

Regina Negri Pagani  
(Organizadora)

# Cidades Inteligentes

*e Práticas Sustentáveis*

Vol. 2

---



**AYA EDITORA**

**2025**

# Cidades Inteligentes

*e Práticas Sustentáveis*

Vol. 2

---

Regina Negri Pagani  
(Organizadora)

# Cidades Inteligentes

*e Práticas Sustentáveis*

Vol. 2

---

## **Direção Editorial**

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## **Organizadora**

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

## **Capa**

AYA Editora©

## **Revisão**

Os Autores

## **Executiva de Negócios**

Ana Lucia Ribeiro Soares

## **Produção Editorial**

AYA Editora©

## **Imagens de Capa**

br.freepik.com

## **Área do Conhecimento**

Engenharias

## **Conselho Editorial**

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva (UNIDAVI)

Prof.ª Dr.ª Adriana Almeida Lima (UEA)

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza (UCPEL)

Prof.º Dr. Alaerte Antonio Martelli Contini (UFGD)

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos (IFAP)

Prof.º Dr. Carlos Eduardo Ferreira Costa (UNITINS)

Prof.º Dr. Carlos López Noriega (USP)

Prof.ª Dr.ª Claudia Flores Rodrigues (PUCRS)

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chirolí (UTFPR)

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota (IFPI)

Prof.ª Dr.ª Déa Nunes Fernandes (IFMA)

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis (UEMG)

Prof.º Dr. Denison Melo de Aguiar (UEA)

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos (UNIFAP)

Prof.º Dr. Gilberto Zammar (UTFPR)

Prof.º Dr. Gustavo de Souza Preussler (UFGD)

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota (IF Baiano)

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza (UFS)

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso (UNISC)

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão (UFPE)

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR)

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior (UFRR)

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra (IFCE)

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho (UFRPE)

Prof.ª Dr.ª Marcia Cristina Nery da Fonseca Rocha Medina (UEA)

Prof.ª Dr.ª Maria Gardênia Sousa Batista (UESPI)

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes (UTFPR)  
Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda (UEPG)  
Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes (UFRA)  
Prof.º Dr. Raimundo Santos de Castro (IFMA)  
Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani (UTFPR)  
Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira (IFAC)  
Prof.º Dr. Rômulo Damasclín Chaves dos Santos (ITA)  
Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia (UTFPR)  
Prof.ª Dr.ª Tânia do Carmo (UFPR)  
Prof.º Dr. Ygor Felipe Távora da Silva (UEA)

## **Conselho Científico**

Prof.º Me. Abraão Lucas Ferreira Guimarães (CIESA)  
Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz (UniCesumar)  
Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva (UFRGS)  
Prof.ª Ma. Denise Pereira (FASU)  
Prof.º Dr. Diogo Luiz Cordeiro Rodrigues (UFPR)  
Prof.º Me. Ednan Galvão Santos (IF Baiano)  
Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig (UFPR)  
Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva (HONPAR)  
Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti (UFPR)  
Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Lucimara Glap (FCSA)  
Prof.ª Dr.ª Maria Auxiliadora de Souza Ruiz (UNIDA)  
Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa (UniOPET)  
Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail (CESCAGE)  
Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens (FASF)  
Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares (UFPI)  
Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros Rodrigues (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda Santos (UTFPR)  
Prof.ª Dr.ª Tássia Patricia Silva do Nascimento (UEA)  
Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues (IFSC)

## © 2025 - AYA Editora

O conteúdo deste livro foi enviado pelos autores para publicação em acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Estes detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, que reflete única e inteiramente sua perspectiva e interpretação pessoal.

É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se aos serviços de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou as opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

---

C5689 Cidades inteligentes e práticas sustentáveis[recurso eletrônico]. / Regina Negri Pagani (organizadora) -- Ponta Grossa: Aya, 2025. 171 p.

v.2

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-763-5

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450

1. Cidades inteligentes. 2. Inovações tecnológicas. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Robótica. 5. Ecologia urbana (Sociologia) – Brasil. 6. Urbanização - Brasil. 7. Cidades inteligentes. 8. Cidades e vilas - Inovações tecnológicas. 9. Conservação da natureza – Amazônia. 10. Amazônia - Condições ambientais. I. Pagani, Regina Negri.. II. Título

CDD: 307.76

---

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

---

## **International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA AYA Editora©**

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

# SUMÁRIO

**Apresentação.....11**

## 01

**Os Desafios da Integração da Tecnologia 5G no Brasil:  
Impactos e Perspectivas Diante do Setor Elétrico.....12**

Eduardo Freire da Cruz

Gabriel Henrique Grala

Emanuel Vedovetto Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.1

## 02

**Avaliação da Implantação de Energia Fotovoltaica  
em Residências .....28**

Luciano Souza de Souza

Douglas Lima Ramiro

Jadson Justi

Tatiele Martins Amaral

Kaio Gabriel Mistieri Valentim

Jamson Justi

Edrilene Barbosa Lima Justi

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.2

# 03

## **A Importância da Geração Distribuída para o Brasil.... .....46**

Douglas Lima Ramiro  
Luciano Souza de Souza  
Jadson Justi  
Mateus Souza Gonçalves  
Jamson Justi  
Edrilene Barbosa Lima Justi  
Hildete Xavier de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.3

# 04

## **Modelagem da Cinemática Direta de Robô com Quatro Graus de Liberdade e Simulação no Software MATLAB® via Robotics Toolbox.....65**

Flavia Macedo Pontim  
João Matheus Simm de Oliveira  
Flávio Luiz Rossini

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.4

# 05

## **A Estagnação do Desenvolvimento Urbano nas Cidades Baianas no Segundo Milênio: Exclusão Socioespacial e a Urgência de uma Justiça Urbana Sustentável.....79**

Guilherme Almeida Santana Bispo

Lucas Evangelista de Menezes  
Yuri dos Santos Santana  
Robson Amparo de Carvalho

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.5

# 06

## **Direito à Cidade Sustentável: O Papel dos Municípios Baianos na Efetivação do Planejamento Urbano**

**Participativo .....97**

Guilherme Almeida Santana Bispo  
Lucas Evangelista de Menezes  
Yuri dos Santos Santana  
Robson Amparo de Carvalho

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.6

# 07

## **Cidades Inteligentes e Inclusão Social: A Efetivação de Direitos Fundamentais por Meio da Acessibilidade Urbana ..... 112**

Guilherme Almeida Santana Bispo  
Lucas Evangelista de Menezes  
Yuri dos Santos Santana  
Robson Amparo de Carvalho

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.7

# 08

## **Patologias em Estruturas de Concreto Armado Mediadas por Corrosão Microbiana.....127**

Itamar Victor de Lima Costa  
Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Galba Maria de Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.8

# 09

## **Caracterização Química e Física de Argissolos Amarelos em Diferentes Ecossistemas na Amazônia ... .....147**

Diego Lima de Souza Cruz  
Anna Bárbara de Souza Cruz  
José Frutuoso do Vale Júnior

DOI: 10.47573/aya.5379.2.450.9

**Organizadora.....165**

**Índice Remissivo.....166**

# APRESENTAÇÃO

A coletânea apresentada em “Cidades Inteligentes e Práticas Sustentáveis – Vol. 2” propõe um diálogo entre tecnologia, urbanismo e sustentabilidade a partir de abordagens interdisciplinares. Os estudos reunidos neste volume investigam como inovações tecnológicas, políticas públicas e práticas sociais se entrelaçam na busca por ambientes urbanos mais funcionais, inclusivos e ambientalmente responsáveis.

O livro se inicia com discussões voltadas à transformação da matriz energética nacional, com ênfase na incorporação da tecnologia 5G e sua relação com o setor elétrico, bem como na análise da geração fotovoltaica e da geração distribuída em contextos residenciais. Esses estudos exploram as possibilidades e limitações da modernização da infraestrutura energética, considerando os desafios regulatórios, econômicos e ambientais.

Na sequência, são apresentados trabalhos que tratam da aplicação tecnológica em cenários urbanos, com destaque para a modelagem robótica e sua simulação computacional. Essa perspectiva evidencia a importância da automação e da inteligência artificial no planejamento de cidades mais eficientes, integrando ferramentas digitais a soluções práticas para a organização do espaço urbano.

As questões sociais e territoriais emergem com força em análises sobre o desenvolvimento urbano desigual em cidades baianas, ressaltando processos de exclusão e a urgência de planejamento participativo. A atuação dos municípios nesse contexto é examinada sob o prisma do direito à cidade, reforçando a necessidade de instrumentos democráticos para a construção de territórios mais equitativos.

Por fim, o livro incorpora reflexões sobre acessibilidade urbana como componente estruturante de cidades inteligentes, abordando a efetivação de direitos fundamentais. Complementando essa abordagem, são discutidas as patologias em estruturas urbanas de concreto e a caracterização de solos amazônicos, conectando aspectos técnicos e ambientais a um modelo de desenvolvimento urbano comprometido com a longevidade, a inclusão e a preservação dos ecossistemas.

Boa leitura!



# Os Desafios da Integração da Tecnologia 5G no Brasil: Impactos e Perspectivas Diante do Setor Elétrico

## *The Challenges of 5G Technology Integration in Brazil: Impacts and Perspectives for the Electric Power Sector*

**Eduardo Freire da Cruz**

*Engenheiro Eletricista, Universidade Paranaense – Unipar*

**Gabriel Henrique Grala**

*Engenheiro Eletricista, Universidade Estadual de Maringá – UEM*

**Emanuel Vedovetto Santos**

*Engenheiro Eletricista, Universidade Estadual de Maringá – UEM*

**Resumo:** Com o passar do tempo, as tecnologias têm se desenvolvido de forma exponencial. A cada momento, surgem novos avanços tecnológicos, tornando outros, obsoletos. Em 2024, o Brasil está vivenciando a expansão da tecnologia de quinta geração de telefonia móvel (5G), uma revolução no mercado tecnológico imprescindível para o setor da Indústria 4.0, que depende de velocidade, segurança e baixa latência. A tecnologia 5G se desenvolveu ao longo de 40 anos, evoluindo desde o FDMA (Frequency Division Multiple Access) até se tornar o que conhecemos hoje. Contudo, com o avanço tecnológico, o consumo de energia elétrica aumentou, o que pode gerar um impacto significativo no setor elétrico. Isso ocorre porque o 5G opera em frequências mais altas, reduzindo seu alcance e exigindo a instalação de mais aparelhos próximos uns aos outros, elevando ainda mais o consumo de energia. Este trabalho, pautado na pesquisa bibliográfica, visa examinar o 5G, buscando avaliar a implantação dessa tecnologia no mercado nacional, seu uso na Indústria 4.0 e se o sistema energético atual suportará o aumento de consumo gerado pelos equipamentos necessários para fornecer o sinal de 5G. Através do estudo de artigos científicos, revistas eletrônicas, manuais de equipamentos e sites relacionados aos temas de energia elétrica e tecnologia no campo da telefonia móvel, os achados demonstram a preocupação dos fabricantes de equipamentos em relação aos elevados gastos energéticos, buscando aprimorar as tecnologias para que o consumo seja reduzido. Porém, isso não será suficiente, visto que o consumo continua elevado, por isso as empresas de telefonia buscaram outras formas para pensar os gastos.

**Palavras-chave:** 5G; indústria 4.0; setor elétrico.

**Abstract:** Over time, technologies have developed exponentially. New technological advances constantly emerge, rendering previous ones obsolete. In 2024, Brazil is experiencing the expansion of fifth-generation mobile technology (5G), a revolution in the technology market that is essential for the Industry 4.0 sector, which relies on speed, security, and low latency. The 5G technology has developed over a span of 40 years, evolving from FDMA (Frequency Division Multiple Access) to what we know today. However, alongside technological advancements, electricity consumption has increased, potentially causing a significant impact on the electric power sector. This is because 5G operates at higher frequencies, reducing its range and requiring the installation of more devices in closer proximity, further increasing energy consumption. This study, based on bibliographic research, aims to examine 5G technology by assessing its implementation in the national market, its application in Industry 4.0, and whether the current energy system can support the increased consumption generated by the

equipment necessary to provide 5G signals. Through the study of scientific articles, electronic journals, equipment manuals, and websites related to the fields of electric energy and mobile telephony technology, the findings highlight manufacturers' concerns regarding high energy expenditures and their efforts to improve technologies in order to reduce consumption. Nevertheless, such measures are insufficient, as energy consumption remains high; therefore, telecommunications companies are seeking alternative ways to offset these costs.

**Keywords:** 5G; Industry 4.0; electric power sector.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil está em fase de implantação e desenvolvimento da tecnologia 5G, iniciada em 6 de julho de 2022. Essa inovação se caracteriza por uma alta velocidade de transmissão de dados, superando a marca de 1 Gb/s, e apresenta avanços significativos em segurança, com base na arquitetura SBA do 3GPP, além de baixa latência, permitindo a conectividade de uma vasta gama de dispositivos, tanto no ambiente doméstico quanto corporativo, e no setor elétrico (Anatel, 2024).

No contexto doméstico, diversos dispositivos já se conectam ou se conectarão à internet por meio do 5G. A Internet das Coisas (*Internet of Things*), que envolve objetos físicos capazes de coletar e transmitir dados por meio de tecnologias de computação de baixo custo, está em ascensão. Essas informações podem ser armazenadas em servidores de nuvem, gerando grandes volumes de dados, conhecidos como big data, que podem ser analisados para diversas finalidades. Muitos desses dispositivos dependem exclusivamente da tecnologia móvel, como celulares, para obterem melhor desempenho, o que torna o 5G essencial devido à sua alta capacidade de tráfego e baixa latência, fatores críticos, por exemplo, para o funcionamento de carros autônomos. No campo da IoT, equipamentos residenciais como televisores, geladeiras, climatizadores, sistemas de automação de iluminação e portões eletrônicos estão se tornando cada vez mais populares, permitindo que sejam controlados à distância (Oracle, 2024).

No mundo corporativo, a implementação do 5G traz impactos positivos, especialmente na crescente demanda por agilidade e automação. A tecnologia possibilita, por exemplo, que reuniões ocorram em qualquer lugar com cobertura 5G, dispensando a necessidade de redes fixas e oferecendo estabilidade e qualidade na transmissão. Outro avanço significativo ocorre na automação agrícola, com o uso remoto de tratores, colheitadeiras e drones, que não necessitam de operadores físicos, sendo controlados à distância por meio de instruções enviadas por uma rede estável (Spadinger, 2021).

No entanto, a adoção do 5G também traz desafios, especialmente no setor elétrico. O consumo de energia nas estações de rádio frequência é uma preocupação crescente, já que a tecnologia 5G utiliza frequências mais altas, o que limita o alcance do sinal em comparação com tecnologias anteriores, como GSM, UMTS e LTE. Para garantir uma cobertura satisfatória, é necessário instalar um maior número de estações próximas umas das outras, o que inevitavelmente eleva a demanda por energia elétrica para sustentar essa infraestrutura (Aranda, 2020).

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral

Analisar os benefícios e os desafios da tecnologia 5G no mercado atual, com ênfase no setor elétrico e na integração com a Internet das Coisas (*IoT*) na Indústria 4.0.”

### Objetivos Específicos

- a) analisar a situação atual do mercado do 5G no Brasil.
- b) compreender o uso da tecnologia 5G voltada para a indústria 4.0.
- c) investigar os impactos e desafios da implementação do 5G diante do setor elétrico brasileiro.

## JUSTIFICATIVA

Este estudo tem como objetivo analisar a implementação da tecnologia 5G, com ênfase nos impactos e desafios associados à sua adoção, considerando sua crescente importância para a conectividade de novos dispositivos eletrônicos e industriais na era da Indústria 4.0. A revolução tecnológica promovida pela 5G é essencial para a evolução da automação, da Internet das Coisas (*IoT*) e de outras inovações que demandam alta capacidade de transmissão de dados e baixa latência. Entretanto, a expansão dessa tecnologia gera preocupações sobre a capacidade do sistema energético atual em suportar o aumento substancial no consumo de energia exigido pelas infraestruturas que viabilizam a rede 5G. Assim, este trabalho busca avaliar se o sistema elétrico brasileiro está preparado para enfrentar esse desafio, ao mesmo tempo em que considera os benefícios econômicos e sociais da transição para uma sociedade mais conectada e automatizada.

## HIPÓTESE

A tecnologia 5G representa uma rede de telefonia móvel avançada, capaz de oferecer altas taxas de transmissão de dados, suportando simultaneamente diversos dispositivos conectados com velocidade e estabilidade excepcionais. No entanto, é crucial analisar os impactos dessa tecnologia, especialmente no que tange ao consumo de energia, uma vez que sua implementação exige a instalação de múltiplos pontos de distribuição de energia. Isso pode resultar em uma sobrecarga no sistema elétrico, exigindo adaptações no setor para atender à demanda crescente de energia necessária para sustentar essa infraestrutura.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA/DESENVOLVIMENTO

### Evolução da Tecnologia Móvel

A quinta geração de rede móvel, conhecida popularmente como 5G, tem sido um tópico de grande interesse e expectativa por possuir altas velocidades e baixa latência. Porém, essa tecnologia vem se desenvolvendo ao longo do tempo conforme os equipamentos eletrônicos evoluem, em especial os aparelhos celulares, e a rede móvel acompanha seu desenvolvimento (Spadinger, 2021).

Observando a figura 1, observa-se a evolução das primeiras redes de dados, começando pela FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), popularmente conhecida como 1G, que surgiu em meados da década de 1980. Essa transmissão era analógica e transmitia apenas voz, utilizando apenas um canal dedicado; nesse sentido, cada canal ficava ocupado durante toda a ligação. (Faruque, 2019) Em 1990, surge a segunda geração, conhecida como GSM (*Global System for Mobile Communications*), tendo uma melhora significativa em relação à sua antecessora. Nesta tecnologia, as frequências de 200 KHz são divididas, podendo comportar até oito clientes em slots de tempo para cada canal (Rappaport, 2009).

Nos anos 2000, a rede de dados continua a se desenvolver e ficar mais robusta. Nesse momento, é possível trabalhar em faixas de frequências de 900, 1800 e 1900 MHz, e ganha o incremento do serviço de rádio de pacote geral (GPRS), que permite o envio de mensagens de texto (Rappaport, 2009).

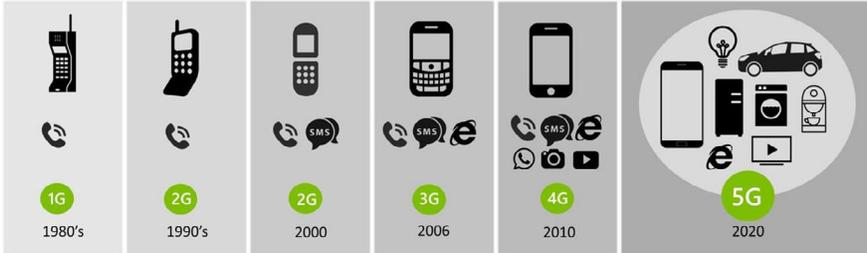
Seis anos mais tarde, começa a ser implantada uma nova evolução da tecnologia móvel, que seria conhecida como 3G (*Universal Mobile Telecommunications Service*), com frequências mais altas, como as de 2000 MHz, tendo como características taxas de 144 Kbps a 2 Mbps, permitindo vários serviços simultâneos e serviços de multimídia (Rappaport, 2009).

Em 2010, com a necessidade de se obter maiores taxas de transmissão de dados, começa a ser implantada uma nova evolução da tecnologia, conhecida como 4G (Long Term Evolution), com frequências de 450 MHz, 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz, dentre outras, podendo atingir velocidades de até 100 Mbps de download (Godinho, 2018).

E por fim, chegamos à rede de quinta geração móvel, conhecida como 5G, com frequências de 1 GHz até 100 GHz, podendo atingir taxas de velocidades de até 10 Gbps para downloads (Spadinger, 2021). Ela possui os padrões desenvolvidos pelo 3GPP, que são estruturados em Releases. Eles estabelecem especificações técnicas e relatórios técnicos. Em 2020, foi divulgado um cronograma para o processo de especificação do Release 17. Os seguintes tópicos foram priorizados: new radio Multiple Input Multiple Output (NR MIMO), Dynamic Spectrum Sharing (DSS) aprimoramentos, Operational Technology (oT) e Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC) aprimoramentos, new radio (NR) posicionamento avançado, dispositivos NR de baixa complexidade, baixo consumo, melhorias na cobertura NR, 5G Multicast radiodifusão, o Radio Access Network (RAN) RAM Slicing, apri-

ramentos de redes privadas, automação da rede 5G fase 2, Edge Computing no 5G Core (5GC), Slicing de rede fase 2, serviços interativos avançados, convergência de 5G sem fio e com fio, e serviços 5G tipo local area network (LAN) (Anatel, 2024).

**Figura 1 - Evolução da conexão móvel.**



**Fonte: Melhor Escolha, 2024.**

### Situação Atual do Mercado do 5G no Brasil

Em 2024, a situação sobre a tecnologia 5G no Brasil foi retratada pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). Como pode ser observado na figura 2, três empresas estão à frente da disponibilização dessa tecnologia: Tim, Claro e Telefônica - Vivo, totalizando ao todo 293 entregas em capitais ou sedes de municípios (Anatel, 2024).

**Figura 2 - Disponibilização da tecnologia.**

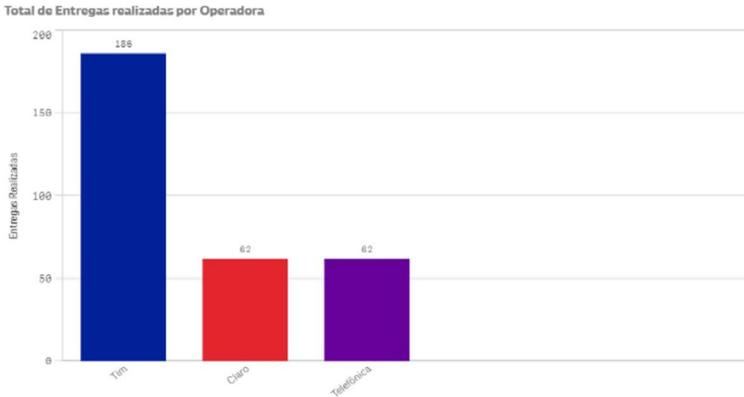


**Fonte: ANATEL, 2024.**

Os serviços de telefonia são prestados por empresas privadas, que têm, em geral, a liberdade de escolha de onde ofertar o serviço. No entanto, as frequências para operar os sinais de telefonia móvel são controladas pela Anatel, que por sua vez detém o controle delas. Para evitar interferências, a agência realiza leilões de faixas de radiofrequências, possibilitando o uso exclusivo destas por operadoras de telefonia por tempo determinado.

No ano de 2021, foi realizado o maior leilão de radiofrequência, onde foram licitadas quatro faixas: 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz. Cada faixa de radiofrequência licitada gerou uma série de compromissos de ampliação do acesso e investimentos com o aumento gradativo de estações de transmissão (Anatel, 2024).

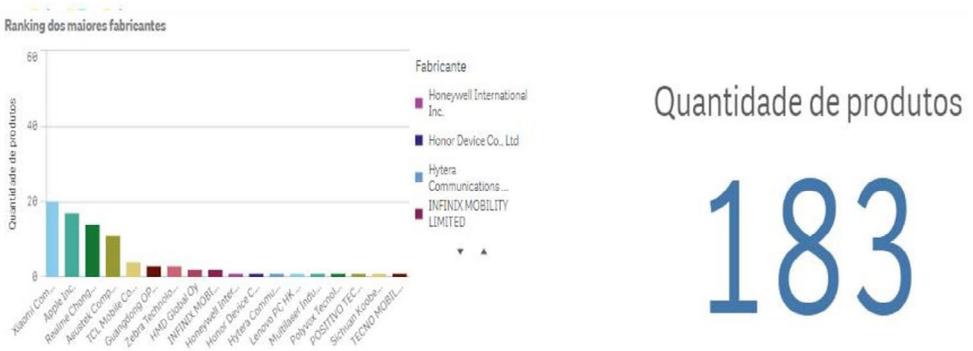
**Figura 3 - Representação gráfica das entregas de sinal, realizada por cada empresa.**



Fonte: ANATEL, 2024.

Segundo a Agência Nacional de Telecomunicações, foram registrados cerca de 183 aparelhos celulares até o ano de 2024, conforme mostra a figura 4. Esses registros se tornam importantes para o usuário que pretende adquirir um aparelho que possua compatibilidade com a rede 5G, dessa forma ele poderá usufruir de toda a comodidade que essa tecnologia traz (Anatel, 2024).

**Figura 4 - Representação gráfica dos aparelhos registrados até o ano de 2024.**



Fonte: ANATEL, 2024.

## Uso da Tecnologia 5G Voltada para a Indústria 4.0

Com os avanços tecnológicos, as indústrias também evoluíram, em busca de maior agilidade para o desenvolvimento de seus produtos e acompanhar a demanda imposta pelo mercado. Nesse sentido, o uso da automação ganhou seu espaço, reduzindo a mão de obra humana em certos setores. Esse aparato de equipamentos empregados gerou uma necessidade de armazenamento de dados e de controlar remotamente as estações de trabalho. Para facilitar o acesso remoto

a essas informações, os dados começaram a ser armazenados em servidores ao redor do mundo. Esse conceito, conhecido como (*cloud computing*) ou computação em nuvem, faz com que o usuário consiga acessar, armazenar dados e controlar estações remotamente de qualquer parte no mundo que tenha acesso à internet (Sátyro, 2018).

