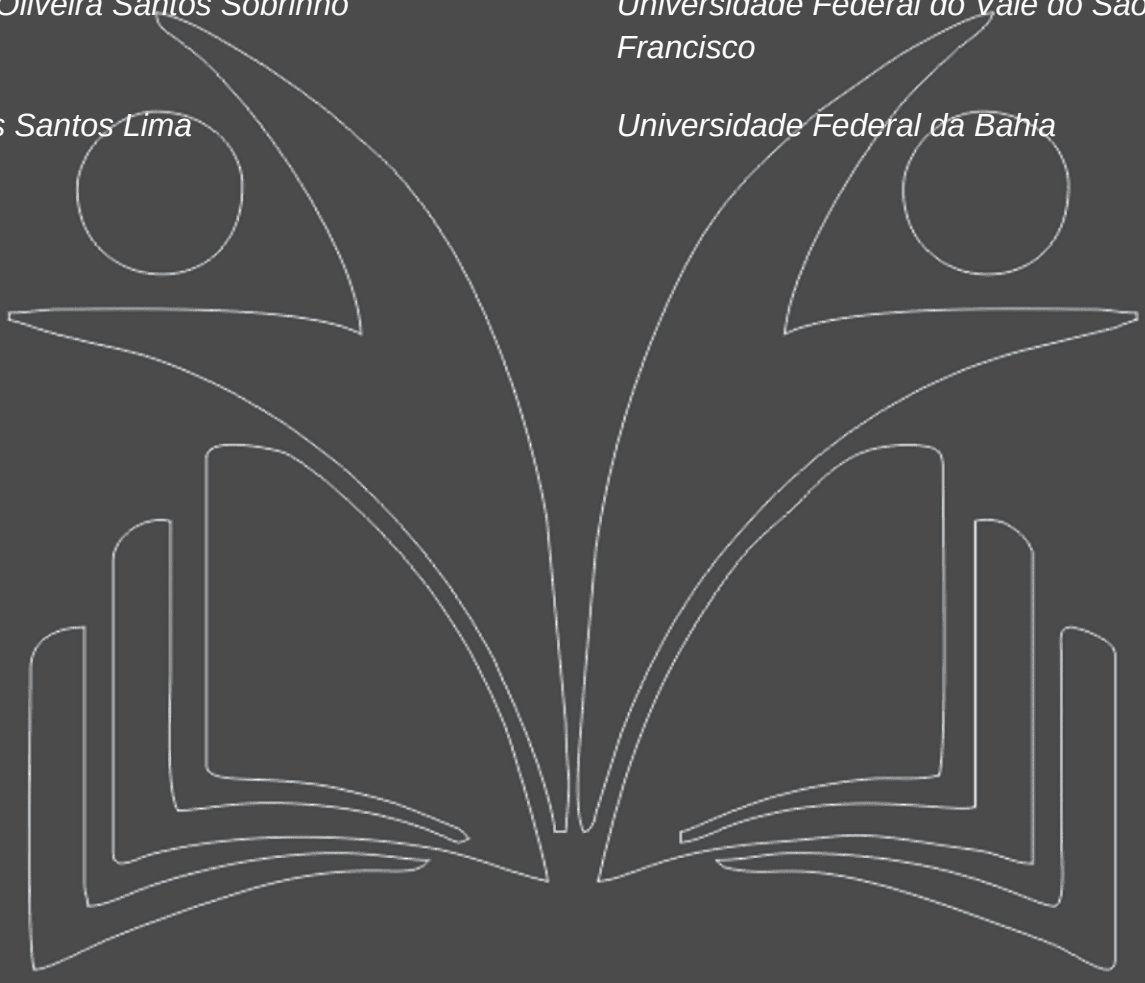
10.37423/240408933

IDENTIFICAÇÃO EM MALHA FECHADA DE SISTEMAS COM ATRASO CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DO ZERO DE PADÉ NO TRANSITÓRIO

Adhemar de Barros Fontes — *Universidade Federal da Bahia*

Manoel de Oliveira Santos Sobrinho — *Universidade Federal do Vale do São Francisco*

Joselito dos Santos Lima — *Universidade Federal da Bahia*



Resumo: Muitas plantas industriais podem ser satisfatoriamente representadas por modelos de primeira ordem com atraso de tempo. Uma das abordagens mais conhecidas na identificação de sistemas em malha fechada utiliza a resposta ao degrau e substitui, no modelo, o termo exponencial que representa o atraso, pela aproximação de Padé de primeira ordem. Neste artigo apresenta-se um novo método de identificação em malha fechada utilizando-se a aproximação de *Padé* de primeira ordem, considerando- se a influência do *"zero de Padé"* nos parâmetros temporais do comportamento transitório. Resultados de simulação são apresentados, mostrando o desempenho do método para alguns tipos de sistemas. Uma plataforma experimental, com uma barra dissipadora de calor, foi utilizada para se aplicar este método de identificação.

Palavras-chave: Identificação em malha fechada; Aproximação de Padé de primeira ordem; Sistemas com atraso de tempo.

1. INTRODUÇÃO

A identificação de modelos matemáticos que representem uma determinada planta é de fundamental importância na área de controle e automação. Muitos sistemas reais podem ser satisfatoriamente representados por modelos de primeira ordem com atraso de tempo, visto que esses modelos são mais simples de serem identificados e conseguem explicitar as principais dinâmicas da planta. A identificação pode ser realizada em malha aberta ou em malha fechada.

A identificação em malha aberta é realizada com o controlador fora de operação automática durante a identificação. Este inconveniente não ocorre na identificação em malha fechada, na qual o controlador é configurado para operar no modo automático (Fernandes Jr. & Brandão, 2008). A identificação em malha fechada é requerida também quando não é possível, ou não é conveniente, operar o sistema em malha aberta, seja por questões de segurança, instabilidade ou restrições do processo (Acioli Jr. & Barros, 2008). As vantagens da identificação em malha fechada comparada com a de malha aberta são abordadas em Hjalmarsson (2005) e den Hof & Schrama (1998), destacando as diferenças de comportamento e segurança.

A identificação em malha fechada baseada na resposta ao degrau constitui-se um método clássico bastante abordado na literatura (Ljung, 1999) e (Aguirre, 2004), tais como o método proposto por Yuwana & Seborg (1982). Aplicações desta abordagem podem ser encontradas em Wang et al. (2001) e em Coelho & Barros (2003), os quais desenvolvem diferentes métodos para identificação de sistemas com atraso de tempo.

A aproximação de *Padé* de primeira ordem é comumente usada para substituir o termo exponencial que representa o atraso no modelo do sistema. Com esta abordagem Yuwana & Seborg (1982) desenvolveram um método para aproximar um processo por um modelo de primeira ordem com atraso de tempo. Nesse trabalho, os autores estimaram os parâmetros do modelo utilizando a resposta subamortecida, ao degrau, em malha fechada, com um controlador proporcional. Uma melhoria desse método foi implementada por Jutan & Rodriguez (1984), utilizando uma aproximação de alta ordem do atraso, no denominador da função de transferência de malha fechada. Outra modificação no método de Yuwana-Seborg foi realizada por Lee (1989), combinando os pólos dominantes do sistema de malha fechada, com aqueles de uma aparente função de transferência de segunda ordem com atraso de tempo, para determinar os parâmetros do modelo. Em Chen (1989), os parâmetros do processo são determinados diretamente durante o transitório, resultante da resposta ao degrau em malha fechada.

Um método de identificação em malha fechada com um controlador PI foi proposto por Mamat & Fleming (1995). Neste, algumas das desvantagens do método de Yuwana-Seborg foram eliminadas.

Neste artigo, propõe-se um novo método para identificação de sistemas em malha fechada representados por modelos de primeira ordem com atraso de tempo. Esta abordagem utiliza a aproximação de *Padé* de primeira ordem e considera o efeito do "*zero de Padé*" nos parâmetros temporais que caracterizam o comportamento transitório de um sistema de segunda ordem sub-amortecido, o que não é utilizado pelos métodos acima citados.

2. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

Determinadas plantas industriais podem ser adequadamente representadas por modelos de primeira ordem com atraso de tempo. Um sistema com realimentação unitária, conforme ilustrado na figura 1, em que *G(s)* representa a função de transferência da planta e *kc* um controlador proporcional, será utilizado para o desenvolvimento do método. Assim, *G(s)* é dado por

$$G(s) = \frac{k_p\, e^{-t_o s}}{\tau s + 1}\ , \qquad (1)$$

sendo,

k_p o ganho da função de transferência;
t_o o atraso de tempo;
τ a constante de tempo do sistema;

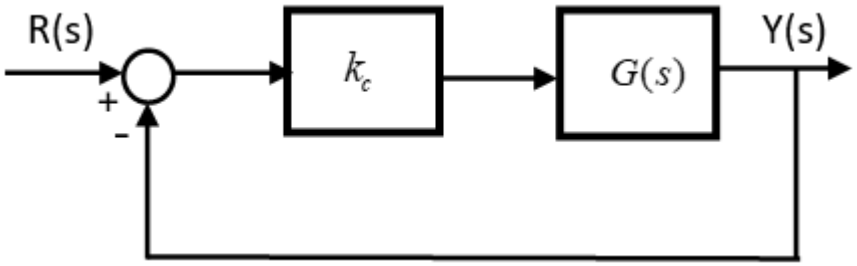


Figura 1 – Sistema em malha fechada.

O termo exponencial será substituído pela aproximação de Padé de primeira ordem, dada por

$$e^{-t_o s} \approx \frac{1 - 0.5 t_o s}{1 + 0.5 t_o s} = -\frac{s - 2/t_o}{s + 2/t_o}\ . \qquad (2)$$

Substituindo a equação (2) na equação (1) tem-se:

$$G(s) \approx \frac{k_p}{\tau} \frac{-(s-2/t_o)}{(s+2/t_o)(s+1/\tau)} \quad . \qquad (3)$$

A função de transferência do sistema em malha fechada é dada por

$$T(s) = \frac{\mathrm{Y(s)}}{\mathrm{R(s)}} = \frac{k_c G(s)}{1+k_c G(s)} \quad . \qquad (4)$$

Substituindo-se a equação (3) na equação (4) e após algumas manipulações algébricas, *T(s)* resulta em:

$$T(s) \approx \frac{\frac{-\mathrm{k}_c k_p}{\tau}(s-2/t_o)}{s^2 + (\frac{2}{t_o} + \frac{1-\mathrm{k}_c k_p}{\tau})s + \frac{2}{t_o \tau}(1+\mathrm{k}_c k_p)} \quad . \qquad (5)$$

Objetivando escrever a expressão anterior na forma:

$$T(s) = K \frac{As+b}{s^2+as+b} \, , \qquad (6)$$

definem-se:

$$a = \frac{2}{t_o} + \frac{1-\mathrm{k}_c k_p}{\tau} \; ; \qquad (7)$$

$$b = \frac{2}{t_o \tau}(1+\mathrm{k}_c k_p) \; ; \qquad (8)$$

$$A = -\frac{1+\mathrm{k}_c k_p}{\tau} \; ; \qquad (9)$$

$$K = \frac{\mathrm{k}_c k_p}{1+\mathrm{k}_c k_p} \quad . \qquad (10)$$

O comportamento transitório de um sistema de segunda ordem descrito na forma, aqui denominado de forma padrão,

$$T_p(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\varsigma\omega_n s + \omega_n^2}, \qquad (11)$$

Sujeito a um degrau unitário é bastante conhecido na literatura. Este comportamento, no domínio do tempo, será aqui definido como resposta padrão e representado por *yp(t)*. Neste caso, os parâmetros temporais, usualmente utilizados para classificar este comportamento, são bem definidos.

Deve-se observar que a equação (6) difere estruturalmente da equação (11) pela presença de um zero, dado por *s = -b/A*, que é devido à aproximação de Padé. Da equação (5) observa-se que este zero é dado por *s = 2/to*. Como já foi mencionado, o cálculo dos parâmetros temporais, considerando a influência deste zero que é denominado "zero de Padé", servirá de base do algoritmo de identificação aqui proposto.

Observa-se que a expressão (6) pode ser escrita, tomando-se como referência a forma padrão, como segue:

$$T(s) = K\left[\frac{b}{s^2 + as + b} + \left(\frac{A}{b}\right)s\frac{b}{s^2 + as + b}\right]. \qquad (12)$$

Esta expressão mostra que *T(s)*, tomando-se como referência $T_p(s)$, pode ser escrita na forma

$$T(s) = K\left[T_p(s) + \left(\frac{A}{b}\right)sT_p(s)\right]. \qquad (13)$$

Desta expressão pode-se verificar que a resposta de T(s) ao degrau unitário, no domínio do tempo, é dada por:

$$y(t) = K\left[y_p(t) + \left(\frac{A}{b}\right)\frac{d}{dt}y_p(t)\right]. \qquad (14)$$

O diagrama mostrado na figura 2 ilustra o resultado mostrado anteriormente.