Nesse sentido, a indústria 4.0 não é apenas um conjunto de tecnologias emergentes, mas sim a transição de infraestrutura tecnológica da revolução anterior. Essa transição representa o uso da Internet das Coisas (*Internet of Things*), como inteligência artificial, robótica e computação em nuvem, sendo aprimorados com o uso do 5G. Com maior capacidade de transporte de dados, esta diminuição do tempo se torna vital para a indústria, agilizando a sua produção (Andrade, 2021).

As fábricas inteligentes que possuem tecnologias da indústria 4.0 implantadas junto com o 5G tiveram um aumento significativo na sua produção, que caracteriza cerca de 25%, segundo Kuck (2024).

Transporte e logística são citados por Mechaileh (2022), que afirma: “A tecnologia 5G cria uma nova estrutura de comunicações privadas para a vertical de transporte e logística, fornecendo rastreamento em tempo real e visibilidade aprimorada de todos os ativos, estoques de carga e pacotes na rede”. Nesse caso, seria empregado o uso de sensores que seriam captados pela rede de dados 5G, fornecendo rastreamento em tempo real. Também poderia ser possível o uso de veículos autônomos usando o mesmo segmento, conforme mostra a figura 5 abaixo algumas aplicações.

**Figura 5 - Tabela descritiva de algumas aplicações do 5G.**

Tecnologia	Aplicação	Descrição
Sensoriamento do chão de fábrica	Rastreamento de ativos	Indica a localização de máquinas e equipamentos, auxiliando em processos de mudança ou perdas de materiais.
Sensoriamento de máquinas e equipamentos	Gerenciamento de gasto energético	Coleta e análise de dados sobre o gasto energético dos ativos industriais, com o objetivo de identificar desperdícios e aumentar a eficiência do uso de recursos. Também pode ser usado para monitorar os gastos de luz, calor e ventilação da própria fábrica.
	Conexão de ativos industriais	Gera informações sobre a performance, tempo de uso e produtividade dos ativos industriais de modo a dar suporte à tomada de decisão e evitar paralisações inesperadas da produção (conceito de manutenção preditiva).
	Rastreabilidade de ponta a ponta	Possibilita o controle sobre a origem de cada componente fabril – que costumam vir de variados fornecedores –, assim como sua trajetória na cadeia produtiva. Uma base de dados abrangente, que combina o rastreamento dos ativos com informações de fornecedores, pode diminuir os riscos da produção, melhorar o controle de qualidade e facilitar a conformidade com exigências regulatórias.

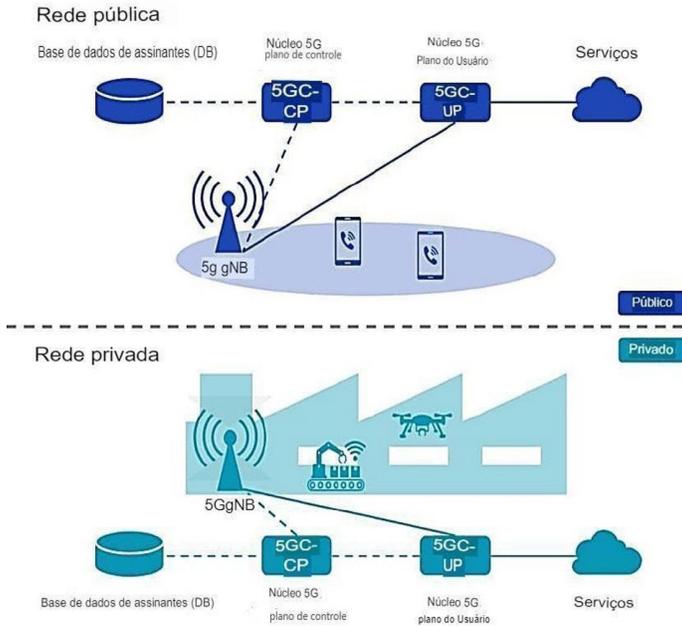
**Fonte: Andrade, 2024.**

Como a conectividade está sendo indispensável para o controle autônomo nas indústrias, existe a possibilidade da instalação de redes 5G privadas para atender essa necessidade. Assim, essas redes instaladas dentro das empresas entregarão todas as vantagens da rede 5G pública, como: velocidade, latência ultrabaixa, segurança e autonomia (Mechaileh, 2022).

Dessa forma, o usuário precisará instalar uma rede de forma privada, podendo optar por três maneiras que são:

- Rede privada independente: não dependendo de redes móveis públicas.
- Rede RAN compartilhada: conhecida como híbrida, onde trabalha juntamente com as redes públicas, porém estabelece serviços independentes dentro da empresa.
- Fatiamento de rede: baseada na utilização de partes virtuais separadas da rede pública de uso privado, essa fatia de rede é personalizada e isolada para uso privado.

**Figura 6 adaptada - Redes privadas.**



**Fonte: Mechaileh, 2022.**

A rede privada possui seus desafios, pois ela precisa coexistir com a rede pública de forma que precisará passar por um processo de permissão de uso de frequência que pode ser demorado. Após a sua implantação, terá que passar por ajustes minuciosos para não sobrepor outras redes e garantir um bom funcionamento. Em questão de hardware, concorrerá com as empresas de telecomunicação para a compra deles. Contudo, essa instalação precisará ser feita de forma complexa e minuciosa para garantir a estabilidade da rede.

Entretanto, há indicativos de que isso será a forma viável para o desenvolvimento das indústrias, cidades inteligentes, locais como shopping centers, estádios, entre outros (Viavisolutions, 2022).

## Impactos e Desafios da Implementação do 5G Diante do Setor Elétrico Brasileiro

### Situação atual de geração de energia elétrica

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) obteve os registros dos primeiros três meses de 2024, mostrando que o Brasil está próximo da marca de 200 gigawatts de capacidade instalada na sua matriz energética para uso geral. Porém, como pode ser observado na figura 7, na data de 10 de julho de 2024, essa marca já foi ultrapassada. Portanto, a maior parte dessa capacidade foi obtida por meio de hidrelétricas, termelétricas e usinas eólicas (Aneel, 2024).

**Figura 7 - Tabela de geração de energia.**

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	213	103.189.937,00	103.196.111,00	50,61%
UTE	3022	47.698.006,91	46.317.944,31	22,72%
EOL	1061	31.204.253,86	31.037.953,86	15,22%
UFV	18322	14.716.881,01	14.682.867,94	7,20%
PCH	428	5.819.504,57	5.817.156,57	2,85%
UTN	2	1.990.000,00	1.990.000,00	0,98%
CGH	684	855.732,88	853.546,88	0,42%
<b>Total</b>	<b>23732</b>	<b>205.474.316,23</b>	<b>203.895.580,56</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Aneel, 2024.

UHE - usina hidrelétrica;

UTE - usina termelétrica;

EOL - central geradora eólica;

UFV - central geradora fotovoltaica;

PCH - pequena central hidrelétrica;

UTN - usina termonuclear;

CGH - central geradora hidrelétrica.

Segundo a Câmara de comercialização de energia elétrica (CCEE) o Brasil teve no seu primeiro trimestre de 2024 um aumento de 5 % em relação ao ano anterior e passou a alcançar a marca de 72.416 MW médios de consumo (Ccee, 2024).

### Impacto energético da instalação do 5G

Segundo Paulo Bernardocki, Diretor de Soluções e Tecnologia de Redes da Ericsson, em 2020, a expansão das redes 5G exigirá um aumento significativo no número de estações para garantir cobertura e atender à demanda dos usuários.

Isso inclui a adição de rádios 5G em Estações Rádio Base (ERBs) já existentes. Também será necessário, em áreas urbanas densas e em espaços limitados, a adição de ERBs em níveis mais baixos, como em marquises ou postes. Apesar de operarem com menor potência (entre 2 e 10 W), essas estações serão amplamente implementadas em cidades e ambientes fechados, como shoppings e hospitais, para assegurar uma cobertura eficiente e estável do serviço, gerando demanda energética (Aranda, 2020).

O custo energético das redes móveis tem se tornado uma grande preocupação para a indústria de telecomunicações, com despesas globais estimadas em 25 bilhões de dólares em 2020 e aumentando desde então. Para enfrentar esse desafio, a indústria deve melhorar a eficiência energética das redes e adotar tecnologias e serviços mais eficientes em termos de dados. Sem essas ações, o consumo de energia e os custos continuarão a crescer. A indústria precisa adaptar sua abordagem para atender à demanda crescente por dados móveis de forma mais sustentável e econômica, segundo o guia apresentado pela empresa Ericsson (Sustainable Networks The RAN Modernization Guide).

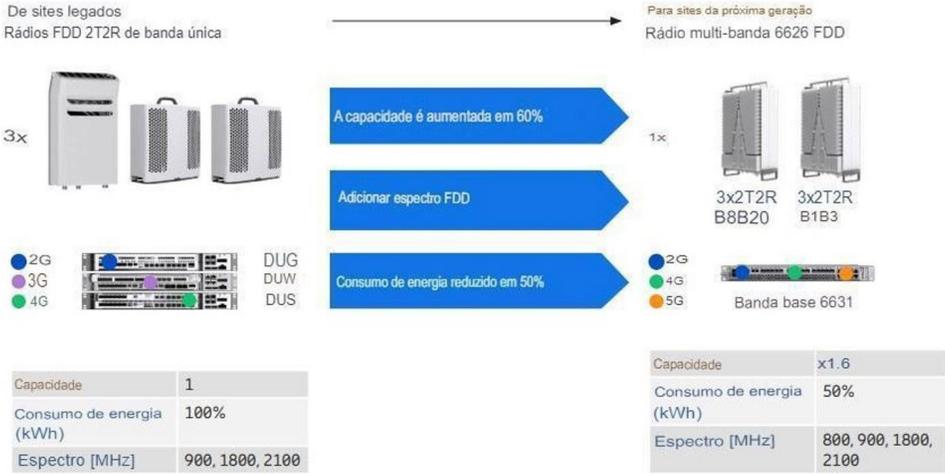
Nos últimos 10 anos, o tráfego de dados móveis cresceu muito, mas o consumo global de energia das redes aumentou apenas 64%, passando de 91 TWh para 150 TWh. Entre 2022 e 2028, o volume de dados móveis deve crescer 3,5 vezes, impactando o consumo de energia, embora com curvas de crescimento diferentes. A Ericsson mede o tráfego em mais de 100 redes para calcular o tráfego global e prever a evolução dos dados móveis (Ericsson, 2024).

Com o aumento da demanda das estações ERBs na rede 5G, a eficiência energética precisará ser ampliada de 100 a 1000 vezes em comparação com as redes 4G. Devendo a densa implantação de células, as avaliações de eficiência energética se concentram em aspectos computacionais de que na transmissão o equilíbrio entre a potência de transmissão e a computação deve ser otimizado, e a Rede Definida por Software (SDN) pode ajudar, embora precise de mais exploração (Usama, 2019).

Essa expansão de ERBs com a tecnologia 5G não pode ser apenas a adição desta tecnologia, pois assim o consumo de energia aumentará significativamente. Nesse sentido, empresas como a Ericsson, empresa de telecomunicação reconhecida mundialmente, orientam que esse processo precisa ser feito de forma sustentável e que, para evitar o alto consumo de energia, as tecnologias existentes nessas estações precisam ser substituídas. Dessa forma, eles apresentam uma solução: os novos equipamentos com a tecnologia de múltiplas entradas e múltiplas saídas, Multiple-Input Multiple- Output (MIMO). Dessa forma, os equipamentos compartilham as mesmas frequências, porém, respeitando cada um à sua tecnologia, operando de forma inteligente.

Os avanços tecnológicos apresentados por novos equipamentos de rádio, como o apresentado pela Ericsson, permitirão que uma unidade de rádio substitua até seis rádios de banda única, como pode ser observado na figura 8. Essa modernização poderá gerar cerca de 60% de economia de energia, segundo a empresa (Jejdling, 2022).

**Figura 8 - Equipamentos ERICSSON.**



Fonte: Adaptada de Jejdling 2022.

Conforme podemos observar na Figura 9, os equipamentos de uma estação rádio base incluem os seguintes componentes instalados: RRU (*Remote Radio Unit*) Huawei - RRU 3938 GSM, 3971, GSM, 3801 3G, 3268 e 3201 LTE. Esta estação possui quatro setores, cada um com um equipamento para cada tecnologia, cobrindo uma área média de 360 graus. Esses setores são direcionados para proporcionar uma cobertura ideal em centros populosos. O conjunto de equipamentos resulta em um consumo médio de 4080,44 watts por hora.

**Figura 9 - Tabela de equipamentos huawei GSM, 3G, LTE.**

<b>DISTRIBUIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS POR DCDU</b>	consumo de estação sem ampliação do 5G					<b>VALOR DE CORRENTE A CONSIDERAR POR DCDU</b>
<b>DCDU-12B</b>	<b>QTDE</b>	<b>CONSUMO TÍPICO (A)</b>	<b>Consumo típico de energia (W)</b>	<b>CARGA CONSUMO TÍPICO (A)</b>	<b>CARGA Consumo típico de energia (W)</b>	<b>CARGA TOTAL POR DCDU (A)</b>
RRU3938 GSM	4	4,555	218,63	17,01916667	874,52	50,23583333
RRU3971-L18 00	4	8,604	267,99	33,21666667	1073,96	
<b>DCDU-12B</b>						
RRU3801 UMTS	4	3,958	190	14,63333333	1071,96	14,63333333
<b>DCDU-12B</b>						
RRU3268-L26 00	3	6,646	290	19,0375	870	24,13333333
RRU3201 LTE	1	5,396	190	5,095833333	190	
<b>total</b>	<b>16</b>	<b>29,159</b>	<b>1156,62</b>	<b>89,0025</b>	<b>4080,44</b>	<b>89,00249999</b>

Fonte: HUAWEI, 2024.

Ao observar a figura 10, nota-se que os equipamentos relacionados às frequências do sinal 5G que compõem a ERB terão um consumo de energia de aproximadamente 3.255 Watts por hora. Com isso, o consumo total passará para 7.335,44 Watts por hora. Esse valor pode variar conforme a quantidade de equipamentos na estação. Vale ressaltar que esse consumo se refere apenas às unidades de rádio RRU instaladas, pois a estação possui outros equipamentos com consumo considerável. Isso reflete a necessidade de balancear desempenho e eficiência energética, garantindo que a estação rádio base atenda às crescentes demandas de conectividade sem comprometer a sustentabilidade.

**Figura 10 - Tabela de equipamentos huawei 5G.**

DISTRIBUIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS POR DCU		consumo de equipamentos 5G				VALOR DE CORRENTE A CONSIDERAR POR DCU
DCU-16D	QTDE	CONSUMO TÍPICO (A)	Consumo típico de energia (W)	CARGA CONSUMO TÍPICO (A)	CARGA Consumo típico de energia (W)	CARGA TOTAL POR DCU (A)
RRU5818 NR2300	3	10,667	465	31,1	1395	31,1
DCU-16D						
RRU5818W NR3500	3	10,667	465	31,1	1395	31,1
DCU-16D						
RRU5818W NR3500	1	10,667	465	10,36666667	465	10,36666667

Fonte: Huawei, 2024.

Para equilibrar o impacto energético, empresas como Claro e Tim estão buscando soluções para reduzir seu consumo de energia, investindo na produção de energia sustentável.

Claro: sua estratégia se baseia em energias renováveis, buscando, ao lado de parceiros estratégicos, a operadora conta com 58 usinas de geração distribuída em diferentes modalidades como: solar, eólica, biogás, entre outras. Essas usinas atendem cerca de 60% das estações radiobase e 40% do consumo total de energia do grupo. Além disso, a operadora adquire 28% do consumo total via mercado livre de energia (Julião, 2021).

A empresa está trabalhando com parceiros estratégicos para integrar a demanda do 5G aos seus projetos de energia. A expectativa é que o 5G traga um aumento de 15% na demanda de energia, e a empresa está se preparando para isso com a construção de novas usinas (Teletime news, 2021).

O Ministério das Comunicações concedeu à Claro a permissão para levantar R\$ 5,7 bilhões no mercado, com o objetivo de investir em infraestrutura para a expansão do sinal 5G e da conectividade em todo o Brasil. Esses recursos serão

aplicados na modernização das Estações Rádio Base (ERBs) e na implementação de tecnologias mais eficientes em consumo de energia. Essas ações demonstram o comprometimento da Claro em minimizar o impacto ambiental de suas atividades e assegurar que a expansão do 5G ocorra de forma sustentável (Gov.br, 2024).

A operadora também está investindo em tecnologias inovadoras para otimizar o uso de energia e reduzir a pegada de carbono. Com essas iniciativas, a Claro não só atende às necessidades energéticas crescentes, mas também contribui para um futuro mais sustentável.

TIM: uma das estratégias é a desativação de tecnologias legadas e o compartilhamento de infraestrutura com a VIVO, outra empresa de telecomunicações. Além disso, a TIM está migrando algumas funções de rede para a nuvem, o que reduz a necessidade de servidores próprios e, conseqüentemente, o consumo de energia. Assim como a Claro, a TIM possui 60 usinas de diferentes tipos para atender à demanda interna (Julião, 2021).

A TIM também está investindo em tecnologias inovadoras para otimizar o uso de energia e reduzir a pegada de carbono. A empresa prioriza o uso de energia renovável e trabalha para reduzir o consumo geral, otimizando a gestão durante a operação e diminuindo as emissões de gases de efeito estufa.

Essas iniciativas fazem parte do Plano Estratégico 2024-26, que visa aumentar a eficiência energética em 110% até 2025 (Tim, 2023).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A telefonia móvel tem evoluído significativamente ao longo do tempo, e a introdução da tecnologia 5G trouxe consigo um leque de novas oportunidades. Sua alta velocidade, baixa latência e robustez em termos de segurança estão impulsionando a expansão da Indústria 4.0 e a disseminação da Internet das Coisas (IoT). No Brasil, em 2024, as operadoras estão modernizando suas infraestruturas para disponibilizar gradualmente o sinal 5G, alinhadas às metas estabelecidas pela Agência Nacional de Telecomunicações.

Embora esses avanços representem um passo crucial para o desenvolvimento tecnológico, o aumento no consumo de energia elétrica é um desafio significativo. Apesar de os novos equipamentos consumirem menos energia, a necessidade de uma maior quantidade de estações de rádio próximas umas das outras para garantir a cobertura do 5G eleva substancialmente o consumo energético. Para mitigar esses impactos, empresas de telecomunicações estão investindo em fontes alternativas de energia, como usinas fotovoltaicas e eólicas.

Contudo, é essencial avaliar se o setor elétrico será capaz de acomodar esse aumento de demanda de forma eficaz. Para isso, serão necessários estudos experimentais mais aprofundados, que possibilitem uma análise substancial dos impactos do 5G e forneçam respostas definitivas sobre a sustentabilidade do sistema. Conclui-se que, embora o 5G seja um avanço tecnológico indispensável, a sustentabilidade energética permanece sendo uma questão crucial que exige monitoramento e soluções contínuas.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Robson Braga de. **Tecnologia 5G: impactos econômicos e barreiras à difusão no Brasil. IMPACTOS ECONÔMICOS E BARREIRAS À DIFUSÃO NO BRASIL**, 2021. Disponível em: [https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/e1/51/e15104f7-58de-427a-ae1a-851bc3c69a4b/id\\_238194\\_tecnologia\\_5g.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/e1/51/e15104f7-58de-427a-ae1a-851bc3c69a4b/id_238194_tecnologia_5g.pdf). Acesso em: 17 jul. 2024.

ANATEL. 5G. **ANATEL, 2024**. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acompanhamento-e-controle/5g>. Acesso em: 02 jun. 2024.

ANATEL. **5G completa dois anos de implantação no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/5g-completa-dois-anos-de-implantacao-no-brasil>. Acesso em: 20 jun. 2024.

ARANDA, 2020. **Consumo inteligente de energia é vital para rede 5G, diz Ericsson**: é possível reduzir os gastos com recursos como inteligência artificial para operação de sites, maior precisão na construção de estações e adoção de softwares de economia de energia. Disponível em: <https://www.arandanet.com.br/revista/rti/noticia/385-Consumo-inteligente-de-energia-e-vital-para-rede-5G,-diz-Ericsson>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CCEE, 2024. **Consumo de energia no Brasil subiu 5% no 1º trimestre de 2024, aponta CCEE**: uso mais intenso de equipamentos de refrigeração provocou aumento da demanda em quase todo o país. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/consumo-de-energia-no-brasil-subiu-5-no-1-trimestre-de-2024>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CRUZ, Humberto Ávila. **ESTUDO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA**: relatório de impacto de vizinhança. RELATÓRIO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA, 2021. Disponível em: [https://www.americana.sp.gov.br/download/seplan/eiv/EIV\\_ERB\\_Rua\\_Itabirito.pdf](https://www.americana.sp.gov.br/download/seplan/eiv/EIV_ERB_Rua_Itabirito.pdf). Acesso em: 20 jul. 2024.

ERICSSON. **Mobile data traffic outlook: November 2019**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2019.

FARUQUE, Saleh. **Radio Frequency Multiple Access Techniques Made Easy**. Springerbriefs In Electrical And Computer Engineering, [S.L.], p. 21-32, 2019. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-91651-4>. Acesso em 10 mai. 2024.

GODINHO, Helio Ferreira; LINOS, Cleisson; OLIVA, **Uma abordagem sobre a tecnologia 4G LTE e sua aplicação no Brasil**. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, ano MMXVIII, n. 000120, 19 mar. 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/uma-abordagem-sobre-tecnologia-4g-lte-e-sua-aplicacao-no-brasil>. Acesso em: 20 jun. 2024.

HUAWEI. **Troubleshooting 3G LTE 5G Scenarios**. Disponível em: <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1000079719/2901d99c/troubleshooting-3g-lte-5g-scenarios>. Acesso em: 20 mai. 2024.

HUAWEI. **Green energy 5G success operators**. Disponível em: <https://www.huawei.com/en/huaweitech/publication/90/green-energy-5g-success-operators>. Acesso em: 20 jul. 2024.

HUAWEI. **Technical specifications**. Disponível em: <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100051428/90a64d60/technical-specifications>. Acesso em: 14 jun. 2024.

JEJDLING, Fredrik. **On the road to breaking the energy curve: a key building block for a net zero future**. 2022. Disponível em: <https://www.ericsson.com/4aa14d/assets/local/about-ericsson/sustainability-and-corporate-responsibility/documents/2022/breaking-the-energy-curve-report.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2024.

JULIÃO, Henrique. **Consumo de energia do 5G aumenta busca por eficiência entre operadoras**. Teletime, 2021. Disponível em: <https://teletime.com.br/22/11/2021/consumo-de-energia-do-5g-aumenta-busca-por-eficiencia-entre-operadoras/>. Acesso em: 13 jul. 2024.

KUCK, Denis. **5G pode aumentar a produtividade da indústria em cerca de 25%**. Valor, 2021. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/09/21/5g-pode-aumentar-a-produtividade-da-industria-em-cerca-de-25percent-diz-executivo-da-ericsson.ghtml>. Acesso em: 16 jun. 2024.

TIM. **Energy management**. Disponível em: <https://ri.tim.com.br/en/esg/environmental/energy-management/>. Acesso em: 20 jul. 2024.

MECHALEH, Jose Antonio. **Redes privadas 5G: casos de uso para indústria 4.0**. Eldorado, 2022. Disponível em: <https://www.eldorado.org.br/blog/redes-privadas-5g-casos-de-uso-para-industria-4-0/>. Acesso em: 17 jul. 2024.

MELHOR ESCOLHA. **Evolução do 5G**. Disponível em: <https://melhorescolha.com/blog/wp-content/uploads/2017/10/Evolucao-do-5G-blog.png>. Acesso em: 16 mai. 2024.

MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **Ministério das Comunicações autoriza Claro a captar R\$ 5,7 bi para expandir 5G com títulos que apoiam infraestrutura** — Ministério das Comunicações. Disponível em: [www.gov.br](http://www.gov.br). Acesso em: 17 mai. 2024.

ORACLE. **Internet of things**. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

RAPPAPORT, Theodore Scott. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2009. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 16 mai. 2024.

VIAVISOLUTIONS. **Redes 5G privadas: redes 5G privadas de alto desempenho, conforme prometido**. 2022. Disponível em: <https://www.viavisolutions.com/pt-br/solucoes/redes-5g-privadas>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SÁTYRO, Walter Cardoso *et al.* (org.). **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**.

1. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 20 jul. 2024.

SPADINGER, Robert. **Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e Indústria 4.0**. *Notas Técnicas*, n. 79, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, [S.I.], p. 1- 29, jan. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.38116/ntdiset79>. Acesso em: 10 maio 2024.

TELETIME News. **80% da energia da Claro virá de fontes renováveis em 2022**. Disponível em: <https://teletime.com.br/08/12/2021/80-da-energia-da-claro-vira-de-fontes-renovaveis-em-2022/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

USAMA, Muhammad; EROL-KANTARCI, Melike. **A survey on recent trends and open issues in energy efficiency of 5G**. *Sensors*, v. 19, n. 14, p. 3126, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19143126>. Acesso em: 24 nov. 2024.



## Avaliação da Implantação de Energia Fotovoltaica em Residências

### *Assessment of Photovoltaic Energy Implementation in Residential Buildings*

Luciano Souza de Souza

Douglas Lima Ramiro

Jadson Justi

Tatiele Martins Amaral

Kaio Gabriel Mistieri Valentim

Jamson Justi

Edrilene Barbosa Lima Justi

**Resumo:** A implementação da energia fotovoltaica em residências vem se destacando e ganhando cada vez mais visibilidade no país. As placas fotovoltaicas são cada vez mais tecnológicas e eficientes, proporcionando diversos benefícios aos domicílios. Dessa forma este trabalho tem como principal objetivo discutir a viabilidade de implantação de energia fotovoltaica em residências por meio de indicadores financeiros. Ademais, a pesquisa é caracterizada como qualitativa, a qual se discute quais são os tipos de análises necessárias para definir se o projeto de implementação do sistema fotovoltaico é viável ou não. É um estudo caracterizado como bibliográfico. A pesquisa identificou importantes indicadores financeiros capazes de demonstrar a viabilidade da aplicação das placas no domicílio. Que são eles: o VPL, a TIR, o TMA e o Payback de investimento. Além disso, as bandeiras tarifárias também são uma ótima aliada dessa implementação e vale ser levada em conta como fator decisório para execução de um projeto de energia solar.

**Palavras-chave:** energia fotovoltaica; indicadores financeiros; residências brasileiras.

**Abstract:** The implementation of photovoltaic energy in homes has been highlighted and gaining more and more visibility in the country. Photovoltaic panels are increasingly technological and efficient, providing several benefits to households. Therefore, this work's main objective is to discuss the feasibility of implementing photovoltaic energy in homes through financial indicators. Furthermore, the research is characterized as qualitative, which discusses the types of analyzes necessary to define whether the photovoltaic system implementation project is viable or not. It is a study characterized as bibliographic. The research identified important financial indicators capable of demonstrating the feasibility of applying the plates at home. They are: NPV, IRR, TMA and Investment Payback. Furthermore, tariff flags are also a great ally in this implementation and are worth taking into account as a decision-making factor when implementing a solar energy project.

**Keywords:** photovoltaic energy; financial indicators; brazilian residences.

## INTRODUÇÃO

No Brasil a energia fotovoltaica tem se destacado positivamente, e tem desempenhado um papel crucial na busca pela diversificação da matriz energética do país. A geração de energia hidrelétrica por muito tempo e ainda hoje tem sido a principal fonte de energia do Brasil, mas a sua utilização exclusiva e o crescimento da energia hidrelétrica enfrentam obstáculos devido às restrições ambientais associadas à construção de usinas, e a uma possível crise de escassez de água a ser enfrentada pelo País. A energia fotovoltaica surge como alternativa sustentável e renovável para a diversificação da matriz elétrica brasileira.

A abundante presença de radiação solar no Brasil é um fator decisivo no aproveitamento da energia solar e na implementação da tecnologia fotovoltaica em todo o país. E, por meio da criação da Resolução Normativa da Aneel n° 1059/2023 coloca em vigência a Lei n. 14.300/2022, a qual permite a viabilidade da microgeração e minigeração de energia residencial. Esta tornou-se uma realidade concreta, possibilitando que indivíduos produzam sua própria energia em seus lares, elevando a autossuficiência energética da população (Aneel, 2023).

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2023), no Brasil em cerca de um ano em 2022 a energia solar teve um aumento expressivo de 110% em sua potência instalada por diversos tipos de propriedades em todo o território nacional. Além disso, a análise do tempo de retorno financeiro sobre os sistemas fotovoltaicos é de suma importância para que decisões sejam tomadas baseado nos benefícios financeiros futuros. Entender em quanto tempo o retorno financeiro do investimento acontecerá, trará benefícios onde o proprietário poderá avaliar se o período de retorno se adequa ou não às suas expectativas e aos objetivos financeiros.

As placas fotovoltaicas estão cada vez mais tecnológicas. A procura incessante por maior eficiência e menores custos melhoram os módulos solares que fazem parte da rotina de indústrias de energia solar em todo o mundo (Bayod-Rújula; Lorente-Lafuente; Cirez-Oto, 2011). Ademais, no âmbito dos benefícios decorrentes dessa modalidade de geração, torna-se compreensível que a energia solar se alinha harmoniosamente com a redução da exploração dos recursos naturais, promovendo uma diminuição da poluição atmosférica. Em contextos empresariais e residenciais, essa forma de energia revela-se extremamente favorável, respaldada por uma gama de fatores que incluem, exemplificativamente, incentivos governamentais, alicerces da sustentabilidade ambiental, eis que tal é sua primordial vantagem, bem como a instalação descomplicada que lhe é inerente (Gonzaga, 2019).

Portanto, este trabalho tem como principal objetivo discutir a viabilidade de implantação de energia fotovoltaica em residências por meio de indicadores financeiros.

Para tanto, de acordo com Lakatos e Marconi (2019), essa pesquisa se caracteriza como bibliográfica, com base em textos, como livros, artigos científicos, ensaios críticos, leis e normas brasileiras, etc. No intuito de discutir a implantação

de energia fotovoltaica em residências, utilizou-se como métodos de procedimento, os métodos histórico e comparativo.

Foram consultados pesquisas, livros, teses e dissertações publicadas no SciElo, Google Scholar e Periódicos Capes. Foram usadas para a pesquisa palavras-chave como: energia fotovoltaica; energia solar; consumo médio de energia, entre outras. Diversos estudos foram levados em conta, de anos e datas diferentes, apresentando dados desde 1979 a 2023.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Benefícios da Energia Solar

A utilização da energia solar possui diversos pontos positivos ao ser utilizada. Entende-se que as energias renováveis são aquelas que são possíveis de serem regeneradas, o que as tornam inesgotáveis. Além disso, o impacto ambiental da energia solar é relativamente baixo se comparado aos combustíveis fósseis. A aplicação desse tipo de energia não gera emissões de gases de efeito estufa, nem a componentes que prejudiquem de alguma forma o meio ambiente, o que conseqüentemente auxilia no combate da mudança climática (Cosbey, 2011).

Além disso, compreende-se que a energia solar contribui com a diminuição da exploração dos recursos naturais e é capaz de diminuir a poluição ascendente. Nos ambientes empresariais e residenciais essa fonte de energia se torna favorável por diversos fatores, como por exemplo: incentivos governamentais, sustentabilidade ambiental e a fácil instalação (Costa, 2020).

Outro ponto muito importante a ser levado em conta é que o Brasil é detentor de uma riqueza natural, por ser um país tropical. Na maior parte dos meses há Sol em suas regiões. Esse fator, contribui beneficentemente com a produção de energia solar no país.

A energia solar também se destaca ao falar sobre a economia, sua segura forma de gerar energia elétrica e por ser um fornecimento de energia de forma limpa e sustentável. Além de que uma grande vantagem da energia solar reside na sua capacidade de ser utilizada de forma descentralizada, o que promove o crescimento social e econômico em todas as áreas, ao mesmo tempo em que evita despesas e impactos ambientais associados às extensas linhas de transmissão de energia (Shayani, 2006).

### Possibilidade de Geração de Crédito

O considerável crescimento da energia solar no Brasil e no mundo se deu principalmente aos incentivos sobre a possibilidade de injetar energia excedente na rede, abatendo créditos. Essa permite que o sistema de compensação de energia elétrica aconteça (Aneel, 2023).

A possibilidade de geração de créditos por meio da aplicação das placas fotovoltaicas de energia solar é considerada um dos grandes benefícios de sua utilização. Quando ocorre do sistema produzir mais energia do que o necessário para atender a demanda solicitada, o excedente é enviado para rede elétrica, contabilizando assim os chamados créditos de energia. Já quando acontece de toda a energia gerada ser consumida, ou quando o consumo é maior do que a produção, o pagamento é realizado apenas sobre a energia consumida na rede, descontando assim os créditos disponíveis (Aneel, 2023).

Quando se fala sobre autoconsumo remoto, a geração de créditos pode ser passada para consumidores de titularidade de uma mesma pessoa física ou jurídica, incluídas matrizes ou filiais nesse contexto, e ter um sistema de microgeração ou minigeração distribuído e instalado em um local diferente das unidades consumidoras que utilizam o excedente de energia e fazem parte da modalidade de participação do SCEE (Sistema de Compensação de Energia Elétrica). Além disso, pode acontecer o acúmulo dos créditos remanescentes com o intuito de diminuir as contas de energia. Esse sistema de compensação é uma forma de incentivo à adoção da energia solar permitindo assim que a população tenha uma significativa redução de suas despesas energéticas de uma ou mais propriedades (Aneel, 2023).

Os créditos de energia contabilizados ao consumidor são em kWh (quilowatt-hora) e seu acúmulo é contabilizado mensalmente.

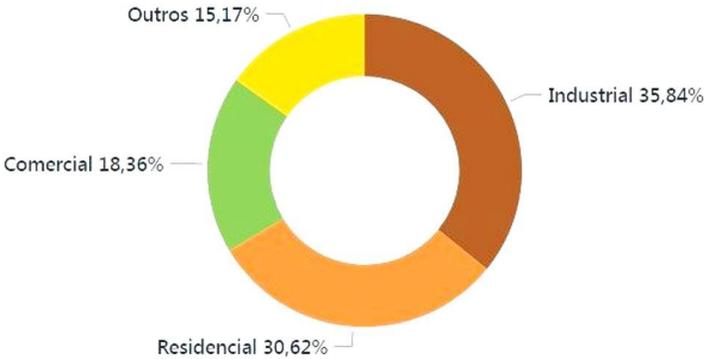
## **Consumo de Energia nas Residências**

O consumo de energia elétrica em residências pode ser alterado por diversos fatores, como a quantidade de pessoas residentes, tempo de permanência da população nas residências ou a taxa de consumo diante da quantidade ou do tempo de uso de um equipamento. No Brasil, devido a sua grande diversidade cultural, econômica e climática a depender da região, os hábitos de consumo são bem diversificados (Epe, 2023).

A EPE (Empresa de Pesquisa Energética) disponibiliza arquivos atualizados do consumo tanto mensal quanto anual de energia elétrica no Brasil. A figura 1 mostra o consumo médio por classe no Brasil no ano de 2023.

O consumo de residências no Brasil teve sua expansão em destaque quando comparado a indústrias e ao comércio em 2023. A classe de consumo residencial teve um aumento de 3,5% de expansão no primeiro trimestre do ano. Esse aumento pode ser explicado quando visto alguns fatores como por exemplo clima seco em algumas regiões, a diminuição de tarifas de energia elétrica e também o aumento da base de consumidores (Epe, 2023).

**Figura 1- Consumo médio por classe.**



**Fonte: Epe, 2023.**

Dado aumento, alcançou um valor total de 41,3 TWh. Alguns importantes fatores podem ter contribuído para esse aumento, como a adoção de iniciativas voltadas para a diminuição de desperdícios por algumas distribuidoras. Além disso, nesse ano a base de consumidores residenciais teve um aumento devido a um reenquadramento de clientes de diferentes classes para a classe de residências, além de um fator que deve ser levado em consideração que foi a redução das tarifas de energia elétrica, o que contribui diretamente ou indiretamente para o aumento desse consumo (Epe, 2023).

O consumo de energia elétrica residencial vem se alterando ao decorrer dos anos devido a fatores diversos. A figura 2 demonstra o Consumo residencial médio (kWh/mês) onde é possível observar as variações do consumo residencial brasileiro desde o segundo semestre de 2015 até o primeiro trimestre de 2023.

**Figura 2 - Consumo residencial médio (kWh/mês).**



**Fonte: Epe, 2023.**

Neste estudo, explora-se o consumo energético em ambientes residenciais, um aspecto essencial na gestão eficiente de recursos energéticos. Antes de analisar em detalhes os padrões de consumo, a figura a seguir representa a potência média

de diversos aparelhos utilizados em residências. Esta figura oferece uma visão clara e informativa das demandas energéticas típicas desses aparelhos.

É de suma importância compreender quais variáveis estão relacionadas ao consumo de energia elétrica quando utilizamos dispositivos elétricos, e como essa utilização impacta o valor da conta de energia ao final do período. Resumidamente, as principais variáveis envolvidas são a potência nominal do aparelho e a duração de seu uso ao longo de um período específico, que, no caso da fatura de energia elétrica, corresponde ao período mensal. Essas variáveis determinam se o aparelho terá um impacto maior ou menor no custo total da conta de energia elétrica, uma vez que a energia é mensurada em unidades de quilowatt-hora (kWh) (Furlanetto, 2001).

Para que esse cálculo seja realizado, tem-se a seguinte fórmula:

$$KWh = P \times t$$

Onde:

$P$  = Potência elétrica em Watts (W).

$t$  = tempo de uso em horas (h).

A tabela 1 apresenta a potência média dos aparelhos residenciais comuns segundo a Companhia Energética de Minas Gerais. Ela detalha a quantidade de energia consumida em watts (W) por cada equipamento durante o seu funcionamento. Entre os exemplos listados estão o chuveiro elétrico, com variações de potência conforme a voltagem, eletrodomésticos como geladeiras, freezers e fogões elétricos, além de itens menores como liquidificadores e televisores. Essas informações são essenciais para ajudar os consumidores a entenderem o impacto dos aparelhos no consumo de energia elétrica em suas residências.

## Equipamentos Utilizados para Geração de Energia Solar

Os sistemas fotovoltaicos possuem diferentes tipos de categorias. Eles podem se caracterizar como isolados, híbridos ou como aqueles que são conectados a redes. Os sistemas isolados se dividem em algumas categorias, como: sistema CC isolado sem armazenamento de energia, sistema CC isolado com armazenamento de energia, sistema CA isolado com armazenamento de energia e o sistema CA isolado sem armazenamento de energia (De Leva, 2004).

Falando brevemente sobre cada um desses tipos de sistemas, o sistema CC isolado sem armazenamento de energia é aquele que toda a energia produzida é consumida automaticamente. Já o sistema CC com armazenamento, é capaz de armazenar a energia produzida e aproveitar esta futuramente quando necessário. Já os sistemas CA possuem basicamente as mesmas características dos CC, porém, nesses é necessário a utilização de um inversor entre o painel e a carga (De Leva, 2004).

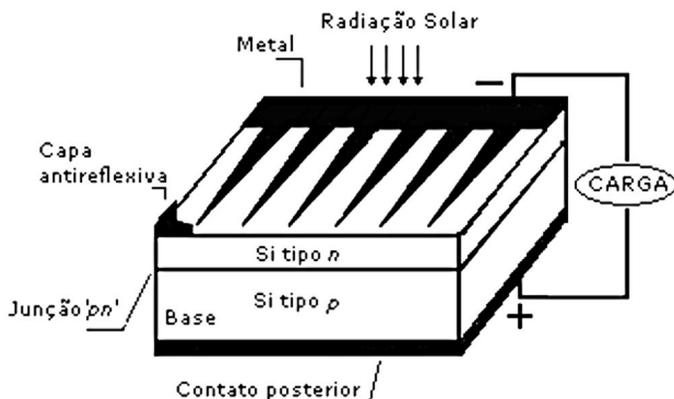
**Tabela 1 - Potência média de aparelhos residenciais.**

<b>APARELHO</b>	<b>POTÊNCIA (W)</b>
Aspirador de pó residencial	600
Cafeteira elétrica pequena uso doméstico	600
Chuveiro elétrico 127V	4400
Chuveiro elétrico 220V	6000
Ferro elétrico simples de passar roupa	1000
Fogão comum com acendedor	90
Fogão elétrico de 4 bocas por cada queimador	1500
Forno microondas	750
Freezer vertical pequeno	300
Freezer horizontal médio	400
Geladeira comum	250
Geladeira Duplex	300
Liquidificador doméstico	200
Lâmpada Fluorescente de 40W	40
Máquina de lavar louças	1500
Sanduicheira	640
Secador de cabelos grande	1250
Televisor	200
Torneira elétrica	2000
Ventilador grande	250

**Fonte: Adaptada de CEMIG Distribuição S.A, 2020.**

São diversos os aparelhos necessários para o funcionamento de um sistema fotovoltaico. O material comumente utilizado nos módulos fotovoltaicos são células de silício, o qual é capaz de transformar os fótons dos raios solares em corrente elétrica contínua. Uma única célula produz níveis de energia muito baixos, por isso a junção de várias células para a criação de painéis é feita, com o intuito de aumentar a quantidade de energia produzida (De Leva, 2004).

A figura 3 demonstra como é uma estrutura de uma célula convencional.

**Figura 3 - Estrutura de uma célula de silício convencional.**

Fonte: De Leva, 2004.

Já os sistemas conectados à rede utilizam inversores de tensão, os quais estão totalmente ligados para que aconteça o condicionamento e sincronismo da saída do arranjo fotovoltaico com a rede de energia elétrica. Existem três tipos de inversores que são conectados à rede elétrica. Sendo eles: Inversor de um estágio, o qual o MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) e o controle de corrente são realizados em apenas um estágio. Há também o inversor de dois estágios, neste um conversor de corrente contínua otimiza o ponto de máxima potência, enquanto um conversor de corrente contínua para corrente alternada regula a quantidade de corrente enviada para a rede elétrica. E por fim, há o inversor de múltiplos estágios. Diversos conversores de corrente contínua para corrente contínua são responsáveis pelo rastreamento do ponto de máxima potência, enquanto um único conversor de corrente contínua para corrente alternada controla a quantidade de corrente que é inserida na rede elétrica (Carrasco, 2006).

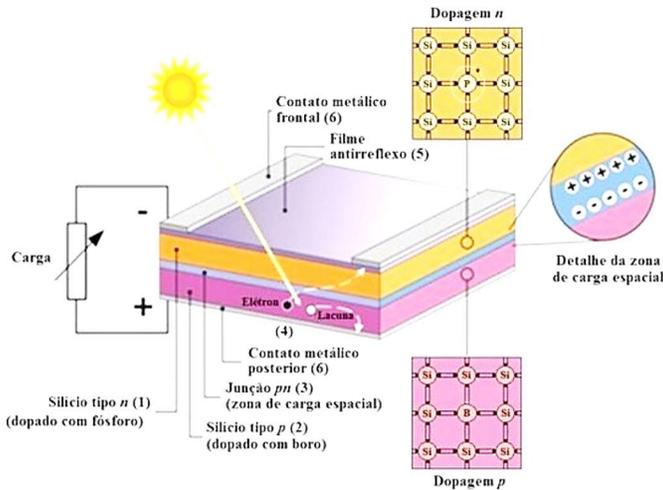
Além dos pontos acima, compreende-se que a distribuição dos módulos fotovoltaicos possui diferentes configurações. Como por exemplo:

- **Inversores integrados:** Cada painel solar possui um inversor de tamanho reduzido. Esses inversores estão conectados em paralelo na saída de corrente alternada.
- **CC paralelo:** Conjuntos de painéis solares dispostos em linhas ou grupos estão ligados aos conversores que transformam corrente contínua. Todos esses conversores são alimentados por um único canal interno de corrente contínua, que por sua vez fornece energia a um conversor que transforma corrente contínua em corrente alternada.
- **CA paralelo:** Cada conjunto de painéis solares em forma de fileiras ou arranjos está ligado a seus próprios inversores dedicados. As saídas desses inversores individuais são então conectadas internamente em paralelo no lado de corrente alternada.

- **Inversor centralizado:** Painéis solares são conectados uns após os outros para criar uma linha contínua. Essas linhas são então interligadas lado a lado para compor um conjunto, o qual entrega energia ao canal de corrente contínua de um inversor.

O chamado efeito fotovoltaico se dá quando se tem a região a qual o campo elétrico é oposto de zero. Devido a junção 'pn' ser exposta a fótons, tem-se a produção de pares elétron-lacuna. A figura 4 representa a estrutura física de uma junção pn a uma célula fotovoltaica (Pinho; Galdino, 2014).

**Figura 4 - Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício destacando: (1) região tipo n; (2) região tipo p, (3) zona de carga espacial, onde se formou a junção pn e o campo elétrico; (4) geração de par elétron-lacuna; (5) filme antirreflexo; (6) contatos metálicos.**

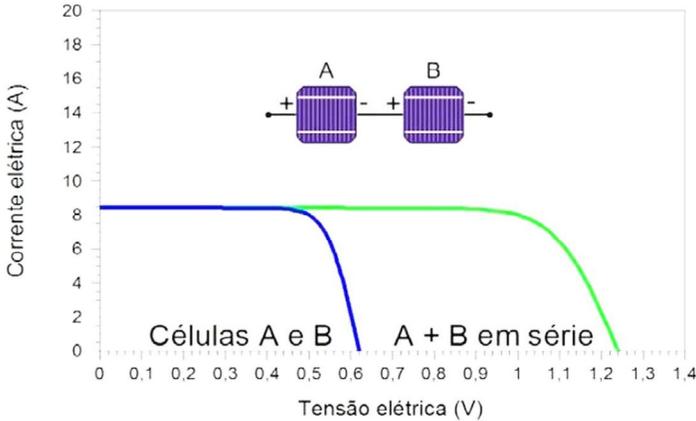


**Fonte: Adaptada de Moehlecke e Zanescio, 2005.**

O silício utilizado nas placas fotovoltaicas pode ser tanto monocristalino ( $m - Si$ ) quanto policristalino ( $p - Si$ ). No silício policristalino tem-se um único bloco composto por pequenos cristais. A eficiência deste é relativamente menor do que quando comparado às células de silício monocristalino. Já o silício monocristalino utiliza do silício ultrapuro, o qual necessita de um grau de pureza de 99,9999 (Pinho; Galdino, 2014).

Os dispositivos fotovoltaicos podem ser organizados de duas formas, em paralelo ou em série. Estes dispositivos podem se diferenciar, podendo ser arranjos, células ou módulos. Na associação em série encontra-se o terminal com carga positiva de um dispositivo fotovoltaico o qual é interligado com o terminal de carga negativa do dispositivo subsequente, seguindo esse padrão ao longo da conexão. Já quando conectados em paralelo os terminais são conectados uns aos outros (Pinho; Galdino, 2014). As figuras 5 e 6 mostram como funcionam as divisões comentadas anteriormente.

**Figura 5 - Curvas I-V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em série.**

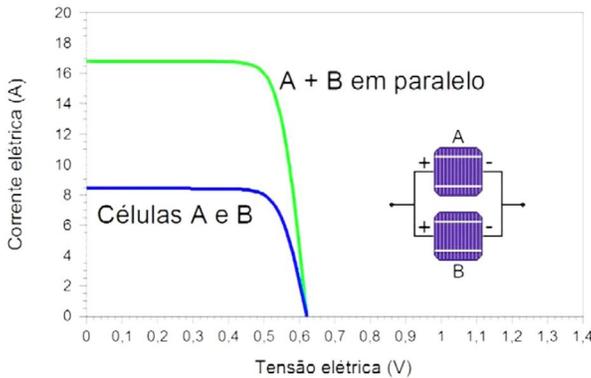


**Fonte: Pinho; Galdino, 2014.**

Contextualizando sobre os sistemas fotovoltaicos e retomando sobre sua categoria, qualifica-se a divisão dele em sistemas isolados ou conectados à rede. Os sistemas fotovoltaicos isolados necessitam de um processo para armazenamento de energia, podendo ser armazenada por uma bateria por exemplo. Já os sistemas híbridos são os que possuem mais de uma fonte energética para suprir as necessidades da residência. Para a utilização dos sistemas do tipo híbridos constam a necessidade do inversor (Pinho; Galdino, 2014).

Os Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD) apresentam as cargas e o gerador fotovoltaico como os seus principais componentes. Para que não se tenha falta de energia nos horários do dia que não há Sol, esse tipo de sistema precisa ter um acumulador o qual permita dissociar o horário de consumo do horário da geração (Pinho; Galdino, 2014).

**Figura 6 - Curvas I-V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em paralelo.**



**Fonte: Pinho; Galdino, 2014.**

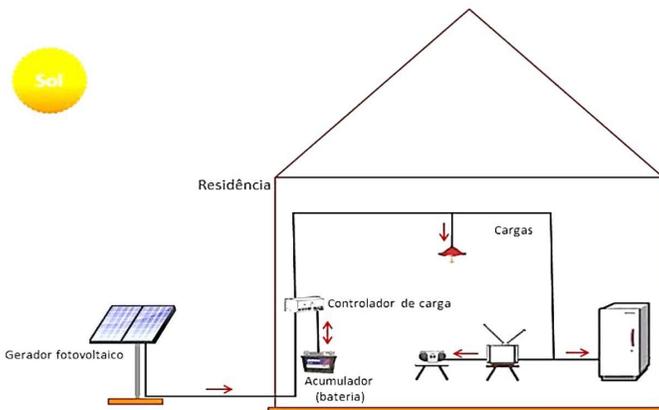
A figura 7 demonstra como funciona na prática o sistema fotovoltaico domiciliar, onde nota-se que há um controlador de carga, este é responsável por evitar cargas e descargas excessivas do acumulador.

## Análise da Viabilidade Através de Indicadores Financeiros

### VPL

Este é um dos métodos mais utilizados para avaliar projetos. O conceito desse processo envolve o cálculo da soma de todos os fluxos financeiros resultantes das atividades de um determinado projeto, após aplicar descontos apropriados. A ideia é que quanto maior for o Valor Presente Líquido (VPL), mais atraente será o projeto do ponto de vista financeiro. Contudo, a aplicação deste método pode estar sujeita a algumas limitações. Como por exemplo atraso entre as atividades, avaliação das quantidades e tipos de recursos alocados e a imposição de datas específicas para o início e término das atividades (Szwarcfiter, 2022).

**Figura 7- Diagrama simplificado do sistema fotovoltaico domiciliar em CC.**



**Fonte: Pinho; Galdino, 2014.**

Entende-se, portanto, que o VPL faz com que ocorra uma maximização do problema, o qual apresenta muitas soluções possíveis. Para cada situação há um planejamento com suas próprias atividades e datas estabelecidas. Há critérios definidos para que ocorra a seleção ou rejeição dos projetos por meio do método VPL, como apresentados a seguir (Szwarcfiter, 2022).