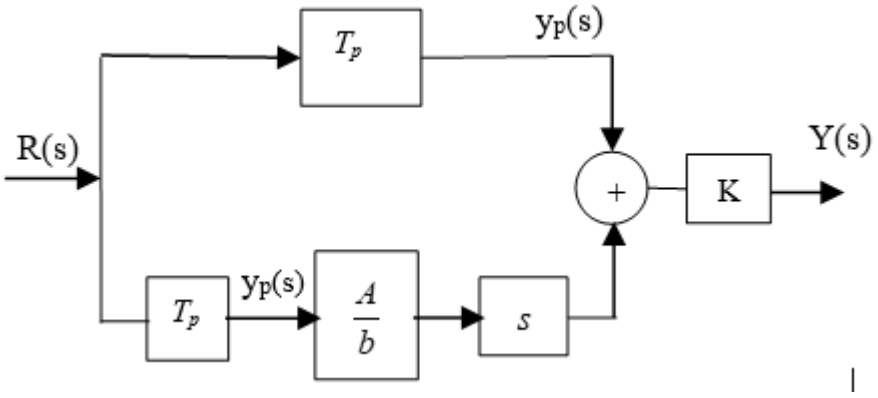


Figura 2 – Diagrama representando o sistema descrito pela equação (13).

Sabe-se que a resposta temporal de $T_p(s)$ ao degrau unitário (Franklin et al. 1994 e Chen, 1993) é dada por:

$$y_p(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta \omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} sen(\omega_d t + \varphi) \quad . \qquad (15)$$

Assim, utilizando-se a equação (14) e após algumas manipulações algébricas, a resposta de $T(s)$ a um degrau unitário resulta em:

$$y(t) = K\left[1 - C e^{-\zeta \omega_n t} sen(\omega_d t + \varphi + \alpha)\right], \qquad (16)$$

em que:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{A\sqrt{1-\zeta^2}}{\omega_n + A\zeta} \quad ; \qquad (17)$$

$$C = \frac{\sqrt{\omega_n^2 - 2\omega_n A\zeta + A^2}}{\omega_d} \quad . \qquad (18)$$

Fazendo $\theta = \varphi + \alpha$, obtém-se à seguinte expressão:

$$y(t) = K\left[1 - C e^{-\zeta \omega_n t} sen(\omega_d t + \theta)\right]. \qquad (19)$$

Observe que a expressão acima tem a mesma forma da expressão de *yp(t)*. Assim, os quatro parâmetros temporais: tempo de pico *(tp)*; tempo de subida *(ts)*; sobre-sinal máximo (*Sm*) e o tempo

de resposta, obtidos da resposta ao degrau unitário de um sistema de segunda ordem na forma, aqui denominada padrão, podem ser obtidos para a resposta de *T(s)* também ao degrau unitário. Estes parâmetros têm o mesmo significado, a mesma definição e são obtidos matematicamente de forma similar, utilizando-se a expressão (16). Tem-se, portanto, que:

$$t_p = \frac{\pi - \alpha}{\omega_d} \; ; \qquad (20)$$

$$t_s = \frac{\pi - \alpha - \varphi}{\omega_d} \; ; \qquad (21)$$

$$S_m = C\sqrt{1-\zeta^2}\; e^{-\zeta(\pi-\alpha)/\sqrt{1-\zeta^2}} \; . \qquad (22)$$

Convém observar que os parâmetros da resposta temporal de (16), aqui apresentados, que consideram a influência do "*zero de Padé*", constituem a base do algoritmo proposto e representam uma contribuição. Deve-se observar ainda que o método de Yuwana & Seborg, embora utilize a aproximação de Padé de primeira ordem, este não calcula de forma analítica os parâmetros temporais do sistema representado pela equação (5).

Considere agora que o gráfico mostrado na figura 3 é a resposta ao degrau unitário, em malha fechada, do sistema representado na figura 1:

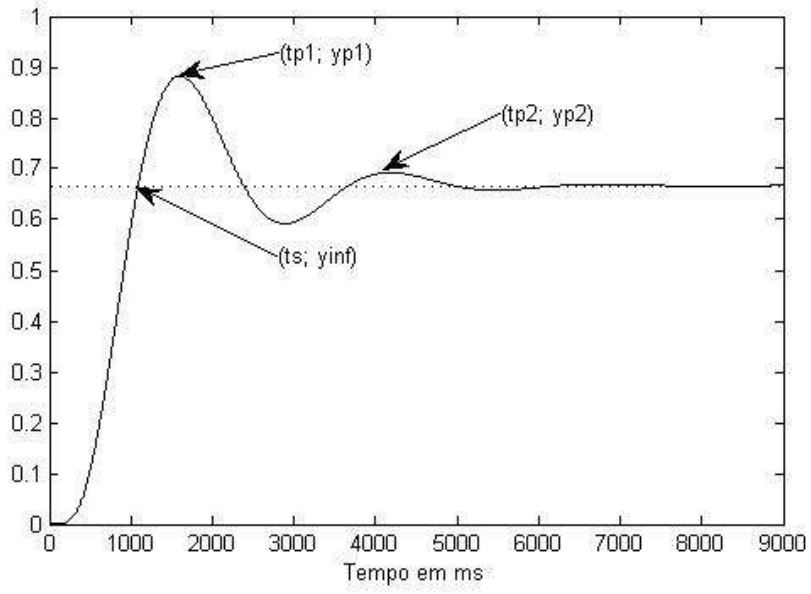


Figura 3 – Curva de resposta em malha fechada do sistema representado na figura 1.

Deste gráfico extraem-se, conforme indicados, as seguintes informações: tempo de subida *ts*; os instantes do primeiro e segundo picos, t_{p1} e t_{p1}; o valor da saída no instante do primeiro pico, y_{p1} e o valor da saída em regime permanente, $y_{inf.}$ Com estes valores determinam-se numericamente os parâmetros S_m, ω_d e K como sendo:

$$S_m = \frac{y_{p1} - y_{\inf}}{y_{\inf} - y(0)}; \quad (23)$$

$$\omega_d = \frac{2\pi}{(t_{p2} - t_{p1})}; \quad (24)$$

$$K = \frac{y_{\inf} - y(0)}{\Delta R}. \quad (25)$$

Em que ΔR é a variação na referência.

Utilizando-se o resultado obtido de ωd e as equações (20) e (21), determina-se o ângulo j pela expressão:

$$\varphi = (t_{p1} - t_s)\omega_d . \quad (26)$$

Com estes valores, obtém-se ζ e ω_n, visto que $\varsigma = \cos\varphi$ e $\omega_d = \omega_n sen\,\varphi$.