Quando o projeto for  $> 0$ , então este é considerado viável, pois isso representa que as receitas estão superando os custos, com a taxa de interesse descontada.

Quando o projeto for  $\leq 0$  é considerado não viável, pois nesse caso as receitas não superam os custos (Szwarcfiter, 2022).

O cálculo do valor presente líquido (VPL) em um empreendimento de investimento pode ser conceituado como a totalização algébrica das quantias ajustadas

provenientes do fluxo financeiro associado a ele. Em termos alternativos, é a discrepância entre o valor presente das entradas e o valor presente dos gastos (Silva; Fontes, 2005).

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

Onde tem-se:

$R_j$  = valor atual das receitas (R\$);

$C_j$  = valor atual dos custos (R\$);

$i$  = taxa de juros (ano);

$j$  = período em que as receitas ou os custos ocorrem (unidade de tempo);

$n$  = número de períodos ou duração do projeto. Número total de períodos ao longo dos quais os fluxos de caixa são calculados.

## TIR

Taxa Interna de Retorno também conhecida como TIR representa a taxa de desconto que torna o valor presente das receitas futuras igual ao custo inicial do investimento. Em outras palavras, é a taxa que torna o valor atual do projeto zero. A TIR de um projeto de investimento corresponde à taxa que equilibra o valor presente dos fluxos de saída de dinheiro com o valor presente dos fluxos de entrada estimados (Oliveira, 1979).

A literatura contextualiza que a TIR anula o valor líquido (VPL) de um fluxo de investimento seja igual a zero. A TIR por si só não é capaz de demonstrar um valor exato do retorno do investimento, mas, é um critério interessante associado ao fluxo de caixa do projeto (Álvares, 2007).

Para que ocorra o cálculo da TIR é necessário a seguinte fórmula (Cury, 2018):

$$\sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+i)^t} = 0$$

Onde:

$Ft$  = fluxo de caixa líquido do projeto (R\$);

$i$  = taxa interna de retorno (%);

$t$  = Período (t).

Para que um projeto seja considerado viável, a TIR precisa ser igual ou maior do que aos custos de implementação de um projeto.

TIR maior que a TMA – O Projeto deve ser aceito (considerado viável). TIR igual a TMA – É indiferente aceitar ou rejeitar o projeto, e por fim, quando a TIR for menor que o TMA – O projeto não deve ser aceito (considerado inviável) (Cury, 2018).

## TMA

Compreende-se que o VPL e a TIR podem ser considerados fluxos de caixa descontados a uma estipulada taxa. Dessa forma, a taxa envolvida no VPL e na TIR é chamada de Taxa Mínima de Atratividade, também conhecida como TMA. Ademais, quando em um projeto a TIR sobressair a TMA, é possível considerar que o projeto deve ser aceito, já que os custos de investimento teriam sido atingidos e também o custo do capital, e ainda haveria a possibilidade da empresa ter um possível remanescente da taxa (Schroeder, 2005).

De acordo com Pilão e Hummel (2003, p. 89) “a taxa que identificamos como TMA representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que um tomador de dinheiro se propõe a pagar ao fazer um financiamento”.

Geralmente a taxa mínima de atratividade é baseada em uma taxa de livre risco, a qual é decidida levando em consideração a taxa Selic, já que é a taxa mais básica de juros.

## Payback de investimento

O Payback de investimento é resumidamente o tempo necessário para que a empresa venha a ter retorno sobre o investimento feito no projeto, o qual, é calculado a partir das entradas de caixa. Mesmo que se tenha várias entradas no fluxo de caixa, a ideia é que as entradas sejam acumuladas até a recuperação total do investimento (Gitman, 2002).

Existem dois tipos de PayBack que podem ser estudados e aplicados ao projeto. O PayBack simples e o PayBack descontado. Porém, o PayBack simples geralmente não é tão utilizado já que não observa o valor do dinheiro ao longo do tempo. O PayBack simples é facilmente compreendido e calculado, porém apresenta diversas limitações (Bruni e Famá, 2007; Frezatti, 2008; Assaf Neto e Lima, 2009).

Outrossim, o PayBack descontado se refere ao tempo necessário para que o projeto tenha o retorno do investimento levando em consideração os fluxos de caixa líquidos descontados. O qual, pode ser representado pela seguinte equação (Lopes; Nascimento; Santos; Alberto; Leite, 2017).

Ademais, para o cálculo do PayBack são mensuradas também outras variáveis como as conhecidas tarifas de energia. No Brasil, a Aneel é responsável pela definição dessas tarifas, as quais são medidas em R\$/kWh, também é avaliado o tipo de cliente, este podendo ser do Grupo A ou B e as bandeiras tarifárias (Carvalho, 2020).

Tendo em vista que o Payback é responsável por indicar o tempo necessário de recuperação do investimento feito, compreende-se, portanto, que a análise das tarifas é de extrema importância para verificar a viabilidade do projeto de implementação da energia fotovoltaica. Já que, quanto maior a tarifa, menor o Payback, o que torna mais viável o investimento (Carvalho, 2020).

Para que o cálculo do Payback seja feito considerando a viabilidade da instalação dos Sistemas fotovoltaicos, é possível considerar a seguinte fórmula (Carvalho, 2020):

$$\text{Payback (meses)} = \frac{\text{Investimento (R\$)}}{\text{Energia (kW h/mês)} \times \text{Valor da tarifa de energia (R\$/kWh)}}$$

O resultado da fórmula acima indica de forma simples a quantidade de tempo que haverá o retorno no investimento na energia solar levando em consideração a quantidade de energia gasta no mês, o valor que será investido e o valor da tarifa de energia atual.

## Bandeiras tarifárias e indicadores financeiros

A análise da viabilidade da implementação dos sistemas fotovoltaicos depende diretamente das tarifas e também das bandeiras tarifárias. As bandeiras tarifárias são responsáveis por determinar mensalmente qual será o valor da energia, indicando se custará mais ou menos. Essa determinação ocorre em função do meio de geração, ou seja, se precisar utilizar em determinado mês outras fontes de energias mais caras do que as hidrelétricas, por exemplo, o custo da energia potencialmente irá aumentar (Energisa, 2021).

As bandeiras, então, se dividem em 4 modalidades, as quais são denominadas: bandeira verde, bandeira amarela, bandeira vermelha (patamar 1) e bandeira vermelha (patamar 2). A bandeira verde representa as condições favoráveis de geração de energia. A bandeira amarela já começa a apresentar acréscimo na tarifa tornando condições menos favoráveis. E as bandeiras vermelhas representam as formas mais custosas de geração, sendo a de patamar 2 a maior tarifa (Energisa, 2021).

Figura 8 - Valores das bandeiras tarifárias de julho/2022 a junho/2023.



Fonte: Enel, 2023.

É apresentada na Figura 8 de como as tarifas podem vir a se comportar. No exemplo é demonstrado valores das bandeiras tarifárias de julho/2022 a junho/2023 de acordo com a Enel.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fontes de energias renováveis, assim como a energia solar, vêm se destacando e desempenhando um papel fundamental na matriz energética brasileira. Diversos benefícios podem ser levados em conta com a utilização do sistema fotovoltaico em residências, a sua fácil instalação e o crescente incentivo governamental dessa fonte de energia acabam tornando ainda mais viável a sua implementação.

Ademais, assim como já mencionado no trabalho, a Resolução Normativa da Aneel nº 1059/2023 coloca em vigência a Lei n. 14.300/2022 a qual, proporciona um grande incentivo para o investimento nesse sistema de energia, já que, é possível realizar o compartilhamento da energia quando se produz mais do que a demanda do domicílio. Observou-se na Figura 1 que o consumo médio por classe no Brasil predominantemente são das indústrias, mas que o consumo médio das residências fica bem próximo do industrial, com apenas 5,22% de diferença segundo os dados de 2023 da EPE. Ainda, o consumo energético brasileiro se caracteriza por relevantes alterações ao decorrer dos anos. Destacando-se o ano de 2021, onde obteve o maior pico de consumo energético segundo a EPE, um dos motivos que pode ter desencadeado essa alta foi a Covid 19 e as questões de isolamento que fizeram parte da vida de toda a população, durante um bom período, fazendo com que houvesse a concentração de pessoas em suas residências e consequentemente um aumento significativo do consumo energético como mostra a figura 2.

Compreende-se também através do tópico dos equipamentos utilizados para a geração de energia solar, que o sistema das placas pode ser de diferentes tipos. A tecnologia tem cada vez mais desenvolvido placas mais eficientes e potentes, e com modelos diversificados. Esses sistemas podem por exemplo armazenar ou não a energia produzida e procuram sempre a melhor experiência ao morador evitando que situações inesperadas aconteçam e levando o melhor conforto às residências.

Outrossim, contextualizando o foco principal do trabalho em questão, que é a análise da implementação das placas fotovoltaicas nas residências, tem-se que existem indicadores financeiros capazes de demonstrar a viabilidade da aplicação das placas no domicílio. Que são eles: o VPL, a TIR, o TMA e o Payback de investimento, podendo ser este último considerado um dos principais indicadores para a implementação do SFV (sistema fotovoltaico).

Muitas residências atualmente apresentam a necessidade de aplicação das placas, mas a grande dúvida é se a sua aplicação é economicamente viável. Para tanto, os indicadores supracitados exercem um papel fundamental para essa decisão. O VPL por exemplo é capaz de analisar o valor presente no fluxo monetário que é produzido pelo projeto ao longo de sua duração. O resultado do cálculo da

VPL irá ditar se o projeto será viável ou não. Ao apresentar um resultado positivo consequentemente o projeto é viável para implantação, já um resultado igual a zero conclui-se que é indiferente o empreendimento.

A TIR também é considerada um importante indicador financeiro para a análise de viabilidade. Na execução da análise entende-se que uma TIR maior que a TMA resulta positivamente no projeto, indicando que ele será viável financeiramente.

Ademais, o Payback de investimento é capaz de apresentar o tempo necessário de recuperação do investimento feito no projeto, o que resultaria no lucro do negócio após os anos de recuperação. Outro ponto a ser considerado, é que a análise da viabilidade da implantação dos sistemas fotovoltaicos (especialmente o Payback) depende diretamente das tarifas e também das bandeiras tarifárias. Ou seja, um dos pontos-chaves da análise da implantação de energia fotovoltaica em residências é que quanto mais a energia subir no Brasil, para quem está produzindo, mais rápido é o Payback de investimento, fazendo com que o projeto tenha um retorno mais rápido.

A implementação de sistemas fotovoltaicos em residências apresenta uma oportunidade estratégica não apenas para reduzir custos e dependência de fontes tradicionais, mas também para contribuir significativamente para a sustentabilidade e diversificação da matriz energética brasileira, alinhada com os objetivos ambientais e econômicos do país. A análise dos indicadores financeiros é essencial para embasar decisões eficazes e garantir o sucesso desses empreendimentos.

Além disso, as análises financeiras detalhadas, incluindo indicadores como VPL, TIR, TMA e Payback de investimento, são cruciais para determinar a viabilidade econômica da implementação de placas fotovoltaicas. Esses indicadores permitem uma avaliação cuidadosa dos retornos financeiros e do período de recuperação do investimento, evidenciando na prática a probabilidade do empreendimento.

Vale ressaltar a importância da análise de cada indicador, lembrando que as bandeiras tarifárias brasileiras são, quando elevadas, uma grande aliada da implementação do sistema fotovoltaico, tornando o projeto ainda mais vantajoso e propício a ter um retorno mais acelerado.

Para trabalhos futuros que busquem dar andamento a pesquisa, é satisfatória a aplicação na prática em diferentes cenários residenciais dos indicadores financeiros para a aproveitamento das placas fotovoltaicas. Assim, levando a pesquisa a alcançar dados relevantes sobre a aplicabilidade dos indicadores apresentados no trabalho.

Conclui-se, portanto, que a análise da viabilidade econômica da energia solar residencial é multifacetada e depende não apenas dos aspectos técnicos e ambientais, mas também das condições financeiras e regulatórias vigentes. Com o avanço da tecnologia e o contínuo apoio governamental, espera-se um crescimento ainda maior da adoção de sistemas fotovoltaicos nas residências brasileiras, tornando cada vez mais viável a sua aplicação e contribuindo para uma matriz energética mais sustentável e diversificada.

## REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Energia Solar cresce 110% em um ano e ultrapassa Itaipu**. 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/energia-solar-cresce-110-em-um-ano-e-ultrapassa-itaipu/>>. Acesso em: 15 de junho de 2023.
- ÁLVARES, Antonio Carlos Teixeira; BARBIERI, José Carlos; MACHLINE, Claude. **Taxa Interna de Retorno: Um Parâmetro do Projeto e Não Uma Medida de Retorno do Investimento**. 2007.
- BAYOD-RÚJULA, A. A.; LORENTE-LAFUENTE, A. M.; CIREZ-OTO, F. Environmental assessment of grid connected photovoltaic plants with 2-axis tracking versus fixed modules systems. **Energy**, Aalborg, v. 36, n. 5, p. 3148-3158, 2011.
- BRUNI, A.L.; FAMÁ, R. **As decisões de investimentos**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- CARRASCO, Juan Manuel *et al.* **Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey**. IEEE Transactions on industrial electronics, v. 53, n. 4, p. 1002-1016, 2006.
- CARVALHO, Lia. **O que é Payback TIR e VPL na energia solar?** INSTITUTO SOLAR, 2020. Disponível em <<https://institutosolar.com/viabilidade-financeira-de-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em 10 de mai. 2024.
- CEMIG. **Potência média de aparelhos residenciais e comerciais**. 2020. Disponível em: < <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/10/POTENCIA-MEDIA-DE-APARELHOS-RESIDENCIAIS-E-COMERCIAIS.pdf>>. Acesso em 24 de fev de 2024.
- COSBEY, A. **Trade, sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks**. The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective, p. 40, 2011.
- COSTA, Andrelise Cardoso *et al.* **Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável?**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 72637-72656, 2020.
- CURY, M. V. Q.; FILHO, J. C. F de A. **Análise de projetos de investimentos**. Rio de Janeiro: IDE, 2018.
- DE LEVA, Flávia Fernandes *et al.* **Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico**. Encontro energia meio rural, v. 5, 2004.
- ENERGISA. **Bandeiras tarifárias**. 2021. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/bandeiras-tarifarias.aspx>>. Acesso em: 05 de mai. 2024.
- ENEL. **Bandeira Tarifária vigente em Março/2024: verde**. 2023. Disponível em: <[https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para\\_Voce/Bandeira\\_Tarifaria.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para_Voce/Bandeira_Tarifaria.html)>. Acesso em 24 de abr. 2024.

EPE. **Boletim trimestral de consumo de eletricidade**. 1º trimestre de 2023. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-483/topico-680/Boletim%20Trimestral%20de%20Consumo%20de%20Eletricidade%20ANO%20IV%20-%20N%C2%BA13.pdf>>. Acesso em 12 de dez. 2023.

FURLANETTO, Cesar *et al.* **Uma contribuição à determinação de perfil do consumo de energia elétrica no ambiente residencial**. 2001.

GITMAN, Lawrence J. **Fundamentals of investing**. Pearson Education India, 2002.

GONZAGA, Vanessa. **Vale a pena investir em energia solar?**. SOLAR BRASIL. 2019. Disponível em: <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/vale-a-pena-investir-em-energia-solar/>>. Acesso em: 15 out. 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. DE A. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2019.

LOPES JUNIOR, Davidson Batista; NASCIMENTO, Maira Figueiredo; SANTOS, Stephanie Anderson Alves; ALBERTO, Jose Guilherme Chaves; LEITE, Adriano Cordeiro. **Análise do tempo de recuperação do capital investido na expansão de uma empresa do setor matrimonial**. Joinville: Abepro, 2017.

OLIVEIRA, Adary. **Método da taxa interna de retorno: caso de taxas múltiplas**. Revista de Administração de Empresas, v. 19, p. 87-90, 1979.

PILÃO, Nivaldo E.; HUMMEL, Paulo Roberto Vampré. **Matemática financeira e engenharia econômica**. São Paulo: Thomson, 2003.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos –CRESESB**. São Paulo. SP, 2014.

RESOLUÇÃO NORMATIVA Aneel Nº 1.059. Aneel, 2023. Disponível em: < <https://www2.Aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>>. Acesso em 23 de abr. 2024.

SILVA, Márcio Lopes da; FONTES, Alessandro Albino. **Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra**. Revista Árvore, v. 29, p. 931-936, 2005.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, MAG de; CAMARGO, IM de T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE)**. Brasília. 2006. p. 60.

SCHROEDER, Jocimari Tres *et al.* **O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento**. Revista Gestão Industrial, v. 1, n. 2, 2005.

SZWARCFITER, Jayme Luiz; SCHMITZ, Eber Assis; DE FREITAS RODRIGUES, Rosiane. Análise Empírica de Algoritmos para Escalonamento de Projetos com Maximização de Valor Presente Líquido. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (LII SBPO)**. João Pessoa PB, 2022.



# A Importância da Geração Distribuída para o Brasil

## *The Importance of Distributed Generation for Brazil*

Douglas Lima Ramiro

Luciano Souza de Souza

Jadson Justi

Mateus Souza Gonçalves

Jamson Justi

Edrilene Barbosa Lima Justi

Hildete Xavier de Oliveira

**Resumo:** O perfil diversificado da matriz energética brasileira desempenha um papel crucial na segurança, sustentabilidade e estabilidade econômica. O objetivo deste trabalho é explorar a relevância da geração distribuída no cenário energético do Brasil, com especial ênfase na utilização da tecnologia solar fotovoltaica. A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, com o emprego dos métodos histórico e comparativo. A geração distribuída (GD) destaca-se como uma abordagem inovadora, fortalecendo a resiliência do sistema elétrico. Uma legislação recente, como a Lei n. 14.300/2022 e a Resolução Normativa n. 1.059/2023, impulsiona a geração de créditos de energia, promovendo benefícios econômicos e ambientais. A energia solar surge como uma peça central na transição para um sistema mais sustentável, destacando-se pelos benefícios ecossistêmicos. O Brasil está demonstrando um compromisso claro em alcançar um futuro energético mais limpo, inclusivo e acessível.

**Palavras-chave:** geração distribuída; energia solar fotovoltaica; matriz energética brasileira.

**Abstract:** The diverse profile of the Brazilian energy matrix plays a crucial role in security, sustainability, and economic stability. The objective of this work is to explore the relevance of distributed generation in Brazil's energy scenario, with special emphasis on the use of solar photovoltaic technology. The methodology used is bibliographic, using historical and comparative methods as procedural methods. Distributed generation (DG) stands out as an innovative approach, strengthening the resilience of the electrical system. Recent legislation, such as Law No. 14,300/2022 and Normative Resolution No. 1,059/2023, promotes the generation of energy credits, promoting economic and environmental benefits. Solar energy emerges as a central piece in the transition to a more sustainable system, standing out for its ecosystem benefits. Brazil is demonstrating a clear commitment to achieving a cleaner, more inclusive, and affordable energy future.

**Keywords:** distributed generation; photovoltaic solar energy; Brazilian energy matrix.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve um aumento significativo na busca por fontes de energia sustentáveis e ambientalmente responsáveis em todo o mundo. O Brasil tem se destacado como um líder na adoção de alternativas que impulsionam a transição para um modelo energético mais limpo e eficiente, em meio aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por energia. Nesse cenário,

a geração distribuída, especialmente através da tecnologia solar fotovoltaica, surge como um pilar essencial para diversificar a matriz energética brasileira e promover uma sociedade mais sustentável (Goldemberg, 2007).

A expansão da geração distribuída é uma resposta eficaz aos desafios energéticos atuais, pois não apenas torna o sistema elétrico mais resiliente, mas também democratiza o acesso à energia e possibilita que os cidadãos participem ativamente na produção e consumo sustentáveis. Portanto, entender as bases teóricas, as mudanças regulatórias e os incentivos governamentais relacionados a essa abordagem é fundamental para compreendermos um futuro energético mais promissor alinhado às demandas ambientais globais (Bursztyn, 2020).

Neste estudo, exploraremos os principais aspectos que fundamentam a importância da geração distribuída no Brasil, realizando uma análise crítica abrangente das oportunidades e desafios oferecidos por essa forma de produção de energia. Através de uma análise baseada em informações e exemplos concretos, nosso objetivo é fornecer informações que ampliem o entendimento das implicações e benefícios da utilização da tecnologia de energia solar fotovoltaica na geração distribuída no Brasil.

O objetivo central deste trabalho é explorar a relevância da geração distribuída no cenário energético do Brasil, com especial ênfase na utilização da tecnologia solar fotovoltaica. Para tanto, serão abordados aspectos que permeiam desde o crescimento da geração distribuída até os impactos regulatórios e incentivos governamentais que alicerçam essa forma descentralizada de geração de energia. Além disso, serão destacados os múltiplos benefícios associados a essa abordagem, que vão desde a redução da dependência de combustíveis fósseis até a mitigação das emissões de gases poluentes, contribuindo assim para a transformação do panorama energético nacional.

Além disso, de acordo com Lakatos e Marconi (2019), essa pesquisa se caracteriza como bibliográfica, com base em textos, como livros, artigos científicos, ensaios críticos, leis e normas brasileiras, etc. No intuito de estudar/analisar a importância da geração distribuída no Brasil, com ênfase na utilização da tecnologia solar fotovoltaica, utilizou-se como métodos de procedimento, os métodos histórico e comparativo.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Perfil da Matriz Elétrica Brasileira

A matriz energética brasileira é composta por diversas fontes de energia, cada uma contribuindo de maneira única para atender às demandas do país. Essa diversificação é fundamental para garantir a segurança energética, a sustentabilidade ambiental e a estabilidade econômica.

Quanto à participação setorial, o setor elétrico é um dos principais consumidores de energia no Brasil, sendo responsável por uma parcela significativa do consumo

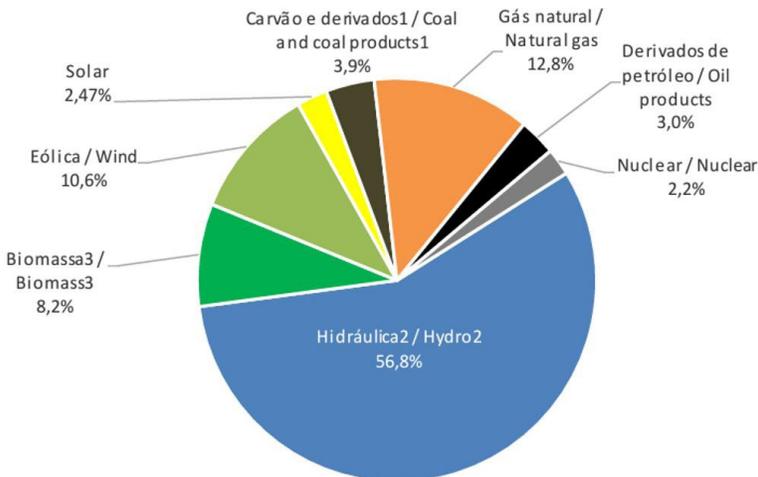
total. Outros setores importantes incluem transporte, indústria e residências. A busca por fontes mais sustentáveis, como a energia solar e eólica, tem levado a um aumento progressivo de sua participação na matriz, contribuindo para uma mudança gradual para um perfil mais limpo e resiliente (figura 1). A diversificação da matriz energética é uma estratégia crucial para garantir um suprimento confiável e eficiente, enquanto reduz o impacto ambiental e a dependência de fontes não renováveis (Almeida, 2015).

O Brasil possui uma matriz energética, em sua maioria de fontes renováveis e com foco em fontes hídricas. A fonte hídrica respondeu por 56,8% do abastecimento doméstico de energia em 2022, considerando que a quase totalidade das importações veio da usina Itaipu. As fontes de energia renovável respondem por 78,1% do fornecimento doméstico de eletricidade no Brasil. Isso vem da soma da produção nacional e importações, que são essencialmente renováveis.

## Geração Distribuída (GD) e Possibilidade de Geração de Créditos

A geração distribuída (GD) surgiu como uma resposta aos desafios enfrentados pela indústria de energia em todo o mundo. No passado, a produção de energia era predominantemente centralizada em grandes usinas, que geravam eletricidade em grande escala e a distribuíam por meio de redes extensas. No entanto, essa abordagem apresentava limitações em termos de eficiência energética, segurança e resiliência do sistema. Com o avanço das tecnologias de geração de energia renovável e a busca por formas mais sustentáveis de fornecimento, a geração distribuída ganhou destaque (ANEEL, 2023).

**Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte.**



**Fonte: Ben, 2022.**

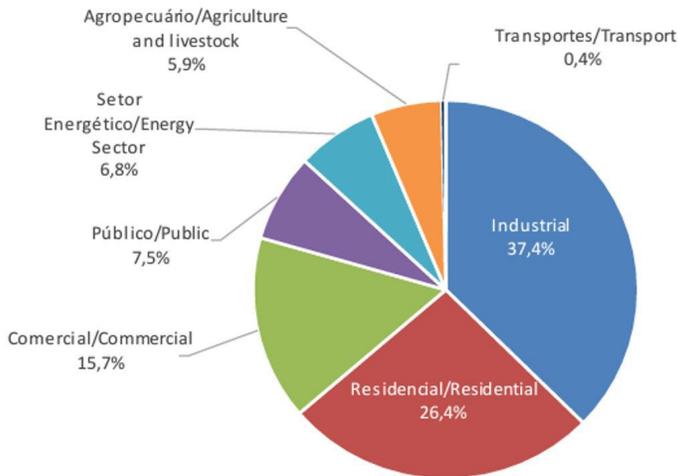
De acordo com a figura 2, os setores industrial, residencial e comercial consomem 79% da energia elétrica disponibilizada no país em 2021. Em 2021, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de

serviço público e autoprodutoras) alcançou 181.610 MW, acréscimo de 6.873 MW, não incluída a mini e micro geração (Ben, 2022).

A aplicação da tecnologia de geração distribuída, especialmente solar fotovoltaica é tida como uma das soluções para geração de energia elétrica sustentável, através de uma fonte inesgotável e a carbono neutro (não poluente na geração), proporcionando benefícios ambientais e eficiência energética na matriz brasileira (Marinoskietal, 2004).

A geração distribuída se refere à produção de eletricidade em locais próximos aos consumidores finais, muitas vezes nas próprias instalações dos mesmos. Isso permite maior independência energética e reduz a necessidade de transmitir eletricidade por longas distâncias, minimizando perdas e riscos associados. Fontes como energia solar fotovoltaica, energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas são frequentemente utilizadas na geração distribuída.

**Figura 2 - Participação setorial no consumo de eletricidade.**



**Fonte: Ben, 2022.**

No Brasil, a geração distribuída tem ganhado destaque como uma alternativa viável e benéfica para o sistema elétrico. Com um enorme potencial solar e eólico, o país tem incentivado o uso de tecnologias renováveis para a produção de energia, o que se alinha com seus objetivos de sustentabilidade e redução das emissões de carbono (Lira, 2019).

A história da geração distribuída remonta a várias décadas atrás, mas ganhou mais destaque à medida que as tecnologias avançaram e a conscientização sobre as preocupações ambientais aumentou. Algumas das principais fases e influências no desenvolvimento da geração distribuída incluem:

- **Crise Energética e Descentralização:** Nas décadas de 1970 e 1980, a crise do petróleo destacou a vulnerabilidade das nações dependentes de energia importada. Isso incentivou a busca por fontes de energia mais diversificadas e descentralizadas (PNE, 2050).

- **Avanços Tecnológicos:** O desenvolvimento de tecnologias de geração de energia renovável, como a solar fotovoltaica e a energia eólica, permitiu que os consumidores produzissem sua própria eletricidade de maneira mais eficiente.
- **Microgeração e Minigeração:** O termo “geração distribuída” começou a ganhar destaque nos anos 1990 e início dos anos 2000, à medida que os sistemas de Microgeração (pequenas instalações que produzem eletricidade para consumo próprio) e Minigeração (instalações maiores que podem alimentar o excesso de eletricidade na rede) foram discutidos e implementados.
- **Evolução das Políticas:** Muitos países adotaram políticas de incentivo à geração distribuída, como tarifas de alimentação (feed-in tariffs) que permitiam aos produtores de energia renovável vender o excesso de eletricidade à rede elétrica a preços vantajosos (EPE, 2012).
- **Tecnologias Inteligentes e Redes Elétricas Avançadas:** O desenvolvimento de redes elétricas inteligentes (smart grids) permitiu uma integração mais eficiente de fontes de energia distribuída, monitoramento em tempo real e gestão eficaz da demanda (Gesel, 2023).

No geral, a geração distribuída evoluiu como uma abordagem mais eficiente, sustentável e adaptável à geração de energia. Ela permite que indivíduos, empresas e comunidades participem ativamente na produção de energia e na transição para um sistema energético mais limpo e resiliente.

Um marco importante para a geração distribuída no Brasil foi a Lei n. 14.300/2022 (Brasil, 2022), que estabeleceu regras para a geração de créditos de energia, permitindo aos consumidores a compensação de sua produção excedente de energia elétrica na rede. Isso significa que os sistemas de geração distribuída podem gerar mais energia do que o necessário em determinados momentos, e o excedente é injetado na rede. Essa energia excedente é convertida em créditos de energia que podem ser usados para abater o consumo de eletricidade em momentos de menor produção, como à noite ou em dias nublados.

A Resolução Normativa (REN) n. 1.059/2023, criada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), complementou a Lei n. 14.300/2022, estabelecendo os procedimentos e critérios para a geração de créditos de energia. Essa resolução fornece diretrizes para a contabilização dos créditos, as formas como eles podem ser utilizadas e outras questões operacionais relacionadas à geração distribuída.

Essas medidas têm impulsionado a adoção da geração distribuída no Brasil, incentivando tanto consumidores residenciais quanto comerciais e industriais a investirem em sistemas de geração renovável. A geração de créditos de energia oferece benefícios econômicos e ambientais, permitindo aos consumidores reduzir suas contas de eletricidade, contribuir para a matriz energética limpa do país e aumentar a resiliência do sistema elétrico como um todo. A geração distribuída, com seus mecanismos de crédito, está se tornando uma parte integrante da transformação do setor energético brasileiro em direção a um futuro mais sustentável e descentralizado.

## Energia Solar e seus Benefícios

No contexto brasileiro, a energia solar assume um papel especialmente importante. O País possui uma geografia privilegiada, com ampla incidência de radiação solar ao longo do ano, particularmente nas regiões do Nordeste e Sudeste. Esse alto índice de irradiação solar confere um enorme potencial para a geração de energia solar em escala industrial e residencial. A abundância de sol disponível pode alavancar a transição do Brasil para um sistema energético mais limpo, contribuindo para a diversificação da matriz energética e reduzindo a dependência de fontes não renováveis (Camargo, 2015).

A energia solar é uma forma de energia renovável obtida a partir da conversão da luz solar em eletricidade ou calor. Ela é capturada por meio de painéis solares, que contêm células fotovoltaicas capazes de transformar a luz solar diretamente em eletricidade, ou por meio de sistemas de aquecimento solar, que absorvem a energia solar para aquecer fluidos usados em sistemas de aquecimento de água ou aquecimento ambiente (Carvalho, 2019).

Os benefícios da energia solar são significativos e abrangentes:

- **Renovabilidade:** A energia solar é inesgotável e naturalmente renovável, uma vez que o sol é uma fonte de energia praticamente constante e duradoura. Isso a torna uma opção sustentável para as necessidades de energia presentes e futuras (MME, 2017).
- **Redução de Emissões:** A geração de energia solar não emite poluentes atmosféricos nem gases de efeito estufa, contribuindo para a redução da pegada de carbono e para a mitigação das mudanças climáticas (MME, 2017).
- **Independência Energética:** A produção de eletricidade a partir do sol permite aos indivíduos, empresas e comunidades reduzirem sua dependência de fontes de energia não renováveis e importadas, aumentando a segurança energética (Bursztyn, 2020).
- **Redução de Custos:** Embora os investimentos iniciais em sistemas solares possam ser significativos, a energia solar pode levar a economias de longo prazo, pois os custos de operação e manutenção são relativamente baixos e a energia solar ajuda a reduzir as contas de eletricidade (Nascimento, 2016).
- **Criação de Empregos:** A indústria solar gera empregos em várias áreas, incluindo design, instalação, manutenção e pesquisa e desenvolvimento de tecnologias solares (Bursztyn, 2020).
- **Diversificação da Matriz Energética:** A energia solar contribui para diversificar a matriz energética, reduzindo a dependência de fontes fósseis e aumentando a resiliência do sistema elétrico (Oliveira, 2017).

Quanto aos impactos ambientais, a energia solar é amplamente considerada uma fonte de energia com baixo impacto ambiental. Comparada a fontes tradicionais de energia como carvão, petróleo e gás natural, a energia solar gera menos poluição

atmosférica, emissões de gases de efeito estufa e resíduos tóxicos. No entanto, é importante considerar que a produção de painéis solares envolve a extração de materiais e processos industriais, que podem ter impactos ambientais. No entanto, os benefícios da energia solar ao longo de sua vida útil geralmente superam esses impactos iniciais (Bursztyn, 2020).

Além disso, a energia solar proporciona independência energética aos consumidores. Ao produzir eletricidade em suas próprias instalações, os proprietários de sistemas solares podem reduzir sua dependência das concessionárias de energia e mitigar os impactos de flutuações nos preços dos combustíveis fósseis. Isso não apenas economiza dinheiro a longo prazo, mas também promove a estabilidade do suprimento de energia (Bursztyn, 2020).

Embora a geração de energia solar apresente vários benefícios, é importante observar que qualquer forma de geração de energia tem algum impacto. A produção de painéis solares requer recursos naturais e processos industriais, o que pode gerar emissões indiretas. No entanto, estudos demonstram que esses impactos são geralmente menores em comparação com as emissões contínuas associadas à geração de energia a partir de fontes fósseis (Moreira, 2020).

Em conclusão, a energia solar desempenha um papel crucial na transição para um futuro energético sustentável. Sua capacidade de produzir eletricidade limpa e renovável, reduzir emissões de gases de efeito estufa, promover a independência energética e aproveitar o abundante recurso solar disponível no Brasil a tornam uma opção promissora para atender às crescentes demandas de energia de forma ambientalmente responsável e economicamente vantajosa.

## **Geração de Créditos com Energia Solar Fotovoltaica**

A geração de créditos com energia solar fotovoltaica tem experimentado um aumento significativo devido a um arcabouço legal e regulatório que incentivou e impulsionou essa forma de geração de energia limpa. A possibilidade de injetar energia excedente na rede elétrica e abater esses créditos tem sido um fator relevante para o crescimento do setor solar no Brasil. Isso se deve, em grande parte, à Lei nº 14.300/2022 e à Resolução Normativa da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 1.059/2023, que estabeleceram as diretrizes para a geração compartilhada de energia e o sistema de compensação de créditos.

A Lei nº 14.300/2022 trouxe importantes mudanças no cenário energético brasileiro ao permitir a geração compartilhada de energia elétrica, o que possibilita que consumidores e empresas instalem sistemas de energia solar fotovoltaica em um local e utilizem os créditos gerados para abater o consumo de eletricidade em outros locais de sua titularidade, desde que todos estejam na mesma área de concessão da distribuidora. Isso significa que, por exemplo, uma empresa pode instalar painéis solares em sua sede e usar os créditos gerados para reduzir a conta de energia de suas filiais.

Além disso, a Resolução Normativa nº 1.059/2023 da ANEEL estabeleceu diretrizes específicas para a geração distribuída, incluindo a possibilidade de com-

pensação de créditos. Esse mecanismo permite que os proprietários de sistemas solares fotovoltaicos gerem créditos quando produzem mais energia do que consomem e, em seguida, utilizem esses créditos para abater o consumo em momentos em que a geração solar não é suficiente para atender à demanda.

Essas políticas têm sido fundamentais para tornar a energia solar fotovoltaica mais acessível e atrativa para os consumidores, tanto residenciais quanto comerciais e industriais. Com a possibilidade de abater créditos, os investimentos em sistemas solares têm um retorno do investimento mais rápido, tornando a transição para a energia solar uma escolha financeiramente viável (Moreira, 2020).

Além disso, o incentivo à geração distribuída de energia solar também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diversificação da matriz energética e a segurança energética. À medida que mais consumidores adotam sistemas solares fotovoltaicos e injetam energia limpa na rede, o país se torna menos dependente de fontes de energia não renováveis e mais resiliente a flutuações no suprimento de energia.

Portanto, a geração de créditos com energia solar fotovoltaica tem sido impulsionada e incentivada graças à legislação e regulamentação específicas, como a Lei nº 14.300/2022 e a Resolução Normativa nº 1.059/2023 da ANEEL. Essas medidas têm desempenhado um papel fundamental na expansão da energia solar no Brasil, trazendo benefícios ambientais, econômicos e energéticos para o país e seus cidadãos.

Segundo a figura 3 o aumento de quase 88% na Microgeração e Minigeração distribuída em 2022, em relação a 2021, é um indicador notável do crescimento significativo que o setor de energia solar no Brasil tem experimentado nos últimos anos. Essa expansão está diretamente relacionada às políticas de incentivo, à conscientização ambiental crescente e à queda dos custos dos sistemas solares fotovoltaicos (Ben, 2022).

**Figura 3 - O uso da energia elétrica.**

A **Micro e Minigeração Distribuída (MMGD)**<sup>1</sup> em 2022 apresentou aumento de quase 88% em relação a 2021, mantendo a seguinte configuração de participação das fontes na geração de energia:



<sup>1</sup> A energia solar fotovoltaica representou 94,3% da MMGD em 2022, sendo novamente a principal fonte responsável pelo aumento registrado na micro e minigeração distribuída.

**Fonte: Ben, 2022.**

Em termos de participação das fontes na geração de energia, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma das principais fontes de geração distribuída. Isso se deve a várias razões:

1. **Abundância e Disponibilidade:** O Brasil é um país com uma grande quantidade de luz solar ao longo do ano, tornando a energia solar uma opção viável e eficiente. A abundância de luz solar permite que os sistemas fotovoltaicos gerem eletricidade de forma consistente em grande parte do território nacional (Camilo, 2018).

2. **Políticas de Incentivo:** Como mencionado anteriormente, a legislação brasileira tem desempenhado um papel fundamental no incentivo à geração de energia solar distribuída. A Lei nº 14.300/2022 e a Resolução Normativa nº 1.059/2023 da ANEEL criaram um ambiente favorável para a adoção de sistemas solares fotovoltaicos.

3. **Queda de Custos:** Ao longo dos anos, os custos dos painéis solares e dos sistemas de geração solar diminuíram significativamente, tornando a energia solar uma escolha cada vez mais acessível e atraente para consumidores residenciais, comerciais e industriais (Ben, 2022).

4. **Sustentabilidade:** A crescente preocupação com o meio ambiente e as mudanças climáticas tem levado muitos consumidores a optarem por fontes de energia limpa e renovável, como a solar. A geração de energia solar é vista como uma maneira de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a sustentabilidade (ABSOLAR, 2022).

Ainda assim, é importante destacar que, apesar do rápido crescimento da energia solar, outras fontes de geração distribuída também desempenham um papel significativo na matriz energética brasileira. Isso pode incluir a geração eólica, a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

A diversificação da matriz energética é uma abordagem importante para garantir a resiliência do sistema elétrico, reduzir a dependência de fontes não renováveis e atender à crescente demanda por eletricidade de maneira sustentável. Portanto, embora a energia solar fotovoltaica esteja desempenhando um papel de destaque na geração distribuída, é importante continuar promovendo uma variedade de fontes de energia limpa para atender às necessidades energéticas do país de forma eficaz e sustentável (Bosselmann, 2016).

## Benefícios da geração de créditos com energia solar fotovoltaica

A geração de créditos com energia solar fotovoltaica é um sistema que permite aos proprietários de sistemas solares gerar eletricidade a partir da luz solar e, quando essa geração é superior ao consumo, os excedentes são injetados na rede elétrica. Essa energia excedente é registrada como créditos de energia, que podem ser usados posteriormente para abater o consumo quando a geração solar não é suficiente para atender à demanda (ABSOLAR, 2022).

Esse processo é possível graças a dois mecanismos principais (ANEEL, 2023):

**Compensação de Energia:** A energia gerada pelos painéis solares é medida por um medidor bidirecional, que registra tanto a energia fornecida à rede quanto a energia retirada da rede. Quando a geração solar excede o consumo, o excesso é exportado para a rede e transformado em créditos de energia. Quando o consumo excede a geração solar, os créditos são usados para abater o consumo.

**Geração Compartilhada:** A geração compartilhada permite que múltiplos consumidores participem de um único sistema solar. Isso é especialmente benéfico para condomínios, cooperativas e empresas com várias unidades consumidoras. Os créditos de energia gerados pelo sistema solar podem ser distribuídos entre os participantes, proporcionando economias coletivas.

**Economia Financeira:** A principal vantagem para os proprietários de sistemas solares é a economia nas contas de energia. Ao gerar sua própria eletricidade e abater os créditos, eles reduzem drasticamente os custos com eletricidade ao longo do tempo, muitas vezes alcançando um rápido retorno sobre o investimento (EPE, 2019).

**Sustentabilidade Ambiental:** A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia limpa e renovável que contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas. A geração solar também ajuda a preservar os recursos naturais, pois não requer o uso de combustíveis fósseis (Lira, 2019).

**Resiliência Energética:** A capacidade de armazenar créditos de energia permite que os consumidores se tornem mais independentes em relação à rede elétrica convencional. Isso é especialmente útil em situações de emergência, como apagões ou desastres naturais, quando o sistema solar pode fornecer energia de backup (EPE, 2019).

**Democratização da Energia:** A geração distribuída de energia solar democratiza o acesso à produção de eletricidade. Tanto residências quanto empresas podem se tornar produtores de energia, reduzindo sua dependência de grandes empresas de energia.

## Desafios e considerações futuras

Apesar dos benefícios evidentes, a geração de créditos com energia solar fotovoltaica ainda enfrenta desafios. Alguns deles incluem (Lana, 2015):

**Custos Iniciais:** A instalação de um sistema solar fotovoltaico pode ter custos iniciais significativos, o que pode ser uma barreira para muitos consumidores. No entanto, os preços dos painéis solares e sistemas de armazenamento de energia têm diminuído ao longo dos anos, tornando a energia solar mais acessível.

**Políticas Instáveis:** Mudanças frequentes nas políticas de incentivo à energia solar podem criar incerteza para os investidores e dificultar o planejamento a longo prazo. Políticas consistentes e estáveis são essenciais para o crescimento contínuo do setor.

**Armazenamento de Energia:** O armazenamento de energia é fundamental para maximizar a eficiência da geração de créditos com energia solar. A pesquisa e desenvolvimento contínuos de tecnologias de armazenamento de energia são necessários para superar os desafios de armazenar e utilizar a energia de forma eficaz (INPE).

**Integração na Rede:** A infraestrutura da rede elétrica precisa ser atualizada e adaptada para acomodar a geração distribuída de energia solar. Isso requer investimentos em tecnologia e regulamentação adequadas (EPE, 2019).

Em conclusão, a geração de créditos com energia solar fotovoltaica é uma abordagem inovadora que está revolucionando a forma como produzimos e consumimos eletricidade. Ela oferece benefícios ambientais, econômicos e sociais significativos, e seu crescimento contínuo dependerá da superação dos desafios atuais e da criação de um ambiente favorável por meio de políticas públicas consistentes. À medida que a tecnologia solar continua a evoluir, podemos esperar que ela desempenhe um papel cada vez mais importante na transição para um sistema de energia mais sustentável e resiliente.

## **Custos Típicos dos Equipamentos Utilizados na Geração de Energia Fotovoltaica**

Os custos típicos dos equipamentos utilizados na geração de energia fotovoltaica podem variar consideravelmente dependendo de diversos fatores, incluindo a capacidade do sistema, a qualidade dos componentes e a localização geográfica. No entanto, para fornecer uma ideia geral, aqui estão os principais componentes de um sistema fotovoltaico (Villalva, 2018):

1. **Painéis Solares (Módulos Fotovoltaicos):** Os painéis solares são feitos de células fotovoltaicas que convertem a luz solar em eletricidade. Existem diferentes tipos de painéis solares, com eficiências variadas. Os mais comuns são os painéis de silício cristalino. Os custos podem variar de acordo com a eficiência e a qualidade dos painéis. Painéis de alta eficiência geralmente são mais caros, mas podem ocupar menos espaço e gerar mais energia por área (Nascimento, 2016).

2. **Inversor Solar:** O inversor é um dos componentes mais críticos do sistema, pois converte a eletricidade CC dos painéis em eletricidade CA utilizável para alimentar sua casa ou empresa. Existem dois tipos principais de inversores: inversores de *string* (centralizados) e inversores micro (individualmente conectados aos painéis). Os inversores micro tendem a ser mais caros, mas oferecem vantagens de monitoramento e desempenho.

3. **Estrutura de Montagem e Instalação:** A estrutura de montagem é projetada para fixar os painéis no telhado ou no solo de forma segura e eficaz. A complexidade da instalação, o tipo de telhado e o local geográfico podem influenciar o custo das estruturas.

4. **Cabos, Conectores e Outros Componentes Elétricos:** Os cabos elétricos, conectores e outros componentes são necessários para interligar todos os elementos

do sistema e garantir um funcionamento seguro. A escolha de materiais de qualidade é essencial para evitar perdas de energia e garantir a segurança elétrica.

5. Trabalho de Instalação: Os custos de mão de obra incluem a instalação física dos painéis, a configuração do inversor, a integração ao sistema elétrico existente e testes de segurança. Instaladores profissionais são essenciais para garantir uma instalação adequada e segura.

6. Monitoramento e Sistema de Rastreamento (Opcional): Sistemas de monitoramento permitem que os proprietários acompanhem o desempenho de seus sistemas em tempo real. Além disso, sistemas de rastreamento solar podem otimizar a posição dos painéis ao longo do dia para maximizar a captura de luz solar.

7. Baterias de Armazenamento (Opcional): As baterias de armazenamento são usadas para armazenar a eletricidade gerada pelos painéis solares para uso noturno ou em dias nublados. Esses sistemas podem adicionar custos substanciais ao sistema, mas também aumentam a autonomia e a capacidade de fornecer energia de backup.

## Fatores que influenciam os custos

Segundo Oliveira (2017) os fatores que influenciam os custos na implantação de um sistema fotovoltaico são:

- **Tamanho do Sistema:** Quanto maior o sistema, mais painéis e, possivelmente, inversores serão necessários, aumentando os custos.
- **Localização Geográfica:** A quantidade de luz solar disponível em sua região afetará a produção de eletricidade e, portanto, o dimensionamento do sistema.
- **Qualidade dos Componentes:** A qualidade dos painéis solares, inversores e outros componentes pode variar. Componentes de alta qualidade tendem a ser mais caros, mas geralmente têm uma vida útil mais longa e melhor desempenho.
- **Incentivos e Subsídios:** Alguns governos estaduais ou federais oferecem incentivos, subsídios ou créditos fiscais para sistemas solares, o que pode reduzir significativamente os custos.
- **Complexidade da Instalação:** Telhados complexos, como telhados inclinados ou com várias orientações, podem exigir mais trabalho de instalação e, portanto, aumentar os custos.
- **Manutenção:** Embora a manutenção de sistemas fotovoltaicos seja geralmente baixa, pode haver custos associados à limpeza dos painéis solares ou à substituição de componentes com o tempo.

Em resumo, o custo de um sistema fotovoltaico depende de diversos fatores, mas geralmente compreende os principais componentes, a instalação e outros custos associados. É importante obter cotações de instaladores locais e considerar todos os fatores mencionados ao planejar a instalação de um sistema solar fotovoltaico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil da matriz energética brasileira é notável por sua diversidade, que desempenha um papel fundamental na garantia da segurança energética, da sustentabilidade ambiental e da estabilidade econômica do país. Cada fonte de energia contribui de maneira única para atender às demandas nacionais, o que é evidenciado pelos dados apresentados na figura 1.

Observou-se que a matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis, com destaque para a energia hidrelétrica. No entanto, é importante notar que a matriz também inclui fontes fósseis, como o gás natural, derivados de petróleo e carvão. Embora essas fontes tenham perdido parte de sua relevância devido ao aumento da participação de energias renováveis, ainda desempenham um papel significativo em setores-chave, como transporte e aquecimento.

A diversificação da matriz energética é crucial para o Brasil, uma nação com dimensões continentais e altamente dependente da energia. A ênfase nas fontes renováveis, como biomassa, energia solar e eólica, contribui para a redução das emissões de carbono e para a construção de um sistema energético mais sustentável. Além disso, a participação setorial no consumo de eletricidade, conforme demonstrada na figura 2, reflete a importância da eletricidade em setores como indústria e residências, destacando a necessidade de um confiável e eficiente.

A geração distribuída (GD) é uma abordagem inovadora que ganha destaque no Brasil, principalmente devido ao seu potencial solar e eólico abundante. Essa estratégia permite a produção de eletricidade próxima aos consumidores finais, reduzindo as perdas de transmissão e fortalecendo a resiliência do sistema elétrico.

O histórico da GD no Brasil, desde a crise energética nas décadas de 1970 e 1980 até o desenvolvimento de tecnologias renováveis e políticas de incentivo, demonstra seu crescimento progressivo. A Lei nº 14.300/2022 e a Resolução Normativa nº 1.059/2023 foram marcos importantes que possibilitaram a geração de créditos de energia. Esses créditos permitem aos consumidores compensar o excedente de energia elétrica na rede, aumentando a atratividade dos sistemas de GD.

A geração de créditos de energia oferece benefícios substanciais, tanto econômicos quanto ambientais. Os consumidores podem reduzir suas contas de eletricidade e contribuir para uma matriz energética mais limpa. Além disso, a GD e os mecanismos de crédito aumentam a resiliência do sistema elétrico ao descentralizar a produção de energia.

A adoção da GD, impulsionada pelos créditos de energia, está mudando o setor energético brasileiro em direção a um futuro mais sustentável e descentralizado. Isso não apenas reduzirá a dependência de fontes não renováveis, mas também alinhará o Brasil com as metas globais de combate às mudanças climáticas.

No geral, a diversificação da matriz energética e a expansão da geração distribuída são estratégias essenciais para garantir um fornecimento de energia

eficiente, ambientalmente sustentável e economicamente estável. O Brasil está trilhando o caminho para um futuro energético mais limpo e resiliente, com a geração de créditos de energia desempenhando um papel fundamental nesse processo.

A seção “Energia Solar e seus benefícios” destacou a importância da energia solar no contexto brasileiro, enfatizando as condições específicas de irradiação solar, as tecnologias de captação solar e uma série de benefícios associados a essa fonte de energia. É fundamental considerar que a energia solar é uma solução promissora para a transição para um sistema energético mais sustentável.