Os coeficientes *a* e *b* da equação (6) são obtidos, como segue:

$$a = 2\varsigma\omega_n \quad e \quad b = \omega_n^2 . \quad (27)$$

Em seguida, utilizando-se a equação (10), obtém-se k_p utilizando-se a expressão:

$$k_p = \frac{K}{k_c(1-K)} . \quad (28)$$

As equações (7) a (10) poderiam ser utilizadas para se obter, de forma mais direta, os parâmetros t_o e τ, visto que o parâmetro *A* pode ser obtido utilizando-se a expressão (17). Entretanto, devido à aproximação realizada, encontram-se valores mais adequados para estes parâmetros utilizando-se o seguinte procedimento: a partir das equações (5) e (6) tem-se que:

$$t_o = \frac{-2A}{b}. \qquad (29)$$

Para se calcular o valor de τ, deve-se utilizar as equações (7) e (8), determinando-se a solução positiva da seguinte equação quadrática em τ:

$$b\tau^2 - (1 + k_c k_p)a\tau + (1 - k_c^2 k_p^2) = 0. \qquad (30)$$

Deve-se observar que na fase de obtenção de dados, por meio do teste ao degrau em malha fechada com o controlador no modo proporcional, o ganho deste deve ser ajustado de forma que o S_m esteja na faixa entre 5% e 15%, para que se possa obter um melhor desempenho do método proposto. Isto pode ser explicado observando-se o gráfico do lugar das raízes de um sistema de alta ordem, com dinâmicas não dominantes, e aquele em que se utiliza a aproximação de Padé de primeira ordem. Verifica-se que, quando o S_m está na faixa acima citada, há uma maior aproximação entre os dois gráficos, portanto, é nesta faixa que o método proposto apresentará um melhor desempenho.

3. MÉTODO DE YUWUANA SEBORG

Considerando o sistema em malha fechada, conforme mostrado na figura 1, este método estima os parâmetros que compõem a equação (1) utilizando também dados da resposta ao degrau, quando a mesma for subamortecida, conforme mostrado na figura 4.

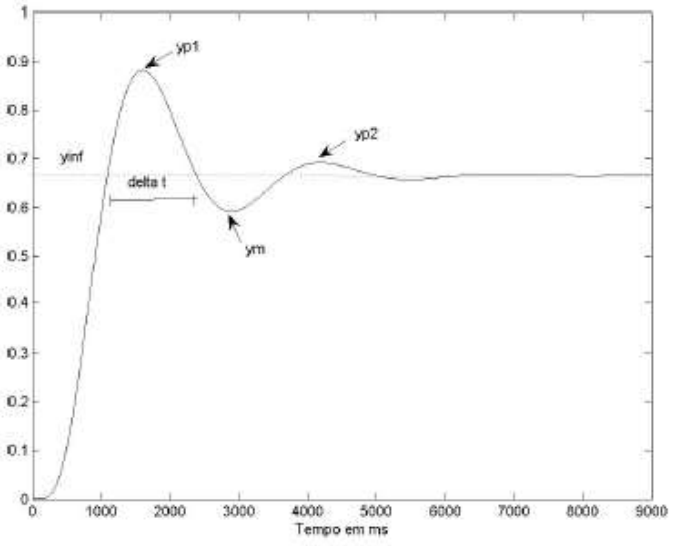


Figura 4 – Curva de resposta em malha fechada com os parâmetros usados no método Yuwana Seborg.

Deste gráfico extraem-se as seguintes informações: os valores da saída no primeiro e segundo pico, y_{p1} e y_{p2}; o valor da saída em regime permanente, y_{inf}; o valor da saída no ponto de primeiro mínimo y_m e o intervalo de tempo Δt decorrido entre o primeiro e segundo cruzamento da curva com y_{inf}. Utilizando-se a equação (2), a função de transferência em malha fechada pode ser escrita na seguinte forma:

$$T(s) = \frac{\bar{K}(1-0,5t_o s)}{\bar{\tau}^2 s^2 + 2\xi\bar{\tau}s + 1}, \qquad (31)$$

Sendo:

$$\bar{K} = \frac{k_c k_p}{k_c k_p + 1}, \qquad \bar{\tau} = \left[\frac{t_o \tau}{2(k_c k_p + 1)}\right] \quad e \quad \xi = \frac{\tau + 0,5t_o(1 - k_c k_p)}{\sqrt{2t_o\tau(k_c k_p + 1)}}.$$

Considerando que a referência sofre uma variação do tipo degrau, de amplitude A_m, então, segundo este método, os parâmetros do processo são obtidos das seguintes expressões:

$$K = \frac{y_{\inf}}{k_c(A_m - y_{\inf})}\ ; \qquad (32)$$

$$\tau = \frac{\Delta t}{\pi}\left[\xi\sqrt{k_c k_p + 1} + \sqrt{\xi^2(k_c k_p + 1) + k_c k_p}\right]\sqrt{(1-\xi^2)(k_c k_p + 1)}\ ; \qquad (33)$$

$$t_o = \frac{2\Delta t\sqrt{(1-\xi^2)(k_c k_p + 1)}}{\pi\left[\xi\sqrt{k_c k_p + 1} + \sqrt{\xi^2(k_c k_p + 1) + k_c k_p}\right]}. \qquad (34)$$

Sendo que ξ pode ser avaliada de duas formas diferentes, conforme equações a seguir:

$$\xi_1 = \frac{-\ln\left(\frac{y_{inf} - y_m}{y_{p1} - y_{inf}}\right)}{\sqrt{\pi^2 + \left(\ln\left(\frac{y_{inf} - y_m}{y_{p1} - y_{inf}}\right)\right)}}; \qquad (35)$$

$$\xi_2 = \frac{-\ln\left(\frac{y_{p2} - y_{inf}}{y_{p1} - y_{inf}}\right)}{\sqrt{4\pi^2 + \left(\ln\left(\frac{y_{p2} - y_{inf}}{y_{p1} - y_{inf}}\right)\right)}}. \qquad (36)$$

Na prática é comum usar o valor médio de ξ_1 e ξ_2.

Observa-se das equações (35) e (36) que este método não utiliza a expressão analítica do sobre- sinal máximo S_m, apresentada na equação (22), mas sim expressões baseadas no decaimento logarítmico da oscilação.

4. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Serão apresentados agora, os resultados simulados realizados em dois sistemas com dinâmicas dominantes iguais e não dominantes diferentes. Estes sistemas foram assim escolhidos tendo em vista que estes podem ser aproximados por um sistema de primeira ordem com atraso, na forma da equação (1), (Aguirre, 2004). Sabe-se que o atraso, neste caso, é devido às dinâmicas não dominantes. Portanto, os dois sistemas têm atrasos distintos. Para comparação, foi realizada também a identificação dos sistemas utilizando-se o método de Yuwana e Seborg (1982). O primeiro sistema simulado tem a seguinte função de transferência:

$$G_1(s) = \frac{1}{(s+1)(0,1s+1)(0,08s+1)(0,02s+1)}$$

Foram realizadas simulações para três valores diferentes de k_c e comparou-se os resultados obtidos, utilizando-se o método proposto e o método de Yuwana e Seborg (1982), com o comportamento da planta representada por *G1(s)*. Nas tabelas 1, 2 e 3 apresentam-se os valores dos parâmetros k_p, τ e t_o

encontrados, utilizando-se os métodos citados. Nas figuras 5, 6 e 7, apresentam-se as curvas de resposta em malha aberta dos modelos obtidos, bem como, a curva de resposta da planta, para comparação visual. Para quantificação do erro entre as saídas do modelo identificado e do sistema original, utilizou-se o critério do erro médio quadrático normalizado, dado por:

$$\varepsilon_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} y_i^2}} * 100, \qquad (37)$$

sendo:

y_i amostras de saída do sistema original;

$\hat{y}_i$ amostras de saída do modelo identificado;

N quantidade de amostras;

Tabela 1 – *kc=4,0*

	Método Proposto	Método Yuwana
k_p	1,0000	1,0000
τ	1,1894	1,2757
t_o	0,1153	0,2260
ε_m	2,75%	6,65%

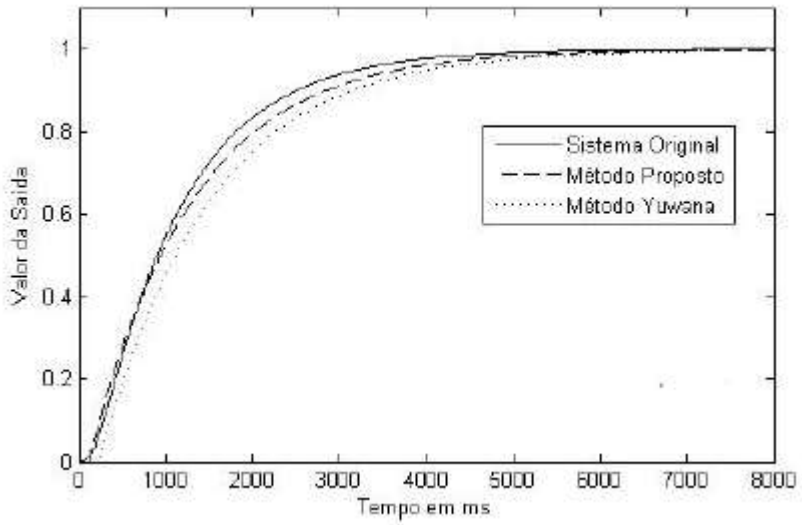


Figura 5 – Resposta em malha aberta da planta *G1(s)* e dos modelos obtidos para *kc=4,0*.

Tabela 2 – *kc=3,5*

	Método Proposto	Método Yuwana
k_p	1,0000	1,0000
τ	1,1612	1,2517
t_o	0,1284	0,2258
ε_m	2,34%	6,15%

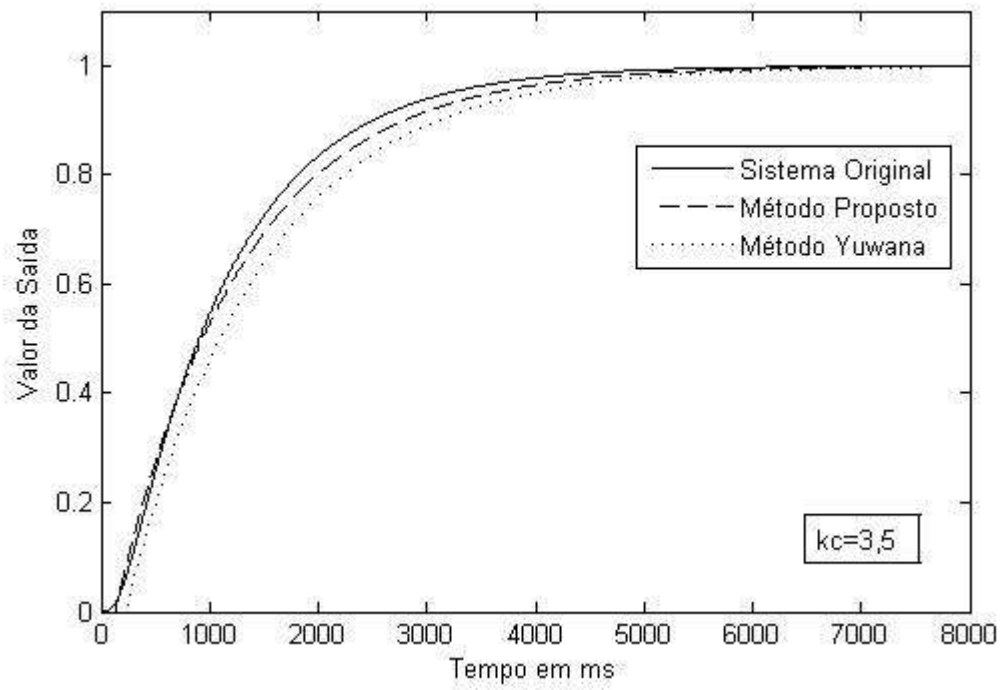


Figura 6 – Resposta em malha aberta da planta *G1(s)* e dos modelos obtidos para *kc=3,5*.

Tabela 3 – *kc=3,0*

	Método Proposto	Método Yuwana
k_p	1,0000	1,0000
τ	1,1325	1,2261
t_o	0,1383	0,2249
ε_m	1,94%	5,75%

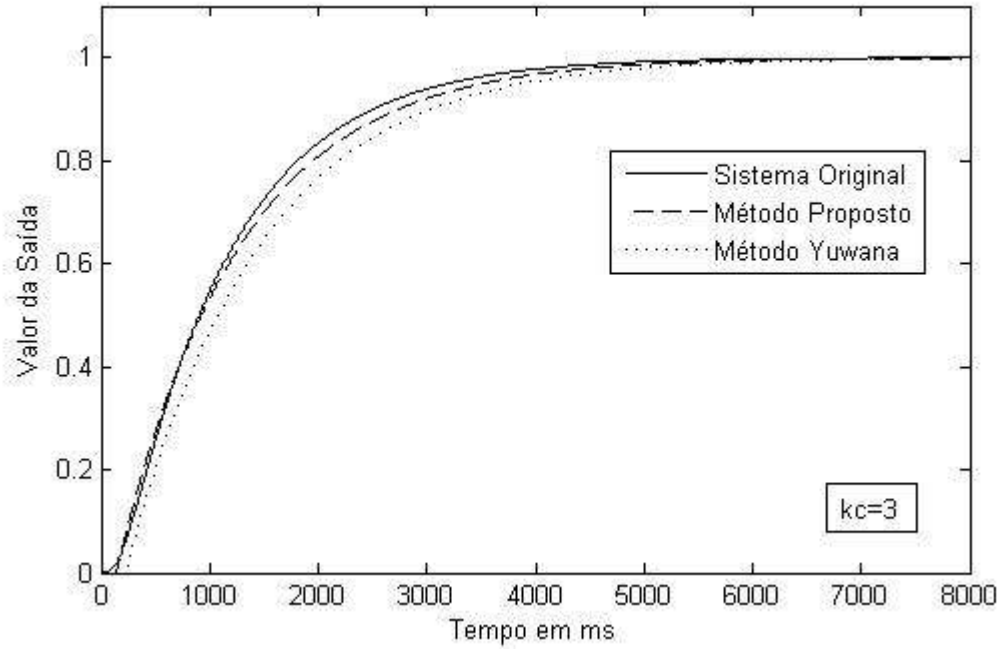


Figura 7 – Resposta em malha aberta da planta *G1(s)* e dos modelos obtidos para *kc=3,0*.