Vale ressaltar que o Brasil é geograficamente privilegiado com uma alta incidência de radiação solar, especialmente em regiões como o Nordeste e o Sudeste, conforme indicado no mapa de irradiação solar diária. Isso confere ao país um enorme potencial para a geração de energia solar tanto em escala industrial quanto residencial. A exploração desse recurso solar abundante tem o potencial de diversificar a matriz energética do Brasil, reduzindo sua dependência de fontes não renováveis (Camargo, 2015).

A energia solar é impulsionada por sua Renovabilidade, uma vez que o sol é uma fonte constante e de tensão de energia. Isso torna uma opção sustentável para atender às necessidades energéticas presentes e futuras. Além disso, a geração de energia solar não emite poluentes atmosféricos ou gases de efeito estufa, contribuindo para a redução da pegada de carbono e o combate às mudanças climáticas (MME, 2017)

A indústria solar também cria empregos em diversas áreas, desde design e instalação até manutenção e pesquisa e desenvolvimento de tecnologias solares. Isso é crucial para o crescimento econômico e a geração de empregos no setor de energias renováveis.

A energia solar contribui para a diversificação da matriz energética, diminuindo a dependência de fontes fósseis e aumentando a resiliência do sistema elétrico. No entanto, como apontado, é essencial considerar que qualquer forma de geração de energia tem algum impacto, mesmo que a energia solar seja uma das fontes de energia com menor impacto ambiental. Os impactos ambientais da produção de painéis solares são geralmente superados pelos benefícios ao longo de sua vida útil (Tolmasquim, 2016).

A energia solar é uma peça crucial na transição para um futuro energético sustentável. Sua capacidade de produzir eletricidade limpa e renovável, reduzir as emissões de gases de efeito estufa, promover a independência energética e aproveitar o sol abundante no Brasil torna-se uma opção promissora para atender às crescentes demandas de energia de forma ambientalmente responsável e economicamente vantajosa.

No tópico, “Geração de créditos com energia solar fotovoltaica”, o foco relembra as mudanças significativas que ocorreram no setor de energia solar no Brasil, em grande parte devido à legislação e regulamentação que incentivou e promoveu a geração de energia solar limpa. A seção explora as implicações da Lei nº 14.300/2022 e da Resolução Normativa da ANEEL nº 1.059/2023 no crescimento do setor.

A Lei nº 14.300/2022, que permitiu a geração compartilhada de energia elétrica, é um marco importante. Isso significa que consumidores e empresas podem instalar sistemas de energia solar em um local e utilizar os créditos gerados para reduzir o consumo de eletricidade em outros locais de sua titularidade, desde que todos estejam na mesma área de concessão da distribuidora. Isso é um incentivo significativo para a adoção da energia solar, especialmente para empresas com filiais ou diversas unidades consumidoras em diferentes locais.

Além disso, a Resolução Normativa nº 1.059/2023 da ANEEL definiu diretrizes específicas para a geração distribuída de energia solar, incluindo a possibilidade de compensação de créditos. Esse mecanismo permite que os proprietários de sistemas solares fotovoltaicos gerem créditos quando produzem mais energia do que consomem e, em seguida, utilizam esses créditos para diminuir o consumo em momentos em que a geração solar não é suficiente para atender à demanda.

Essas políticas têm sido cruciais para tornar a energia solar fotovoltaica mais acessível e atraente para consumidores residenciais, comerciais e industriais. O incentivo à geração distribuída de energia solar não cria apenas benefícios econômicos, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diversificação da matriz energética e a segurança energética.

A figura 4 que mostra um aumento de quase 88% na Microgeração e Minigeração distribuída em 2022, em relação a 2021, é um indicador notável do crescimento do setor de energia solar no Brasil. Isso está relacionado à crescente conscientização ambiental, à queda nos custos dos sistemas solares fotovoltaicos e ao ambiente regulatório favorável.

A energia solar fotovoltaica se destaca como uma das principais fontes de geração distribuída por várias razões, incluindo a abundância de luz solar no Brasil, políticas de incentivo, queda de custos e sustentabilidade. No entanto, é importante lembrar que outras fontes de geração distribuída, como a eólica, a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, também desempenham um papel importante na matriz energética brasileira. A diversificação da matriz energética é crucial para garantir a resiliência do sistema elétrico e atender às necessidades energéticas de forma sustentável.

Em relação à geração de créditos com energia solar fotovoltaica, é fundamental entender o processo de compensação de energia e a possibilidade de geração compartilhada. Isso permite economia financeira, sustentabilidade ambiental, resiliência energética e democratização da energia. No entanto, desafios como custos iniciais, políticas instáveis, armazenamento de energia e integração na rede precisam ser considerados.

Em resumo, a geração de créditos com energia solar fotovoltaica tem sido impulsionada por mudanças regulatórias e políticas, e esse crescimento é promissor para o Brasil em termos de benefícios ambientais, econômicos e energéticos.

“Custos típicos dos equipamentos utilizados na geração de energia fotovoltaica”, são discutidos os principais componentes e fatores que influenciam os custos de sistemas de energia solar fotovoltaica. O foco está em fornecer uma visão geral dos custos envolvidos na implementação de um sistema solar.

Os principais componentes de um sistema fotovoltaico incluem painéis solares, inversores solares, estrutura de montagem, cabos, conectores e outros componentes elétricos, além dos custos de mão de obra, monitoramento e armazenamento de energia, que são adicionais. Cada um desses componentes tem custos associados que podem variar de acordo com várias considerações.

Os painéis solares, feitos de células fotovoltaicas, convertem luz solar em eletricidade. Tipos de painéis solares estão disponíveis de forma diferente, e a escolha pode depender dos custos. Painéis de alta eficiência são mais caros, mas podem gerar mais eletricidade por área.

Os fatores que influenciam os custos incluem o tamanho do sistema, a localização geográfica, a qualidade dos componentes, incentivos e subsídios, a complexidade da instalação e custos de manutenção.

É importante destacar que os custos iniciais de um sistema solar podem ser significativos, mas os benefícios a longo prazo, como economia financeira e redução das emissões de gases de efeito estufa, podem superar esses custos. Além disso, o preço dos componentes solares tem diminuído ao longo dos anos, tornando a energia solar mais acessível.

Em resumo, os custos típicos dos equipamentos utilizados na geração de energia fotovoltaica variam de acordo com uma série de fatores, mas compreendem os principais componentes e despesas associadas. Planejar aprimorar a instalação de um sistema solar envolve considerar todos esses elementos e fatores para garantir um investimento eficaz e sustentável em energia solar.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados e divulgação revela que o Brasil está tomando medidas sérias em direção a um sistema de energia mais sustentável, diversificado e descentralizado. A diversificação da matriz energética, com ênfase nas fontes renováveis, é essencial para garantir a segurança energética do país, reduzir as mudanças de carbono e alinhar o Brasil com os objetivos globais de combate às mudanças climáticas.

A geração distribuída de energia, especialmente com energia solar fotovoltaica, está desempenhando um papel crucial nessa transformação. O incentivo à produção de créditos de energia permite aos consumidores reduzir seus custos de eletricidade, contribuir para a matriz energética limpa e fortalecer a resiliência do sistema elétrico. As mudanças regulatórias, como a Lei nº 14.300/2022 e a Resolução Normativa nº 1.059/2023, têm sido decisivas para tornar a energia solar mais acessível e atraente.

No entanto, é importante considerar os desafios ainda existentes, incluindo custos iniciais, políticas instáveis, armazenamento de energia e integração na rede. O planejamento cuidadoso e a consideração de todos os componentes e fatores envolvidos na implementação de sistemas solares são fundamentais para garantir investimentos estratégicos e sustentáveis.

Em síntese, o Brasil não está no caminho certo para um futuro energético mais limpo, sustentável e economicamente vantajoso. A energia solar, juntamente com outras fontes de geração distribuída, desempenha um papel fundamental nessa jornada, contribuindo para a independência energética, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o crescimento econômico por meio da criação de empregos no setor de energias renováveis. A transição para um sistema energético mais sustentável é crucial, e o Brasil está demonstrando um compromisso claro em alcançá-la.

Além disso, a energia solar e a geração distribuída não oferecem apenas vantagens econômicas e ambientais, mas também reduzem a democratização da energia. A capacidade de os consumidores produzirem sua própria eletricidade e especificamente com outros locais de sua titularidade promove a autonomia e a sustentabilidade energética em comunidades, residências e empresas. Essa democratização da energia é um passo importante na direção de um sistema mais inclusivo e acessível, onde um número cada vez maior de brasileiros pode participar da transição para um futuro energético mais limpo e sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR, 2022. **Busca por energia renovável como a eólica e solar aumenta de forma exponencial durante mês do meio ambiente.** Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/busca-por-energia-renovavel-como-a-eolica-e-solar-aumenta-de-forma-exponencial-durante-mes-do-meio-ambiente/>.

ALMEIDA, E. L. F. D., OLIVEIRA, P. V. D., & LOSEKANN, L. **Impactos da contenção dos preços de combustíveis no Brasil e opções de mecanismos de precificação.** 2015. *Brazilian Journal of Political Economy*, 35(3), 531–556. <https://doi.org/10.1590/0101-31572015v35n03a09>.

ANEEL. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012.

ANEEL. **Marco legal da Micro e Minigeração Distribuída.** Agência Nacional de Energia Elétrica. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida>.

BEN (**Balço Energético Nacional**, 2022). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>.

BOSELNANN, K. (2016). **Germany's 'Energiewende': what can environmental law scholarship learn from it?** Em J. J. Manzano, N. Chalifour, & L. J. Kotze (Eds.), *Energy, governance and sustainability* (pp. 11-29). Gelteham: Edward Elgar Publishing Limited.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 7 de janeiro de 2022. **Dispõe sobre o marco legal para o setor elétrico e institui a Lei do Consumidor de Energia Elétrica.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jan. 2022. Seção 1, p. 1

BURSZTYN, M. **Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas**<sup>1</sup>. 2020. Estudos Avançados, 34(98), 167–186. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3498.011>

CAMARGO, Fernando. **Desafios e oportunidades para a energia eólica no Brasil: recomendações para políticas públicas**. WWF-Brasil–Fundo Mundial para a Natureza, Brasília, v. 1, p. 4-32, 2015.

CAMILO, Antônio Rafael Moreira. **Energia solar no Brasil: uma breve revisão de literatura**. 2018. 35 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - Ieds, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

CARVALHO, M. M. de, Magalhães, A. S., & Domingues, E. P. **Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais**. 2019. Nova Economia, 29(2), 459–485. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/4719>.

EPE (Empresa de Pesquisa Elétrica). **Demanda de Energia 2050**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Publicações disponíveis em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>.

FGV Energia. (2014). **Carvão mineral na Matriz Energética Brasileira**. [https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/arquivos/fernando\\_zancan.pdf](https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/arquivos/fernando_zancan.pdf).

GOLDEMBERG, J., & Lucon, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. 2007. Estudos Avançados, 21(59), 7–20. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142007000100003>.

GESEL. **Observatório de Tecnologias Exponenciais**. 2023. Disponível em: <https://gesel.ie.ufrj.br/gesel-publica-observatorio-de-tecnologias-exponenciais-no-11/>.

GREENER. SUMMIT. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída**. 2023. Disponível: [www.greener.com.br/analisemarcolegaldageracaodistribuida](http://www.greener.com.br/analisemarcolegaldageracaodistribuida) Acesso em: 08/10/2023.

LANA, Luana Teixeira Costa *et al.* **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica**. Engenharias On-line, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015.

LIRA, M. A. T. MELO, M. L. DA S. RODRIGUES, L. M. SOUZA, T. R. M. de. **Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO<sub>2</sub> no Estado do Ceará**. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786343046>

MOREIRA Júnior O. SOUZA CC de. **Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha.** Interações (Campo Grande) [Internet]. 2020Apr;21(2):379–87. Disponível em: <https://doi.org/10.20435/inter.v21i2.1760>.

MARINOSKI, L.D.; SALAMONI, I.T.; RUTHER, R. **Pré dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC.** In: Anais 1º Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, E10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo: ENTAC,2004.

NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geziele Mucio. **Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: Métodos e benefícios ambientais.** Anais XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência–Universidade do Vale do Paraíba, 2016.

OLIVEIRA, Luis Guilherme Monteiro. **Avaliação de fatores que influenciam na estimativa da geração e operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** 2017. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-AR5FZG>

PLANO Nacional De Energia. **PNE 2050.** Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-523/PNE\\_2050\\_\\_\\_Relat\\_rio\\_\\_\\_Consulta\\_P\\_blica\\_.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-523/PNE_2050___Relat_rio___Consulta_P_blica_.pdf).

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.** Renewables 2017: Global Status Report, REN21, Paris, 2017.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil.** Rio de Janeiro: Interciência, Cinergia, 2003.

VILLALVA, 2018. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2018. Edition: 1; ISBN: 978-8536514895.



# Modelagem da Cinemática Direta de Robô com Quatro Graus de Liberdade e Simulação no Software MATLAB® via Robotics Toolbox

## Modeling of the Forward Kinematics of a Four-Degree-of-Freedom Robot and Simulation Using MATLAB® Software via the Robotics Toolbox

**Flavia Macedo Pontim**

*Graduando em Engenharia de Eletrônica pela UTFPR-CM*

**João Matheus Simm de Oliveira**

*Graduando em Engenharia de Eletrônica pela UTFPR-CM*

**Flávio Luiz Rossini**

*Docente do curso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. ID Lattes: 8616413126997528*

**Resumo:** Este estudo apresenta a modelagem cinemática de um robô manipulador com quatro graus de liberdade, todos rotacionais, a partir da metodologia de Denavit-Hartenberg (D-H), além da validação por simulações na *Robotics Toolbox for MATLAB*. A metodologia inclui a definição dos parâmetros D-H, construção das matrizes de transformação homogênea e implementação da cinemática direta para determinar a posição e orientação do efetuador. Após a modelagem teórica, compararam-se os resultados com os obtidos via simulação, dessa forma verificou-se a precisão do modelo. A análise dos resultados numéricos demonstrou uma forte correlação entre teoria e prática, o que confirmou a consistência do método adotado. O desempenho do robô manipulador superou as expectativas iniciais e evidenciou a robustez da abordagem utilizada. A simulação computacional foi essencial para validar o comportamento cinemático do robô antes da implementação física, isso potencializa o desenvolvimento da robótica e proporciona uma ferramenta confiável para análise e controle de manipuladores robóticos. Os resultados indicam que os métodos aplicados aproximam a teoria de contextos reais e esses podem ser usados para otimização e controle de sistemas robóticos em aplicações industriais e acadêmicas.

**Palavras-chave:** robótica; modelagem cinemática; Denavit-Hartenberg; matriz de transformação; MATLAB.

**Abstract:** This paper presents the kinematic modeling of a robot manipulator with four degrees of freedom, all rotational, based on the Denavit-Hartenberg (D-H) methodology, in addition to validation by simulations in the *Robotics Toolbox for MATLAB*. The methodology includes the definition of the D-H parameters, construction of the homogeneous transformation matrices and implementation of the direct kinematics to determine the position and orientation of the effector. After the theoretical modeling, the results were compared with those obtained through simulation, thus verifying the accuracy of the model. The analysis of the numerical results demonstrated a strong correlation between theory and practice, which confirmed the consistency of the adopted method. The performance of the robot manipulator exceeded the initial expectations and highlighted the robustness of the approach used. The computational simulation was essential to validate the kinematic behavior of the robot before the physical implementation, this enhances the development of robotics and provides a reliable tool for

analysis and control of robotic manipulators. The results indicate that the applied methods approximate the theory to real contexts and these can be used for optimization and control of robotic systems in industrial and academic applications.

**Keywords:** robotics; kinematic modeling; Denavit-Hartenberg; transformation matrix; MATLAB.

## INTRODUÇÃO

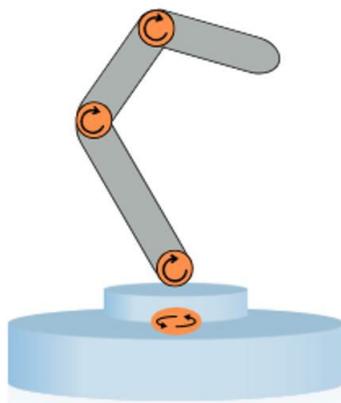
A Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, trouxe profundas mudanças na sociedade, impulsionando a produtividade e transformando a forma como o trabalho era realizado<sup>(1)</sup>. Com o avanço da tecnologia, a indústria evoluiu para um novo paradigma, a Indústria 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), comunicação máquina a máquina e automação totalmente integrada. Nesse contexto, a robótica desempenha um papel fundamental, a qual permite a substituição da mão de obra humana em tarefas insalubres e amplia a eficiência dos processos produtivos.

Há duas frentes de desenvolvimento na área de robótica, a saber, a robótica móvel e a fixa. A robótica móvel se caracteriza pela capacidade de locomoção <sup>(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14)</sup>. A robótica fixa ou manipuladores robóticos, possuem base fixa e demais corpos móveis concatenados na forma de cadeia aberta ou fechada <sup>(15)</sup> a <sup>(36)</sup>. Os manipuladores robóticos são essenciais na automação industrial, sendo amplamente utilizados em diversas aplicações. Entre eles, os robôs do tipo SCARA se destacam por sua robustez e velocidade, tornando-se cerca de dez vezes mais rápidos que outros robôs articulados <sup>(15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 35, 36)</sup>. Para garantir a precisão desses dispositivos, a cinemática dos manipuladores é um fator crucial. A cinemática compreende o estudo do movimento sem considerar as forças físicas envolvidas, sendo fundamental para determinar a posição e a orientação de um objeto no espaço tridimensional <sup>(37)</sup>. A cinemática inversa, por sua vez, busca encontrar as combinações de ângulos das juntas que permitem ao manipulador alcançar uma posição desejada, essa exige ferramentas computacionais como o Matlab® para sua implementação <sup>(4-36)</sup>.

Além disso, com o avanço da Indústria 4.0, microcontroladores como o ESP32 e Arduino desempenham um papel essencial na automação e conectividade dos sistemas embarcados <sup>(40)</sup>. Esses dispositivos permitem a troca de informações com o ambiente e a tomada de decisões baseadas nos dados recebidos <sup>(38)</sup>. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo comparar o resultado analítico obtido da cinemática com a simulação do software *Robotics Toolbox for MATLAB*.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho apresenta um robô com quatro graus de liberdade rotacionais, como apresentado na figura 1.

**Figura 1 - Ilustração do Manipulador Robótico Articulado.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Aplicou-se o método de Denavit-Hartenberg (D-H) para obtenção da cinemática direta, pois é amplamente utilizado na modelagem cinemática de manipuladores robóticos devido à sua padronização na representação dos elos e juntas, o que simplifica a formulação das transformações entre sistemas de coordenadas<sup>(39)</sup>. Além disso, esse método permite a obtenção eficiente da cinemática direta e inversa, dessa forma facilita a análise matemática e a implementação computacional em diversas aplicações, como robôs industriais e humanoides<sup>(37)</sup>.

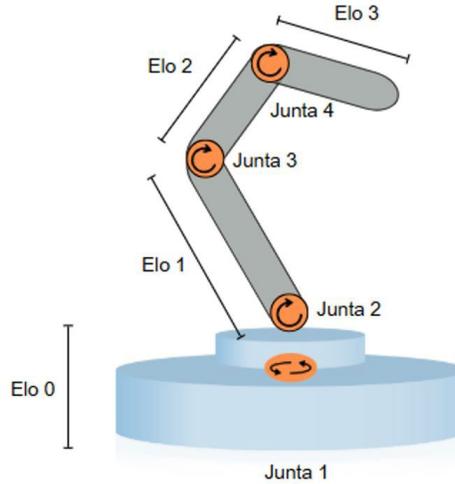
## **Definição dos Sistemas de Coordenadas**

Para aplicar o método D-H, é necessário atribuir um sistema de coordenadas a cada elo do robô, a partir das seguintes regras:

1. O eixo de cada elo é alinhado com o eixo de atuação da junta correspondente.
2. O eixo é definido de modo a ser perpendicular ao eixo e apontando na direção do próximo elo.
3. O eixo é definido de acordo com a regra da mão direita, garantindo um sistema de coordenadas ortonormal.

No caso do presente projeto, as especificações de juntas e elos podem ser observadas na figura 2.

**Figura 2 - Representação das juntas e elos.**



Fonte: Autoria Própria.

## Parâmetros de Denavit-Hartenberg

Cada elo do robô é caracterizado por quatro parâmetros D-H, que descrevem a transformação entre os sistemas de coordenadas consecutivos <sup>(39)</sup>:

- $\theta_i$ : Ângulo de rotação ao redor do eixo  $z_{i-1}$ , que representa a rotação relativa entre os elos;
- $d_i$ : Distância ao longo do eixo  $z_{i-1}$ , que caracteriza a posição relativa entre os elos;
- $a_i$ : Distância entre os eixos  $z_{i-1}$  e  $z_i$ , medida ao longo do eixo  $x_i$ ;
- $\alpha_i$ : Ângulo entre os eixos  $z_{i-1}$  e  $z_i$ , ao longo do eixo  $x_i$ , que determina a inclinação entre os elos.

A transformação homogênea entre dois elos consecutivos é representada por uma matriz  $T_i^{i-1}$ , definida como:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & \alpha_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & \alpha_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

A multiplicação sequencial dessas matrizes permite determinar a posição e a orientação final do efetuador do robô em relação à base, sendo fundamental para a programação de trajetórias e o controle cinemático de manipuladores.

## PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO SEGUNDO SCHILLING (1990)

Schilling (1990) propõe um procedimento sistemático para a aplicação do método D-H na modelagem de manipuladores robóticos, que consiste nas seguintes etapas <sup>(42)</sup>:

### 1. Definição dos Sistemas de Coordenadas

- Atribuir um sistema de coordenadas a cada elo do robô;
- Alinhar o eixo  $Z_i$  com o eixo de rotação (para juntas rotativas) ou de translação (para juntas prismáticas).

### 2. Identificação dos parâmetros de D-H:

- Para cada elo  $i$ , determinar os quatro parâmetros conforme a convenção de D-H ( $\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i$ ).

### 3. Construção da Matriz de Transformação Homogênea

- Para cada elo, construir a matriz de transformação  $T_i$  utilizando os parâmetros identificados.

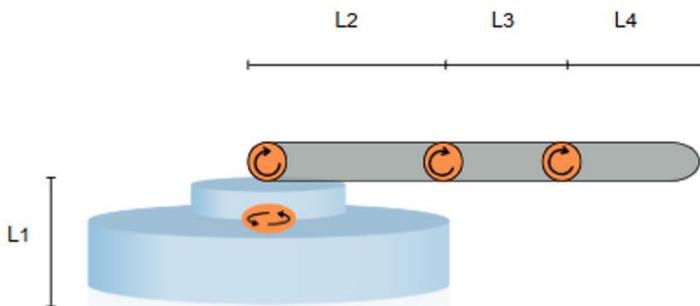
### 4. Cálculo da Posição e Orientação do Efetuador

- Multiplicar as matrizes de transformação de cada elo para obter a matriz de transformação total do robô:  $T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot \dots \cdot T_n$ ;
- A matriz resultante fornece a posição e a orientação do efetuador em relação à base do robô.

## DESENVOLVIMENTO

Para seguir o procedimento de Aplicação Segundo Schilling (1990), o robô representado na figura 2 teve sua posição inicial modificada a fim de facilitar a análise e desenvolvimento do método de D-H, como mostrado na figura 3 <sup>(42)</sup>.

Figura 3 - Posição inicial para a aplicação do método de D-H.



Fonte: Autoria Própria.

Os parâmetros de D-H para cada elo  $i$  foram alocados na tabela 1.

**Tabela 1 - Tabela de Denavit-Hartenberg.**

$i$	$\theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	$\theta_1$	$L_1$	0	$90^\circ$
2	$\theta_2$	0	$L_2$	0
3	$\theta_3$	0	$L_3$	0
4	$\theta_4$	0	$L_4$	0

**Fonte: Autoria Própria.**

Com os dados obtidos, pode-se atribuir os dados da Tabela 1 para a matriz de transformação homogênea, dada pela Equação (1). Ao desmembrar a matriz de transformação homogênea em suas transformações para os elos 0 e 1, obtém-se:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

para os elos 2 e 1:

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & L_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & L_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

para os elos 3 e 2:

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & L_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & L_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

e para os elos 4 e 3:

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & L_4 \cos \theta_4 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & L_4 \sin \theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Logo, ao multiplicar as Equações (2), (3), (4) e (5), obtém-se a matriz de transformação homogênea do robô manipulador, conforme (6):

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & \sin \theta_1 & A \\ \sin \theta_1 (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\cos \theta_1 & B \\ \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & 0 & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Sendo:

$$A = \cos \theta_1 (L_2 \cos \theta_2 + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)) \quad (7)$$

$$B = \sin \theta_1 (L_2 \cos \theta_2 + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)) \quad (8)$$

$$C = L_1 + L_2 \cos \theta_2 + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_4 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \quad (9)$$

## TOOLBOX/SIMULAÇÃO

A implementação da cinemática direta de um robô articulado pode ser realizada por meio da *Robotics Toolbox for MATLAB*, desenvolvida por Corke (2017) <sup>(41)</sup>. Essa ferramenta permite modelar, simular e analisar robôs manipuladores de maneira eficiente e intuitiva.

Para definir o modelo cinemático do robô, utiliza-se a convenção de *Denavit-Hartenberg (D-H)*, já descrita na sessão anterior, onde cada elo é descrito por quatro parâmetros: ângulo da junta, deslocamento, comprimento do elo e ângulo de torção. No Matlab®, esse modelo é implementado na classe *Link()* da Toolbox. O Código 1 define um robô manipulador com quatro graus de liberdade:

**Código 1 - Código escrito via Matlab®.**

```
syms th1 th2 th3 th4;
syms L1 L2 L3 L4;
L(1) = Link([0 L1 0 pi/2]);
L(2) = Link([0 0 L2 0]);
L(3) = Link([0 0 L3 0]);
L(4) = Link([0 0 L4 0]);
R = SerialLink(L);
dir = simplify(R.fkine([th1 th2 th3 th4]));
```

**Fonte: Autoria Própria.**

Neste trecho de código, os ângulos das juntas são definidos simbolicamente, assim como os comprimentos dos elos. Cada elo é representado como um objeto *Link()*, que recebe os parâmetros D-H adequados. Em seguida, os elos são encadeados para formar um manipulador serial utilizando a classe *SerialLink()*.

A função *fkine()* é utilizada para calcular a matriz de transformação homogênea do efetuador final em relação à base. A função *simplify()* permite expressar essa matriz de forma reduzida.

A cinemática direta é essencial para determinar a posição e orientação do efetuador final a partir dos valores das variáveis de junta. A matriz resultante descreve a posição do efetuador no espaço cartesiano e sua orientação em relação ao referencial da base. Com esse modelo, é possível realizar simulações, calcular espaço de trabalho e validar a implementação do robô antes da execução física. A matriz de transformação homogênea obtida para o efetuador final é descrita na equação 6, e complementada nas equações 7, 8 e 9:

## COMPARAÇÃO / RESULTADOS

Conforme resultados alcançados via resolução algébrica e via *Robotics Toolbox for MATLAB*, tem-se dois resultados de matrizes de transformação homogêneas, ambos os resultados representados pela equação (6). Para comprovar que ambas as equações são equivalentes, pode-se verificar através do Matlab® a posição final do manipulador a partir de um vetor de ângulos de entrada.

Usou-se comprimentos unitários para os elos, é possível verificar através da tabela 2 com diferentes entradas, temos:

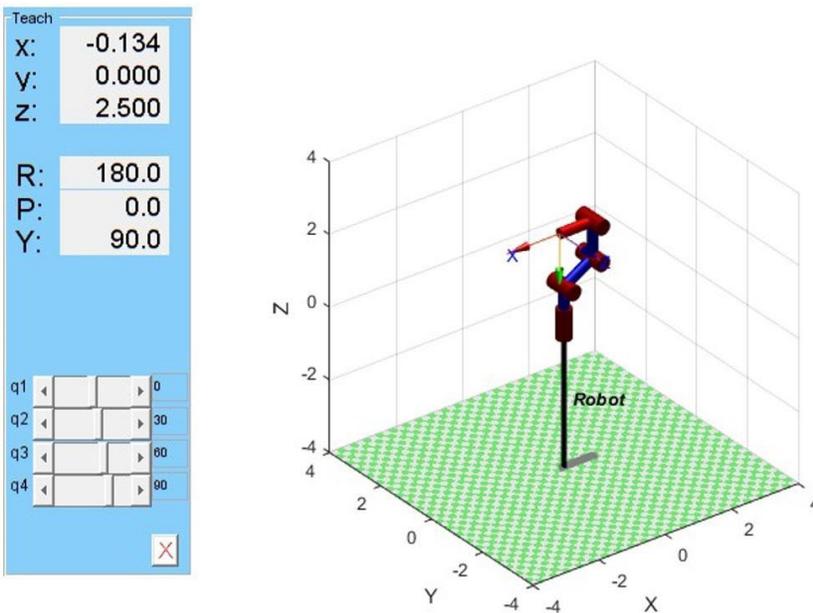
**Tabela 2 - Comparação entre o resultado de posição.**

Entrada	Saída - Resolução algébrica	Saída - Toolbox	Erro relativo – (%)
[0 0 0 0]	[3 0 1]	[3 0 1]	[0 0 0]
[0 30 60 90]	[-0,134 0 2,5]	[-0,134 0 2,5]	[0 0 0]
[10 20 30 40]	[1,5584 0,2748 3,1081]	[1,558 0,2748 3,108]	[0.0257 0 0.0032]
[8 27 128 36]	[-0,9872 -0,1387 1,6858]	[-0,987 -0,139 1,686]	[-0.9872 -0.1387 1.6858]

Fonte: Autoria Própria.

Para testar as diferentes entradas através da *Robotics Toolbox for MATLAB* é possível utilizar a função *R.teach()*, que abre uma figura com barras deslizantes, conforme a figura 4:

**Figura 4 - Robô Manipulador.**



Fonte: Autoria Própria.

A análise dos dados obtidos permitiu concluir que o desempenho do robô manipulador superou as expectativas inicialmente previstas. Com base nos resultados, pode-se afirmar que os métodos propostos são robustos e prometem ser de grande utilidade em aplicações práticas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa confirmam as hipóteses levantadas e demonstram a precisão do modelo cinemático desenvolvido, validado por meio da *Robotics Toolbox for MATLAB*. A utilização dessa ferramenta não apenas permitiu uma análise detalhada do comportamento cinemático do robô manipulador, mas também se mostrou essencial para aproximar a teoria dos contextos reais, facilitando a otimização e o controle de sistemas robóticos.

Além disso, a pesquisa evidencia o potencial da *toolbox* no ensino da robótica, essa proporciona uma abordagem mais interativa e visual para os alunos. A simulação computacional contribui significativamente para o aprendizado da cinemática dos manipuladores robóticos, a mesma permite uma compreensão mais intuitiva dos conceitos. Assim, este estudo reforça a importância da modelagem e simulação como ferramentas fundamentais no desenvolvimento e na validação de sistemas robóticos, o que incentiva novas pesquisas para aprimorar metodologias de ensino e expandir as aplicações acadêmicas e industriais da robótica.

Diante dos resultados obtidos na modelagem da cinemática direta, futuras pesquisas devem ser direcionadas para o desenvolvimento e validação da cinemática inversa, nessa linha permite investigar técnicas de controle aplicadas aos manipuladores robóticos e potencializa nas aplicações em ambientes industriais e acadêmicos.

## REFERÊNCIAS

- 1- Harari, Yuval Noah. 21 Lições Para O Século 21. 1. Ed. São Paulo: Companhia Das Letras, 2018.
- 2- Oliveira, L. F. P.; Rossini, F. L.. Caracterização De Dados Dos Sensores Lidar E Encoders De Um Robô Móvel Com Rodas. In: Iii Simpósio De Tecnologia E Engenharia Eletrônica - Iii Simteel. Campo Mourão, 2016.
- 3- Oliveira, L. F. P.; Rossini, F. L.. Calibração De Sistemas De Hometria Para Robôs Móveis Com Rodas. In: Iii Simpósio De Tecnologia E Engenharia Eletrônica - Iii Simteel. Campo Mourão, 2016.
- 4- Oliveira, L. F. P.; Rossini, F. L.. Modeling, Simulation And Analysis Of Locomotion Patterns For Hexapod Robots. Ieee Latin America Transactions, V. 16, N. 2, P. 375-383, Fev. 2018. Doi: 10.1109/Tla.2018.8327389
- 5- Oliveira, L. F. P.; Rossini, F. L.; Silva, M. F.; Moreira, A. P.. Modeling, Simulation

And Implementation Of Locomotion Patterns For Hexapod Robots. In: 2020 Ieee Congreso Bional De Argentina (Argencon), Resistencia, Argentina, 2020, P. 1-1. Doi: 10.1109/Argencon49523.2020.9505570

6- Oliveira, L. F. P.; Manera, L. T.; Silva, M. F. S.; Rossini, F. L.. Software De Simulação De Robôs Hexápodes. Registro De Software, Número Da Patente Br512020000582-9, 2020. Disponível Em: <https://transparencia.cc/dados/Inpi/software/5120200005829-Software-De-Simulacao-De-Robos-Hexapodes/>. Acessado Em: 07 Mar. 2025.

7- Ferreira, L. A.; Rossini, F. L.; Brolin, L. C.. Modelagem E Análise De Estabilidade De Um Drone Terrestre De Duas Rodas Com Acionamento Diferencial. In: Soares, A. M. Tópicos Especiais Em Engenharia: Inovações E Avanços Tecnológicos – Vol. 11. Ponta Grossa: Aya Editora, 2024. P. 24-42. Doi: 10.47573/Aya.5379.2.313.2

8- Kaneda, E. K.; Berger, G.; Pinto, V. H.; Pinto, M. F.; Ferreira, M.; Rossini, F. L.; Lima, J.. Development Of A Platform With 2 Dof To Assist The Cooperation Between Grounded Mobile Robots And Uavs In Landing Operations. In: 2024 7th Iberian Robotics Conference (Robot), Madrid, Spain, 2024, Pp. 1-6. Doi: 10.1109/Robot61475.2024.10797380.

9- Barbosa, R. F. S.; Machado, M. F. N.; Moraes, A. T.; Rossini, F. L.. Modelagem, Simulação E Planejamento De Trajetória De Robô Móvel De Três Rodas Com Acionamento Diferencial. In: Brito, H. C., Marques Junior, F. A. F. Perspectivas Da Engenharia: Teoria, Prática E Desafios. Campina Grande-Pb: Editora Amplla, 2024, P. 222-235. Doi: 10.51859/Amplla.Pet4499-17

10- Barbosa, R. F. S.; Garcia, L. R.; Cunha, M. R.; Rossini, F. L.. Modelagem E Simulação Da Cinemática Direta De Um Robô Móvel De Três Rodas Com Tração Diferencial. In: Anais Do Xiii Seminário De Extensão E Inovação & Xviii Seminário De Iniciação Científica E Tecnológica Da Ufpr, Ponta Grossa, 2023. Disponível Em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1103-4319d5d6514993af9a1f90540918b99cd1746e145f6cf690b5e0c0f62ece771c.pdf>. Acesso Em: 04 Mar. 2025.

11- Santos, N. M.; Rossini, F. L.; Covacic, M. R.; Gaino, R.. Controle Robusto De Veículo Sobre Plataforma Com Rodas E Tração Diferencial Utilizando Lmis. In: Xi Simpósio Brasileiro De Automação Inteligente - Sbai 2013. Fortaleza, 2013.

12- Rossini, F. L.. Projeto De Controlador Robusto Aplicado À Cadeira De Rodas Móveis Via Abordagem Por Lmis. 2013. Universidade Estadual De Londrina. Centro De Tecnologia E Urbanismo. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Elétrica, [S. L.], 2013. Disponível Em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000184710>. Acesso Em: 13 Mar. 2025.

13- Rossini, F. L.; Santos, N. M.; Gaino, R.; Covacic, M. R.. Projeto De Controlador Robusto Aplicado À Cadeira De Rodas Móveis Via Abordagem Por Lmis. In: Anais Do Xix Congresso Brasileiro De Automática 2012, Campina Grande, Pp. 2966-2972, 2012.

14- Rossini, F. L.; Gaino, R.; Teixeira, M. C. M.; Assunção, E.; Cardim, R.; Covacic, M. R.. Robust Controller Design Of A Wheelchair Mobile Via Lmi Approach To Erp Systems With Feedback Output. *Ieee Latin America Transactions*, V. 13, N. 5, P. 1321-1330, Maio 2015. Disponível Em: <https://doi.org/10.1109/Tla.2015.7111985>. Acesso Em: 14 Mar. 2025.

15- Takano, G. V. B.; Rossini, F. L.. Modelagem E Simulação Do Controle Não Linear E Variante No Tempo Aplicado À Dinâmica Do Multifuncional T3-401s Synthis Robô Scara, Fabricante Epson. In: Barbosa, F.C. Engenharia: Soluções E Inovações Para O Desenvolvimento. 11ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2024. P. 79-97. Doi: 10.37423/240709180

16- Rezende, L. G.; Rossini, F. L.. Comparação De Algoritmos Por Métodos Numéricos Para Obtenção Da Cinemática Inversa De Robô Manipulador Scara. In: Barbosa, F.C. Engenharia: A Máquina Que Constrói O Futuro - Vol. Ix. 9ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2024. P. 48-64. Doi: 10.37423/240408906

17- Rossini, F. L.; Silva Junior, P. R. M.; Alcantara, C. V. B.. 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. Doi: 10.37423/231208504

18- Barrozo, Y. R.; Rossini, F. L.. Modelagem Matemática E Lei De Controle Para O Robô Manipulador Puma 560. In: Anais Do Xiii Seminário De Extensão E Inovação & Xviii Seminário De Iniciação Científica E Tecnológica Da Utfpr, Ponta Grossa, 2023. Disponível Em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1396-b59fad92f9135c91a83a846309bc932497a1424a6d7eae826994ff7772de78.pdf>. Acesso Em: 04 Mar. 2025.

19- Silva Junior, P. R. M.; Alcantara, C. V. B.; Rossini, F. L.. Modelagem Cinemática E Simulação Do Robô Manipulador Scara Rh-3frhr35 Com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi. In: Anais Do Xiii Seminário De Extensão E Inovação & Xviii 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 Mar. 2025.

20- Rezende, L. G.; Rossini, F. L.. 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 & Xviii 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 Mar. 2025.

21- Takano, G. V. B.; Tank, J. S.; Silva, L. A. S.; Rossini, F. L.. Modelagem E Simulação Da Cinemática Direta Do Multifuncional T3-401s Synthis Robô Scara, Fabricante Epson. In: Anais Do Xiii Seminário De Extensão E Inovação & Xviii

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 Mar. 2025.

22- Lima, B. S.; Rossini, F. L.. Proposta De Modelagem Da Cinemática, Implementação Computacional Da Cinemática Inversa Quanto A Posição E Orientação De Robô Manipulador 6-Dof. In: Anais Do Xiii Seminário De Extensão E Inovação & Xviii Seminário De Iniciação Científica E Tecnológica Da Utfpr, Ponta Grossa, 2023. Disponível Em: <https://Seisicite.Com.Br/Storage/Seisicite-Trabalhos-Finais/961-8a5a4bf29c285d0131b3a0fdedcf0d351f814c1672861b2f6b5887301a6ef784>.Pdf. Acesso Em: 04 Mar. 2025.

23- Rossini, F. L.; Abreu, L. M.; Oliveira, L. F. P.. Modelagem Cinemática, Planejamento e Geração de Trajetória para um Robô Modelo SCARA através de Aplicativo para Análise Gráfica. In: SOARES, A.M.. Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos, 7. Ponta Grossa: Aya, 2023. p. 43-58. ISBN 9786553792999. DOI: 10.47573/aya.5379.2.211.4

24- Rossini, F. L.; Lima, B. S.; Corrêa, J. H. D.; Lopes, J. M. P.; Barbosa, R. F. S.; Barrozo, Y. R.. 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. DOI: 10.56238/devopinterscie-248

25- Abreu, L. M.; Rossini, F. L.; Oliveira, L. F. P.. 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, 2022. DOI 10.29327/1152426.1-2

26- Souza, E. D.; Rossini, F. L.; Oliveira, L. F. P.. Desenvolvimento de um Aplicativo no Ambiente App Designer do Software Matlab® para Planejamento de Trajetória do Robô Puma 560. In: FREITAS, L.C.. Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. Ponta Grossa: Atena, 2023. p. 87-109. DOI: 10.22533/at.ed.4652316018

27- Rossini, F. L.; Lopes, J. M. P.; Abreu, L. M.; Barbosa, R. F. S.; Oliveira, L. F. P.. 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. DOI: 10.35587/brj.ed.0001995

28- Lima, B. S.; Rossini, F. L.; Corrêa, J. H. D.; Lopes, J. M. P.; Barbosa, R. F. S.; Barrozo, Y. R.. 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. DOI: 10.22533/at.ed.0022217088

- 29- Rossini, F. L.; Lima, B. S.; Corrêa, J. H. D.; Lopes, J. M. P.; Barbosa, R. F. S.; Barrozo, Y. R.. 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. Doi: 10.37423/230407596
- 30- Sanches, H. E.; Rossini, F. L.. Modelagem E Controlador Um Manipulador Robótico. Journal Of Exact Sciences - Jes, V. 9, N. 1, P. 5-13, 8 Abr. 2016. Disponível Em: [https://www.mastereditora.com.br/periodico/20160728\\_073843](https://www.mastereditora.com.br/periodico/20160728_073843). Pdf. Acesso Em: 13 Mar. 2025.
- 31- Penha, B. S.; Queiroz, M. E.; Rossini, F. L.. Modelagem E Análise Da Cinemática Direta E Inversa De Manipulador Robótico Com Cinco Juntas Rotativas. In: Iii Simpósio De Tecnologia E Engenharia Eletrônica - Iii Simteel. Campo Mourão, 2016.
- 32- Fudoli, F.; Blessa, L.; Souza, J.; Rossini, F. L.. Modelagem Da Cinemática Direta E Inversa Do Robô Scara Epson G10-851s. In: Iii Simpósio De Tecnologia E Engenharia Eletrônica - Iii Simteel. Campo Mourão, 2016.
- 33- Santos, M. A.; Rossini, F. L.. Modelagem Matemática E Simulação Da Cinemática Direta Do Robô Manipulador Com Seis Juntas Rotativas - 6 Gl. In: Iii Simpósio De Tecnologia E Engenharia Eletrônica - Iii Simteel. Campo Mourão, 2016.
- 34- Chichanoski, G.; Munarini, B. L.; Rossini, F. L.. Modelagem Da Cinemática Direta Do Robô Manipulador Rv-2aj De 6 Graus De Liberdade Da Industrial Robot Mitsubishi - Estudo De Caso. In: Xx Seminário De Iniciação Científica E Tecnológica Da Utfpr. Campo Mourão, 2015.
- 35- Martines, F.; Melo, L.; Chichanoski, G.; Munarini, B.; Rossini, F. L.. 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.
- 36- Rossini, F. L.. 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.
- 37- Craig, J. J. Robótica. 3. Ed. São Paulo: Pearson Education, 2012.
- 38- Lutkevich, Ben. What Is A Microcontroller (Mcu)? Techtarget, 2019. Disponível Em: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/Definition/Microcontroller>. Acesso Em: 20 Mar. 2025.
- 39- Denavit, J., & Hartenberg, R. S.. A Kinematic Notation For Lower-Pair Mechanisms Based On Matrices. Journal Of Applied Mechanics, 22(2), 215-221, 1955.
- 40- Santos, Max Mauro Dias; Leme, Murilo Oliveira; Stevan Junior, Sergio Luiz.

Indústria 4.0: Fundamentos, Perspectivas E Aplicações. 1. Ed. São Paulo: Editora Érica, 2018.

41- Corke, P.. Robotics Toolbox. Disponível Em: <https://Petercorke.Com/Toolboxes/Robotics-Toolbox/>. Acesso Em: 20 Mar. 2025.

42- Schilling,, R. J.. Fundamentals Of Robotics: Analysis And Control. Prentice Hall: 1990.



# A Estagnação do Desenvolvimento Urbano nas Cidades Baianas no Segundo Milênio: Exclusão Socioespacial e a Urgência de uma Justiça Urbana Sustentável

## *Urban Stagnation And Social Inequality In Bahia: Legal and Political Challenges for Inclusive Development*

**Guilherme Almeida Santana Bispo**

*Especializando em Planejamento de Cidades - UESC, Especialista em Compliance; Investigador de polícia. Bacharel em Direito e Administração. Técnico em transações imobiliárias e Perito Avaliador de Imóveis*

**Lucas Evangelista de Menezes**

*Especializando em Planejamento de Cidades - UESC; Especialista em Direito Público; Processo Civil; Tributário e Previdenciário - Faculdade Legalle. Especialista em formação de Consultores - Uesc. Advogado. Bacharel em Direito e Comunicação Social*

**Yuri dos Santos Santana**

*Mestrando em Ciências Jurídicas da Universidade Autónoma de Lisboa - UAL; Docente na Universidade de Excelência - Itabuna. Advogado. Especialista em Direito Público e Privado pela Faculdade de Tecnologia e Ciências - FTC. Especialista em Direito Processual Civil; Processo do Trabalho e Direito do Trabalho - Faculdade Damásio. Bacharel em Direito pela FTC/Itabuna*

**Robson Amparo de Carvalho**

*Advogado, Professor no Curso de Direito ATENAS Valença, Mestrando em Planejamento Regional - UEFS, Coordenador Jurídico Instituto de Saúde ISDAN*

**Resumo:** O presente estudo analisa a estagnação do desenvolvimento urbano nas cidades baianas ao longo do segundo milênio, com especial ênfase para os efeitos estruturais da decadência da economia cacaueteira no sul do estado. Partindo de uma abordagem jurídico-social, busca-se compreender como a ausência de políticas públicas integradas, aliada à má gestão urbana e ao histórico de desigualdade territorial, contribui para a exclusão socioespacial de amplas parcelas da população. O trabalho examina os entraves históricos, normativos e institucionais que impedem a democratização do espaço urbano, evidenciando o papel do Direito na transformação – ou manutenção – de lógicas urbanas excludentes. O objetivo é propor uma reflexão crítica sobre o planejamento urbano na Bahia, destacando a necessidade de um novo paradigma de desenvolvimento, baseado na justiça social, sustentabilidade e na centralidade da dignidade da pessoa humana. Para alcançar esses objetivos, adota-se o método dialético, com pesquisa bibliográfica e normativa, com ênfase em autores baianos e nos marcos legais do direito urbanístico e do direito à cidade.

**Palavras-chave:** urbanização; exclusão social; planejamento urbano; Bahia; desigualdade regional; direito à cidade.

**Abstract:** This study analyzes the stagnation of urban development in the cities of Bahia throughout the second millennium, with particular emphasis on the structural effects of the cocoa economy's decline in the southern region of the state. From a socio-legal approach, it seeks to understand how the absence of integrated public policies, coupled with poor urban management and historical territorial inequalities, contributes to the socio-spatial exclusion of large segments of the population. The study explores historical, legal, and institutional obstacles that hinder the democratization of urban space, highlighting the role of Law in either

transforming or maintaining exclusionary urban logic. The objective is to propose a critical reflection on urban planning in Bahia, emphasizing the need for a new development paradigm based on social justice, sustainability, and the centrality of human dignity. To achieve these goals, the article adopts the dialectical method, through bibliographic and legal research, with emphasis on Bahian authors and the legal frameworks of urban law and the right to the city.

**Keywords:** urbanization; social exclusion; urban planning; Bahia; regional inequality; right to the city.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano no Brasil sempre foi um reflexo direto das desigualdades históricas que estruturam a sociedade, especialmente quando se observa a relação entre poder público, especulação imobiliária e ausência de políticas de inclusão. No caso da Bahia, tais desigualdades assumem contornos ainda mais agudos. As cidades baianas, notadamente as do sul do estado — como Ilhéus e Itabuna —, enfrentam uma estagnação urbana cuja origem remonta à crise do ciclo cacaueteiro, desencadeada pela praga da vassoura-de-bruxa nos anos 1990. Essa ruptura econômica devastou a principal base produtiva da região, provocando um colapso social e urbano ainda visível nas condições precárias de moradia, infraestrutura e mobilidade.

A urbanização, longe de representar um vetor de desenvolvimento igualitário, tornou-se um espelho da exclusão social. Como observa Carlos Vainer (2000, p. 35), “a cidade brasileira não é apenas produto da desigualdade, mas instrumento de sua reprodução cotidiana”. A concentração de investimentos em cidades como Salvador e Feira de Santana contrasta com o abandono estrutural dos municípios médios e pequenos do interior, onde o planejamento urbano inexistente ou é orientado por interesses privados. A ausência de políticas públicas eficazes aprofunda a fragmentação socioespacial e nega o direito à cidade a amplos segmentos da população.

No sul da Bahia, essa realidade se evidencia pela precariedade dos assentamentos informais, pela falta de saneamento básico, pela mobilidade urbana deficitária e pelo déficit habitacional crescente. A especulação fundiária transforma o espaço urbano em mercadoria, excluindo as classes populares dos centros e empurrando-as para áreas periféricas sem serviços públicos essenciais. Como adverte Ermínia Maricato (2011, p. 92), “a política urbana brasileira tem sido, em grande parte, a negação da política urbana”.

É nesse contexto que emerge o problema central deste artigo: como compreender a estagnação do desenvolvimento urbano nas cidades baianas à luz das categorias jurídicas do direito à cidade, da função social da propriedade e da justiça socioespacial? Mais do que uma questão de planejamento, trata-se de um problema de efetivação de direitos fundamentais previstos na Constituição Federal de 1988 e nos marcos infraconstitucionais, como o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001).

O presente estudo tem como objetivo geral analisar os fatores que contribuem para a estagnação urbana nas cidades baianas no segundo milênio, com foco especial no contexto do sul do estado. Os objetivos específicos incluem: a) contextualizar historicamente o processo de decadência econômica e seus efeitos urbanos; b) examinar as falhas estruturais no planejamento e na gestão urbana municipal; e c) propor diretrizes jurídicas e políticas públicas voltadas à superação da exclusão socioespacial e ao fortalecimento de um urbanismo inclusivo, democrático e sustentável.

Para alcançar esses objetivos, adota-se o método dialético, capaz de revelar as contradições entre o discurso jurídico e a realidade urbana, permitindo uma abordagem crítica e interdisciplinar. A pesquisa será desenvolvida com base em levantamento doutrinário, análise normativa e estudo de caso da região cacauzeira, incorporando a contribuição de autores nacionais e baianos, bem como o exame das políticas públicas urbanas e da jurisprudência relevante. Ao final, busca-se contribuir para o debate sobre a construção de cidades baianas mais justas, equitativas e funcionalmente sustentáveis, a partir da integração entre direito à cidade, desenvolvimento econômico e justiça social.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **A Urbanização Estagnada: O Retrato das Cidades Baianas no Século XXI**

A urbanização no estado da Bahia, especialmente em sua porção sul, tem revelado um processo de desenvolvimento assimétrico, marcado por profundas desigualdades regionais e pelo abandono de políticas públicas estruturantes. Mesmo com a crescente urbanização ao longo do século XX e XXI, nota-se que o modelo de crescimento urbano adotado nos municípios baianos, em grande parte, seguiu padrões excludentes, concentrando investimentos em polos econômicos seletivos, enquanto mantinha regiões periféricas e rurais em situação de estagnação.