O outro sistema simulado tem a seguinte função de transferência:

$$G_2(s) = \frac{1}{(s+1)(0,2s+1)^2(0,1s+1)^2(0,01s+1)^3}.$$

Analogamente, como foi feito para o primeiro sistema, foram realizadas simulações para três valores diferentes de *kc* e os resultados são mostrados nas tabelas 4, 5 e 6 e nas figuras 8, 9 e 10.

Tabela 4 – *kc=1,2*

	Método Proposto	Método Yuwana
k_p	1,0000	1,0000
τ	1,0265	1,3146
t_o	0,5106	0,6123
ε_m	3,36%	6,08%

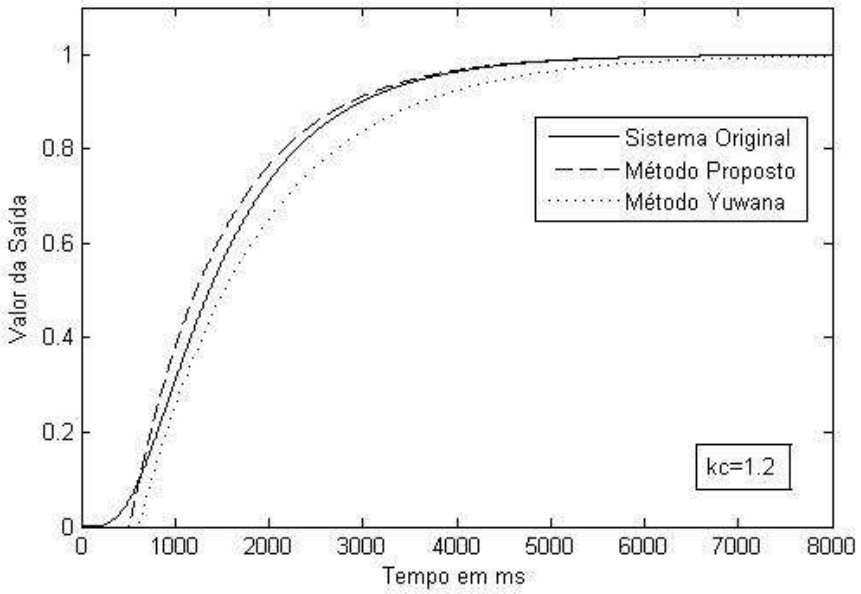


Figura 8 – Resposta em malha aberta da planta *G2(s)* e dos modelos obtidos para *kc=1,2*.

Tabela 5 – *kc=1,1*

	Método Proposto	Método Yuwana
k_p	1,0000	1,0000
τ	1,0265	1,3051
t_o	0,5403	0,6048
ε_m	3,00%	5,79%

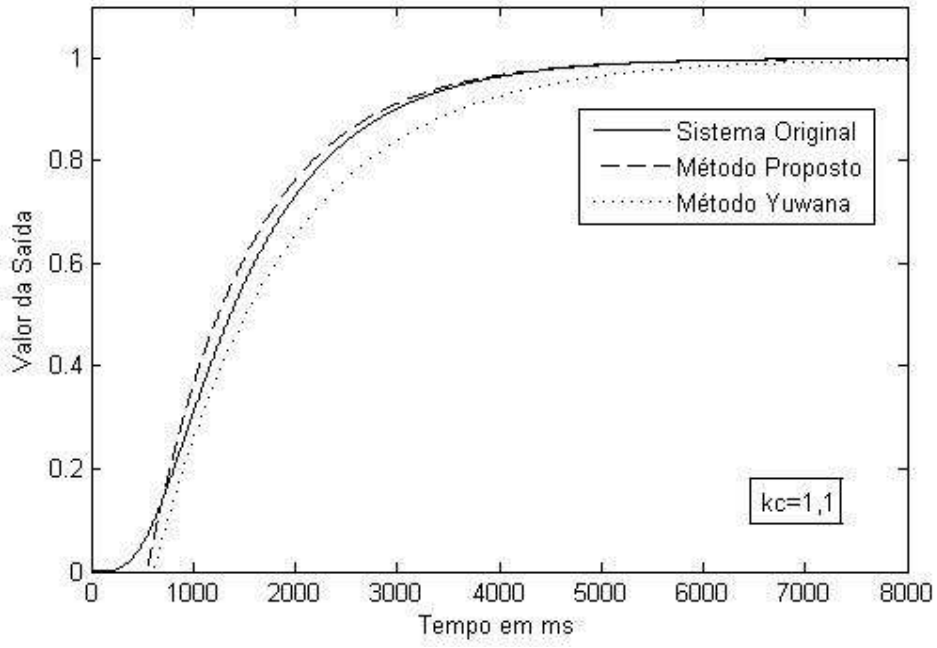


Figura 9 – Resposta em malha aberta da planta *G2(s)* e dos modelos obtidos para *kc=1,1*.

Tabela 6 – *kc=1,0*

	Método Proposto	Método Yuwana
k_p	1,0000	1,0000
τ	0,9977	1,2959
t_o	0,5702	0,5963
ε_m	2,74%	5,44%

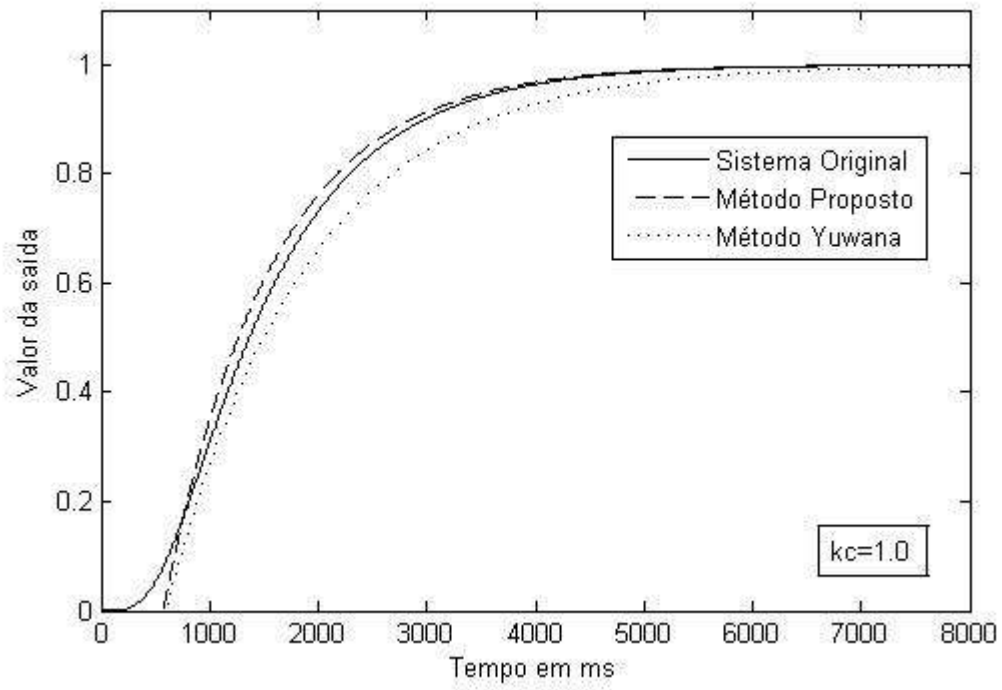


Figura 10 – Resposta em malha aberta da planta *G2(s)* e dos modelos obtidos para *kc=1,0.*

Nestes dois exemplos, verifica-se que o método proposto neste artigo teve melhor desempenho que o método de Yuwana e Seborg (1982).

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A plataforma experimental utilizada para aplicação do método proposto é constituída por uma barra de alumínio, denominada barra dissipadora. Em uma das extremidades da barra instalaram- se dois resistores de porcelana, 20W/22Ω, conectados em paralelo, para dissipar calor e aquecer a barra. O objetivo proposto é controlar a temperatura na extremidade oposta da barra dissipadora, sendo a variável manipulada, a corrente nos resistores. Esta plataforma experimental foi idealizada e construída tendo em vista que, devido à fenomenologia envolvendo a propagação do calor, existe um atraso, o que permite sugerir um modelo dinâmico conforme a equação (1).

A comunicação, medição e condicionamento dos sinais são realizados utilizando-se uma placa de aquisição de dados composta por: um microcontrolador PIC18F2550; um conversor digital analógico; um conversor tensão-corrente; um sensor de temperatura LM35 e um amplificador, conforme fluxograma da figura 11. No computador, processou-se o algoritmo do controlador, operando somente no modo proporcional.

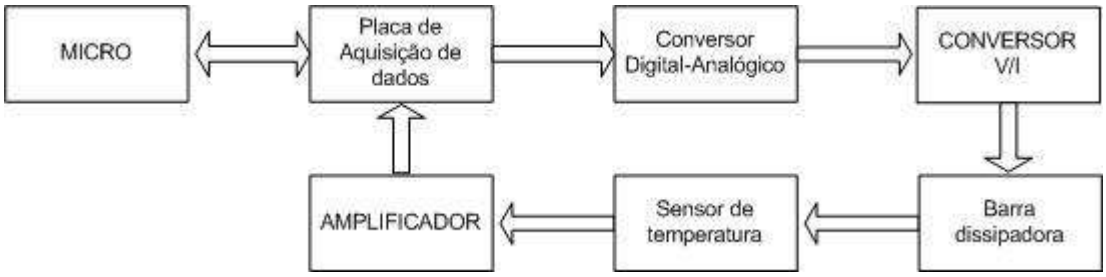


Figura 11. Fluxograma da plataforma experimental.

Uma foto da plataforma experimental é mostrada na figura 12.

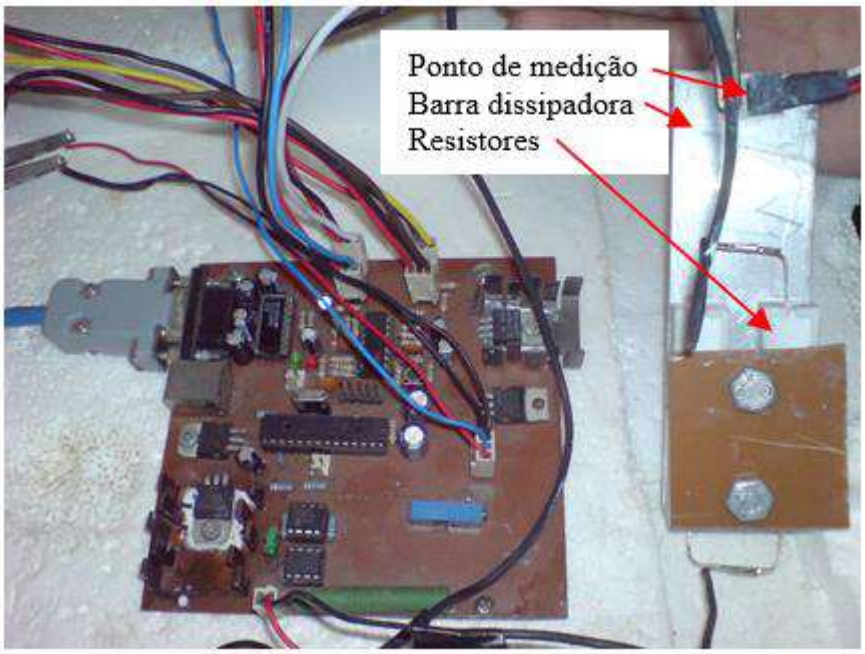


Figura 12 – Plataforma experimental

Com o sistema em malha fechada, ajustou-se o valor de *kc* de forma que o segundo pico de oscilação fosse observável. Neste caso, o valor de *kc* ajustado foi de 0,32. A resposta obtida é apresentada na figura 13. Devido às características do sistema térmico, o primeiro pico foi muito acentuado, enquanto as demais oscilações foram bastante amortecidas.

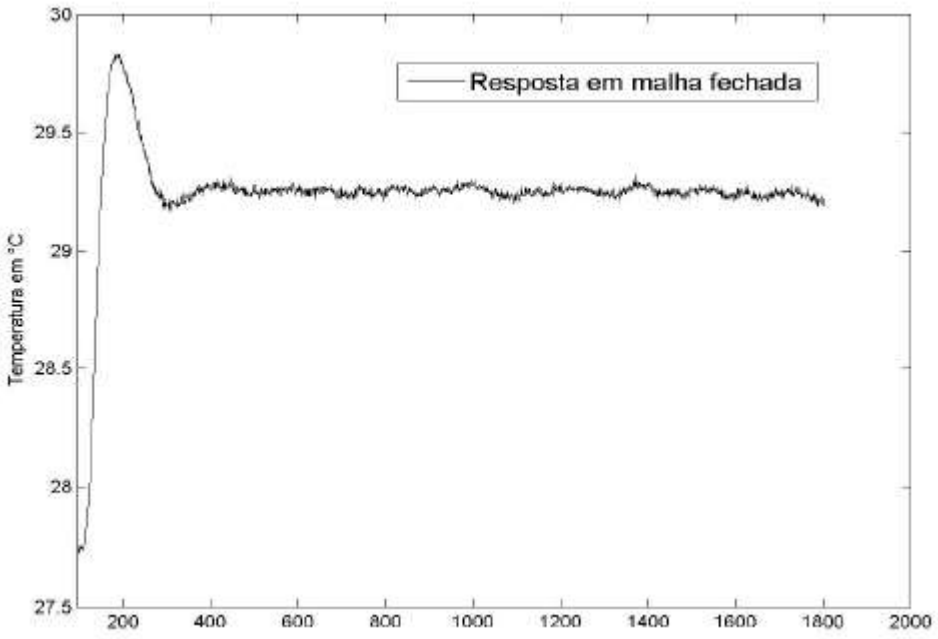


Figura 13 – Curva de resposta do experimento.