O processo de decadência urbana nas cidades do sul da Bahia deve ser compreendido à luz das dinâmicas históricas, econômicas e políticas que moldaram a região, especialmente a partir da crise do cacau nos anos 1990. Até então, municípios como Ilhéus, Itabuna, Uruçuca e Canavieiras se destacavam pela vitalidade econômica ancorada na monocultura cacauzeira, sustentando redes de comércio, emprego e urbanização.

No entanto, algumas cidades baianas têm se destacado na implementação de políticas públicas que buscam mitigar esses desafios. Por exemplo, a cidade de Camaçari, com a criação do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado, implementou políticas voltadas à requalificação de áreas urbanas e à promoção de habitação social, o que resultou em melhorias significativas na infraestrutura e na qualidade de vida dos moradores (IBGE, 2022). Outro exemplo é Salvador, que, apesar de suas desigualdades, tem promovido iniciativas de mobilidade

urbana sustentável, como o VLT (Veículo Leve sobre Trilhos), visando a melhoria do transporte público e a redução do tráfego nas áreas centrais (Prefeitura de Salvador, 2023).

O fenômeno da estagnação urbana é particularmente visível quando se observa o impacto da crise do ciclo do cacau, provocado pela proliferação da vassoura-de-bruxa, que atingiu duramente o sul da Bahia a partir dos anos 1990. Essa crise devastou a base econômica de diversas cidades, gerando desemprego, êxodo rural e precarização das condições de vida urbana. Como observa Celso Furtado (2000, p. 178), “a ausência de um projeto de desenvolvimento integrado compromete a autonomia dos municípios e agrava as disparidades regionais”, o que se comprova no caso baiano, onde a falta de articulação entre políticas agrícolas e urbanas resultou em cidades empobrecidas, inchadas e desestruturadas.

A propagação da praga conhecida como vassoura-de-bruxa (*Crinipellis perniciosa*) destruiu centenas de hectares de lavouras, desencadeando um colapso econômico sem precedentes, cujos efeitos reverberam até os dias atuais. A falência do ciclo produtivo regional foi acompanhada pela retração dos investimentos públicos, pela informalização do mercado de trabalho e pelo crescimento desordenado das periferias urbanas. A crise do cacau não gerou apenas efeitos econômicos, mas rompeu os mecanismos sociais que estruturavam a vida urbana, empurrando milhares de trabalhadores para condições de marginalização e insegurança.

As cidades, já fragilizadas por déficits históricos de planejamento, passaram a enfrentar novas pressões sociais sem que houvesse reestruturação do aparato estatal. A ausência de uma política regional de desenvolvimento agrava a fragmentação urbana. Ilhéus e Itabuna, por exemplo, passaram a coexistir com bairros inteiros sem infraestrutura básica, onde impera a precariedade habitacional, a ausência de mobilidade adequada e a insegurança pública.

A ausência de planejamento urbano aliado a um modelo de crescimento predatório provocou a expansão desordenada das cidades, com ocupações irregulares, déficit habitacional e carência de serviços públicos básicos. Nesse cenário, a especulação imobiliária assumiu papel central na dinâmica urbana, contribuindo para a segregação socioespacial. Para Ermínia Maricato (2011, p. 44), “a cidade brasileira tem sido produzida sob uma lógica de mercado que nega o direito à cidade aos setores populares”, realidade que se aplica com precisão às cidades médias e pequenas da Bahia.

A especulação imobiliária e a informalidade fundiária passaram a organizar o espaço urbano, substituindo o papel do Estado no ordenamento territorial. Como denuncia Souza (2010, p. 138), “a cidade é pensada para circular capital, e não para abrigar dignamente seus habitantes”. O abandono institucional revela também a fragilidade das administrações municipais, muitas vezes reféns de interesses políticos locais e incapazes de articular projetos de médio e longo prazo.

É importante destacar, ainda, que a concentração dos investimentos em infraestrutura urbana em regiões metropolitanas, como Salvador e Feira de Santana, aprofunda o abismo entre os grandes centros e os municípios interioranos. Cidades

como Ilhéus, Itabuna e Jequié, outrora polos regionais pujantes, enfrentam hoje desafios complexos ligados à mobilidade urbana, saneamento, saúde pública e segurança, sem o respaldo de políticas integradas e sustentáveis. Como alerta Milton Santos (1994, p. 135), “o território, quando desarticulado de um projeto nacional de desenvolvimento, transforma-se em espaço da fragmentação e da exclusão”.

O que se observa, segundo Lúcia Barbosa (2016, p. 89), é a “naturalização da precariedade”, em que “o poder público atua de forma paliativa e desconectada da realidade socioespacial das periferias urbanas”. Falta planejamento, faltam dados confiáveis e faltam instrumentos de gestão democrática que incorporem a população nas decisões sobre o futuro da cidade.

Além disso, a dependência de repasses federais e estaduais, associada à baixa arrecadação própria, compromete ainda mais a autonomia dos municípios baianos. Com a retração da economia cacaueteira e a ausência de políticas industriais alternativas, o sul da Bahia se tornou um laboratório de exclusão urbana — onde se evidenciam as limitações do modelo desenvolvimentista tradicional e a urgência de uma reconceitualização do urbano a partir dos princípios da justiça territorial e da sustentabilidade social.

Desse modo, a estagnação urbana que se verifica no sul baiano não é um fenômeno meramente conjuntural, mas estrutural, exigindo uma nova leitura crítica do Direito Urbanístico, comprometida com o enfrentamento das desigualdades regionais e com a construção de um espaço urbano funcional, justo e democrático.

Assim, é possível afirmar que a estagnação urbana das cidades baianas não é apenas consequência de crises econômicas locais, mas sobretudo reflexo de um modelo de governança omissa, que falha em garantir políticas inclusivas, planejamento estratégico e participação popular na formulação de agendas urbanas. A superação desse quadro exige uma profunda revisão do pacto federativo, da distribuição de recursos e da visão sobre o papel das cidades médias no desenvolvimento regional.

## **O Direito à Cidade e a Fragmentação Urbana no Interior Baiano**

A crise urbana enfrentada pelas cidades do interior baiano, sobretudo na região sul, deve ser compreendida à luz do conceito de direito à cidade, expressão consagrada por Henri Lefebvre (2001, p. 134), que o define como o “direito de todos os habitantes à vida urbana transformada, renovada e qualificada”. Trata-se, portanto, de um direito coletivo que vai além do acesso aos bens materiais urbanos, envolvendo a participação ativa dos cidadãos na produção e gestão do espaço urbano.

No entanto, esse direito vem sendo sistematicamente negado à população das cidades médias e pequenas da Bahia. A urbanização precária, o desmonte de políticas habitacionais, a carência de transporte público e a ausência de planejamento participativo configuram um cenário de fragmentação urbana, em que determinados grupos sociais, principalmente os mais pobres, são empurrados para áreas periféricas e desprovidas de infraestrutura adequada. Como alerta Raquel Rolnik

(2015, p. 107), “o espaço urbano brasileiro é marcado por uma brutal desigualdade de acesso aos serviços, equipamentos e oportunidades”, o que, na Bahia, revela-se com clareza em municípios como Itabuna, Ilhéus, Teixeira de Freitas e Eunápolis.

Essa fragmentação não é apenas física, mas também simbólica e institucional. O aparato jurídico-urbanístico brasileiro — que tem como principal marco o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) — prevê instrumentos eficazes de controle social do território, como o plano diretor participativo, a função social da propriedade e a gestão democrática. Contudo, como aponta Edésio Fernandes (2005, p. 211), “a aplicação desses instrumentos ainda é seletiva, limitada e muitas vezes ignorada em municípios médios e pequenos, onde predomina uma cultura política clientelista e patrimonialista”.

O resultado é a constituição de cidades partidas, nas quais coexistem áreas centrais dotadas de equipamentos urbanos e bairros periféricos abandonados à própria sorte. A segregação socioespacial torna-se, assim, um mecanismo de exclusão que compromete não apenas o bem-estar, mas a própria cidadania dos sujeitos. Como salienta Silvio Caccia Bava (2013, p. 44), “a desigualdade urbana não é um fenômeno natural, mas produto direto da omissão do Estado e da lógica excludente do mercado imobiliário”.

Na Bahia, a ausência de políticas regionais integradas agrava esse quadro. O enfraquecimento da economia cacauífera, por exemplo, deveria ter sido acompanhado de um programa estrutural de requalificação urbana e diversificação econômica, mas o que se viu foi o aumento da informalidade, da favelização e da vulnerabilidade social. A negligência com os instrumentos de gestão democrática urbana revela a ineficácia dos mecanismos de controle social previstos no ordenamento jurídico.

Portanto, discutir o direito à cidade nas cidades baianas exige repensar o modelo de desenvolvimento regional adotado, ampliar a escuta social, fortalecer os conselhos municipais e garantir a implementação efetiva dos instrumentos urbanísticos. A cidade não pode ser pensada como mercadoria, mas como espaço de concretização da dignidade da pessoa humana, conforme assegura o artigo 1º, inciso III, da Constituição Federal. Essa mudança de paradigma é condição indispensável para superar a estagnação e construir cidades verdadeiramente justas e sustentáveis.

## **Ausência de Políticas Públicas Integradas e a Reforço da Exclusão Urbana no Sul da Bahia**

O processo de urbanização das cidades do sul da Bahia revela, de forma contundente, os efeitos deletérios da ausência de políticas públicas integradas e intersetoriais voltadas ao desenvolvimento urbano sustentável. Municípios como Ilhéus, Itabuna, Camacan e Uruçuca, historicamente dependentes da monocultura do cacau, enfrentaram severo declínio socioeconômico após o colapso do setor agrícola, intensificado pela praga da vassoura-de-bruxa na década de 1990. A falta de planejamento regional para lidar com esse impacto gerou um processo acelerado de favelização, êxodo rural e colapso das estruturas urbanas locais.

A inexistência de estratégias articuladas entre as esferas municipal, estadual e federal para promover requalificação urbana, habitação social, saneamento básico e mobilidade evidencia um quadro de desgoverno territorial. Como observa Ermínia Maricato (2011, p. 78), “a ausência de políticas públicas consistentes perpetua as desigualdades urbanas, enquanto os planos formais se limitam a atender interesses de grupos dominantes e não os direitos coletivos à cidade”.

Nesse contexto, as pressões políticas e econômicas também desempenham um papel crucial na implementação de políticas públicas. A influência de grupos de interesse, como empresários do setor imobiliário, muitas vezes resulta em uma priorização de projetos que atendem a interesses privados em detrimento das necessidades da população. As mudanças frequentes nas administrações municipais podem levar a descontinuidades nas políticas, dificultando a articulação necessária para enfrentar os desafios urbanos de forma eficaz. Além disso, a crise econômica geral pode limitar os recursos disponíveis para investimentos em infraestrutura e serviços públicos, exacerbando ainda mais a situação de exclusão.

Os planos diretores — obrigatórios para cidades com mais de vinte mil habitantes conforme o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) — são frequentemente elaborados sem participação social efetiva, com baixa capacidade de implementação e desconectados das necessidades reais da população. A crítica de Betânia Alfonsin (2010, p. 58) é precisa ao afirmar que “as políticas públicas urbanas, para serem eficazes, devem ser pensadas em rede, com mecanismos de integração intersetorial e interinstitucional, o que está longe de ocorrer nas cidades brasileiras médias”.

No sul da Bahia, essa desconexão manifesta-se na precariedade das periferias urbanas, na degradação ambiental de áreas ribeirinhas ocupadas irregularmente e na ausência de infraestrutura básica, como coleta de lixo, pavimentação e transporte coletivo. Em muitas dessas localidades, como os bairros periféricos de Itabuna e Ilhéus, a presença do poder público é mínima, e as ações sociais dependem de organizações da sociedade civil, igrejas e associações comunitárias.

Como bem analisa Marcelo Lopes de Souza (2013, p. 101), “a urbanização excludente é fruto não apenas da omissão do Estado, mas de sua atuação seletiva, que privilegia áreas centrais e interesses privados em detrimento das zonas populares e das camadas vulneráveis da população”. Essa seletividade está na base de um modelo de cidade fragmentada, onde os pobres são relegados a espaços invisíveis, desprovidos de políticas habitacionais, culturais e econômicas que possibilitem sua inclusão plena.

A ausência de políticas públicas integradas, portanto, não é apenas um problema de gestão: é expressão de um projeto urbano que reproduz desigualdades históricas e compromete a efetivação do direito à cidade como direito coletivo e constitucional. Superar essa realidade exige um pacto federativo voltado à justiça socioespacial, à regionalização do planejamento e à participação efetiva da sociedade civil nas decisões sobre o futuro urbano das cidades baianas.

## A Desigualdade Territorial e os Impactos da Especulação Imobiliária nas Cidades Baianas

O crescimento urbano desordenado, aliado à ausência de regulação efetiva do uso e ocupação do solo, tem reforçado a desigualdade territorial nas cidades baianas. Nos municípios do sul do estado, como Itabuna e Ilhéus, o avanço da especulação imobiliária sobre áreas de interesse social tem contribuído para a expulsão de populações de baixa renda para zonas periféricas, desprovidas de infraestrutura e serviços básicos. Trata-se de um modelo de urbanização excludente, no qual o direito à cidade é constantemente violado em nome da valorização da terra urbana como ativo financeiro.

De acordo com Raquel Rolnik (2015, p. 87), “a cidade é constantemente apropriada por interesses privados que enxergam o espaço urbano como mercadoria, e não como bem coletivo submetido à função social”. Esse processo é visível nas zonas litorâneas de Ilhéus, onde projetos turísticos e condomínios de alto padrão avançam sobre territórios tradicionalmente ocupados por pescadores e comunidades tradicionais, sem que haja a devida mediação do poder público para garantir a permanência das populações vulnerabilizadas.

A especulação imobiliária não apenas encarece o custo da moradia, como também desloca os pobres para áreas distantes dos centros urbanos, precarizando o acesso ao transporte, à saúde, à educação e à cultura. A segregação socioespacial, nesse sentido, é tanto consequência quanto mecanismo de reprodução da desigualdade. Como destaca Edesio Fernandes (2011, p. 44), “a função social da propriedade, prevista na Constituição, permanece amplamente inefetiva, diante da força política dos agentes do mercado imobiliário”.

No caso das cidades baianas, essa lógica excludente se reforça pela fragilidade da política fundiária. A ausência de instrumentos como o parcelamento compulsório, o IPTU progressivo no tempo e a desapropriação com pagamento em títulos da dívida pública — previstos no Estatuto da Cidade — revela o descompromisso dos entes municipais com o enfrentamento das desigualdades urbanas. Em vez disso, prevalece a omissão legislativa e a convivência com práticas especulativas que esvaziam o direito à moradia digna.

É fundamental ressaltar que a mercantilização do solo urbano compromete não apenas o acesso à moradia, mas também o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida nas cidades. As ocupações irregulares em áreas de risco, como encostas e margens de rios, resultam da ausência de alternativas habitacionais e da negligência do Estado em garantir o cumprimento da função social da cidade. Como afirma Carlos Vainer (2012, p. 93), “as cidades brasileiras tornaram-se territórios de exceção, onde impera o direito do mais forte em detrimento da cidadania”.

Nesse cenário, urge a adoção de políticas públicas que enfrentem de forma decidida a especulação imobiliária, assegurando o uso socialmente justo e ambientalmente sustentável da terra urbana. Isso passa pela revisão dos planos diretores, pela implementação efetiva dos instrumentos previstos no Estatuto da Cidade e

pela criação de espaços de participação popular que democratizem o planejamento urbano. Sem essas medidas, as cidades baianas seguirão aprofundando um modelo territorial baseado na segregação e na negação do direito à cidade.

## **Infraestrutura Urbana Deficiente e seus Impactos na Qualidade de Vida**

A precariedade da infraestrutura urbana é uma das expressões mais contundentes da desigualdade social e territorial nas cidades baianas, sobretudo nas regiões do interior e no sul do estado. As deficiências em saneamento básico, mobilidade urbana, iluminação pública, drenagem e pavimentação comprometem diretamente a qualidade de vida da população, reproduzindo ciclos de exclusão e vulnerabilidade que atingem de forma mais intensa as comunidades periféricas.

Segundo dados do IBGE (2022), mais de 40% dos domicílios nas pequenas e médias cidades da Bahia não possuem acesso à rede de esgoto, e muitos sequer têm ligação regular à rede de abastecimento de água potável. Em cidades como Itabuna, a ausência de um sistema integrado de transporte coletivo, aliada ao crescimento horizontal desordenado, torna o deslocamento diário um desafio para milhares de trabalhadores, estudantes e pessoas com deficiência. Como destaca Ermínia Maricato (2011, p. 143), “o acesso à cidade é profundamente condicionado pela infraestrutura urbana, que no Brasil ainda reproduz os traços coloniais de exclusão”.

Essa infraestrutura deficitária é ainda mais grave quando se observa sua distribuição desigual. Enquanto áreas centrais e bairros nobres recebem constantes investimentos públicos, as zonas periféricas permanecem à margem das prioridades administrativas. Tal assimetria revela não apenas um problema técnico, mas essencialmente político: o planejamento urbano continua a operar sob a lógica da seletividade social. Como afirma Luiz César de Queiroz Ribeiro (2015, p. 67), “as políticas urbanas brasileiras mantêm um padrão de territorialização seletiva, que reforça a invisibilidade de grande parte da população”.

O impacto direto dessa exclusão estrutural se traduz em diversos indicadores negativos: aumento das doenças de veiculação hídrica, elevação da violência urbana, evasão escolar, restrição de mobilidade e dificuldades de acesso aos serviços públicos básicos. Esses fatores, somados, reforçam a lógica do não pertencimento e produzem uma urbanização marcada por fragmentos territoriais apartados entre si. A cidade, nesse contexto, deixa de ser espaço de encontro e se transforma em território de segregação.

A ausência de infraestrutura urbana adequada também impede o cumprimento de direitos fundamentais, como o direito à saúde, à educação e à moradia digna, previstos na Constituição Federal de 1988. Como observa João Helvécio de Carvalho (2018, p. 89), “sem saneamento básico, não há efetividade do direito à saúde; sem transporte acessível, não há pleno exercício do direito à educação e ao trabalho”. A interdependência entre infraestrutura e cidadania exige, portanto, uma abordagem integrada e intersetorial.

É fundamental que as políticas públicas de desenvolvimento urbano considerem a infraestrutura como vetor de inclusão social e justiça espacial. Isso implica não apenas investimentos em obras físicas, mas também a escuta ativa das demandas das comunidades, a transparência na gestão dos recursos e a articulação entre os diferentes níveis de governo. Conforme ressalta Raquel Rolnik (2015, p. 155), “as cidades devem ser pensadas a partir das necessidades da maioria, e não dos interesses do mercado imobiliário ou de grupos econômicos dominantes”.

Assim, superar o déficit de infraestrutura nas cidades baianas requer mais do que ações pontuais. Exige um novo pacto federativo que assegure recursos suficientes aos municípios, capacitação técnica das gestões locais e, sobretudo, vontade política para enfrentar as desigualdades históricas que moldam o território urbano.

## **A DESIGUALDADE TERRITORIAL E A LÓGICA CENTRO-PERIFERIA NAS CIDADES BAIANAS**

A urbanização das cidades baianas, sobretudo no sul do estado, tem reproduzido de forma intensa a lógica centro-periferia característica das metrópoles brasileiras. Essa lógica espacial evidencia não apenas um traço geográfico, mas sobretudo uma expressão de desigualdades sociais, políticas e econômicas profundas, que resultam na fragmentação do tecido urbano e na negação do direito à cidade para amplas parcelas da população.

O geógrafo Milton Santos (2005, p. 89) já advertia que “as cidades se organizam para servir a poucos, ao mesmo tempo em que negam a muitos o acesso aos bens e serviços urbanos essenciais à vida digna”. Essa constatação encontra eco nas dinâmicas urbanas de municípios como Itabuna, Ilhéus, Teixeira de Freitas e Eunápolis, onde a expansão territorial tem ocorrido sem planejamento adequado, empurrando populações de baixa renda para áreas periféricas, desprovidas de infraestrutura básica, mobilidade adequada e equipamentos públicos.

A desigualdade territorial nas cidades do sul da Bahia foi agravada pelo colapso da economia cacaueteira, a partir das décadas finais do século XX, com o avanço da praga conhecida como vassoura-de-bruxa. Esse evento provocou uma reestruturação forçada da economia regional e levou à migração desordenada para os centros urbanos, sem que houvesse políticas públicas estruturadas para absorver essa nova população urbana. Como explica Raquel Rolnik (2015, p. 131), “o espaço urbano é o palco das disputas por reconhecimento, por direitos e por dignidade. Quando a cidade nega acesso e se organiza de forma excludente, ela reforça as desigualdades que deveria combater”.

Essa territorialização da desigualdade se revela, por exemplo, na localização de conjuntos habitacionais distantes dos centros comerciais e administrativos, nos sistemas de transporte ineficazes que isolam comunidades, e na ausência de serviços públicos essenciais como saúde, segurança e educação em bairros periféricos. A cidade passa a operar, portanto, como um mecanismo de reprodução da exclusão, aprofundando vulnerabilidades já existentes.

Marcelo Lopes de Souza (2009, p. 75) denomina esse processo como “geografia da injustiça social”, em que o espaço urbano é produzido e reproduzido segundo interesses mercadológicos e patrimonialistas, em detrimento da função social da cidade. Esse modelo de urbanização favorece a segregação espacial, dificulta a integração social e compromete o ideal democrático de cidadania urbana.

É nesse contexto que se impõe a necessidade de repensar as políticas urbanas sob uma perspectiva inclusiva e distributiva, que promova o acesso igualitário à infraestrutura urbana e aos bens coletivos. O planejamento territorial precisa deixar de servir aos interesses do capital imobiliário e passar a atender as demandas concretas da população, sobretudo aquela historicamente marginalizada nos processos decisórios. Apenas assim será possível transformar as cidades baianas em territórios de justiça e dignidade.

## **O Papel da Participação Popular na Construção de Cidades Democráticas e Inclusivas**

A construção de cidades democráticas e sustentáveis exige mais do que o aporte técnico de políticas públicas ou o uso de tecnologias inteligentes. Requer, sobretudo, o fortalecimento da participação popular como elemento estruturante da governança urbana. Em contextos marcados por desigualdades históricas, como o sul da Bahia, a ausência de mecanismos eficazes de escuta e deliberação coletiva agrava os efeitos da exclusão urbana e compromete a legitimidade das decisões institucionais.

Conforme destaca Raquel Rolnik (2015, p. 119), “as formas de governança que incorporam a participação ativa da população são aquelas que melhor respondem aos desafios urbanos, pois permitem a construção de políticas que partem das necessidades reais dos territórios”. No entanto, grande parte das cidades baianas apresenta estruturas deliberativas fragilizadas ou simbólicas, nas quais os conselhos municipais e audiências públicas funcionam de forma esvaziada ou sem efetiva capacidade de interferência. Isso evidencia a urgência de se avançar para formas mais substantivas de democracia urbana.

Experiências em cidades como Porto Alegre, com seu Orçamento Participativo, demonstraram como a inclusão da população no processo de decisão pode resultar em políticas urbanas mais eficazes e com maior aceitação social. O envolvimento dos cidadãos na definição de prioridades orçamentárias permitiu que as necessidades locais fossem atendidas de maneira mais adequada e transparente (BID, 2019). Além disso, Belo Horizonte também se destacou pela implementação de um processo de planejamento participativo que considera as demandas da população nas decisões sobre a urbanização e os investimentos públicos.

Henri Lefebvre (1968) já afirmava que o “direito à cidade” não se limita ao acesso físico ao espaço urbano, mas envolve o poder de transformá-lo, de intervir nas decisões sobre sua organização. Essa perspectiva amplia o debate sobre a cidadania urbana, entendida não apenas como titularidade de direitos, mas como participação ativa na produção do espaço e na construção de políticas públicas.

Em regiões como o sul da Bahia, isso significa romper com a lógica verticalizada e tecnocrática do planejamento urbano, priorizando práticas dialógicas, participativas e inclusivas.

A democracia participativa, portanto, é condição para a construção de cidades verdadeiramente inclusivas e inteligentes. Como observa Marcelo Lopes de Souza (2010, p. 91), “a radicalização da democracia implica reconhecer que os conflitos urbanos não se resolvem apenas com técnica, mas com a ampliação dos espaços de negociação e deliberação coletiva”. Para isso, é necessário criar canais de escuta permanentes, fortalecer os movimentos sociais urbanos, garantir acessibilidade comunicacional e institucional e fomentar práticas de educação cidadã.

Nesse contexto, a participação popular não deve ser vista como concessão do poder público, mas como exigência normativa e ética do Estado Democrático de Direito. O fortalecimento da cidadania ativa é passo essencial para desconstruir a lógica excludente das cidades baianas e construir um modelo de urbanização que respeite a diversidade, promova a justiça social e amplie o sentido substantivo do “direito à cidade”.

## **A Urgência da Requalificação Urbana e Sustentável das Cidades Médias e Pequenas da Bahia**

A trajetória urbana das cidades médias e pequenas da Bahia, especialmente no interior e no sul do estado, tem sido marcada