Os valores obtidos foram os seguintes: *y(0)*=27,74°C; *y(∞)*=29,25°C; *ts*=49s; *tp1*=85s; y_{p1}=29,83°C; t_{p2}=320s; *yp2*=29,28°C; *Δt*=136s; *ym* =29,2ºC. Deve-se observar que a mudança na referência ocorreu no instante *t* =100s e os valores de tempo acima já estão diminuídos de 100. Com estes valores obtiveram-se os modelos utilizando-se o método proposto e o método de Yuwana e Seborg. Aplicou-se um degrau na planta e nos modelos identificados para se comparar os resultados. As curvas obtidas são apresentadas no gráfico da figura 14. Na tabela 7 apresentam-se os valores encontrados para os respectivos modelos, bem como o erro médio quadrático normalizado.

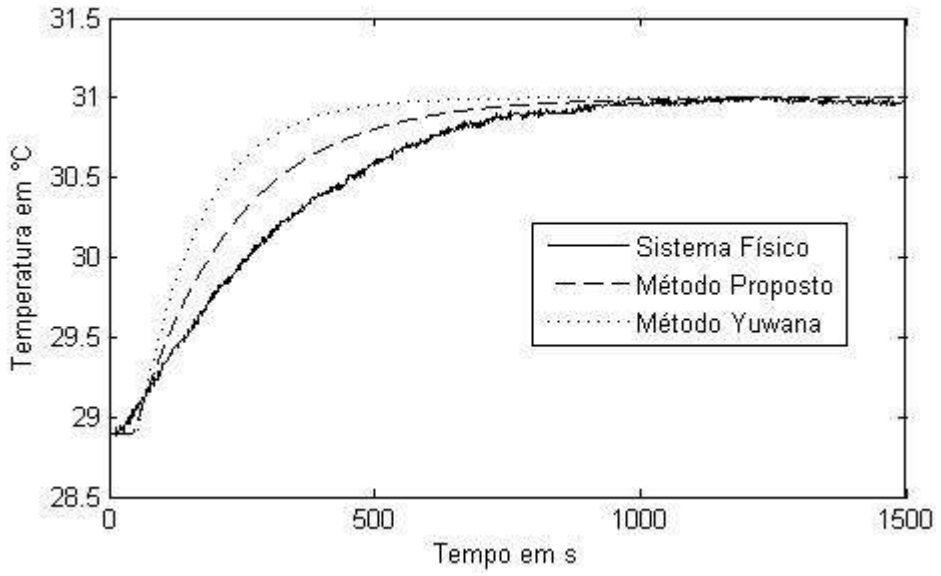


Figura 14 – Resposta em malha aberta da planta experimental e dos modelos identificados.

Tabela 7

	Método Proposto	Método Yuwana
k_p	21,02	21,02
τ	384,4	235,4
t_o	92	108
ε_m	8,76%	16,92%

Neste exemplo, o sobressinal máximo, S_m, foi de 38%, fora da faixa em que os algoritmos têm melhor desempenho. Como foi dito, devido às características do sistema térmico, não foi possível se obter um S_m menor de forma que o segundo pico fosse ainda observável.

6. CONCLUSÃO

Neste artigo foi desenvolvida uma nova abordagem de identificação em malha fechada, utilizando a resposta ao degrau, a qual considera a influência do *"zero de Padé"* no cálculo dos parâmetros temporais. O método é mais eficaz quando aplicado a situações em que o sistema exibe uma resposta sub-amortecida em malha fechada, com sobre-sinal máximo na faixa entre 5% e 15%. Os resultados obtidos, tanto os simulados como os experimentais, evidenciaram um bom desempenho do método proposto. Observa-se que este método apresentou melhores resultados do que o método de Yuwana e Seborg. Convém salientar que este último é um método consagrado na literatura. Finalmente, é importante enfatizar que, quanto melhor o modelo, mais robustos serão os controladores projetados.

REFERÊNCIAS

Acioli Jr, G. & Barros, P. R. (2008). Identificação de Sistemas com Atraso em Malha Fechada Utilizando Excitação Composta. CBA 2008, Juiz de Fora MG, Brasil.

Aguirre, L. A. (2004). Introdução à Identificação de Sistemas. UFMG.

Chen, C. L. (1989). A Simple Method for On-line Identification and Controller Tuning. AIChE J., 35 (12), pp. 2037-2039.

Chen, C.T. (1993). Analog & Digital Control System Design. Saunders College Publishing.

Coelho, F. S. & Barros, P. R. (2003). Continuous-time Identification of First-order Plus Dead- time Models from Step Response in Closed Loop. 13th IFAC Symposium on System Identification, Rotterdam (The Netherlands).

den Hof, P. M. J. V. & Schrama, R. J. P. (1998). Closed Loop Issues in System Identification. Annual Reviews in Control 22: 173-186.

Fernandes Jr, R. F. & Brandão, D. (2008). Método de Identificação On-line de Plantas Industriais com Controladores PI em Malha Fechada. VII Conferência Internacional de Aplicações

Industriais. Poços de Caldas MG, Brasil.

Franklin, G., Powell, J. D. & Emami-Naeini, A. (1994). Feedback Control of Dynamic Systems.

Addison Wesley.

Hjalmarsson, H. (2005). From Experiment Design to Closed-loop. Automática, No. 41; pp. 393-438.

Jutan, A. & Rodriguez, E. S. (1984). Extension of a New Method for On-line Controller Tuning.

Can. J. Chem. Eng. No. 62; pp. 802-807.

Lee, J. (1989). On-line PID Controller Tuning from a Single Closed-loop Test. AIChE J. No. 35 (2), pp. 329-331.

Ljung, L. (1999). System Identification – Theory for the User. Prentice Hall, Englewood.

Mamat, R. & Fleming, P. J. (1995) Method for On-line Identification Plus Dead-time Process Model. IEE ELECTRONICS LETTERS, 20th July 1995, Vol. 31, No. 15, pp. 1297 – 1298.

Yuwana, M. & Seborg, D. E. (1982). A New Method for On-line Controller Tuning. AIChE J. No. 28 (3), pp. 434-440.

Wang, Q., Zhang, Y. & Guo, X. (2001). Robust Closed-loop Identification with Application to Auto-tuning. Journal Process Control, No. 11, pp. 519-530.

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME IX

conhecimentolivre.org/home
contato@conhecimentolivre.org
editoraconhecimentolivre



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE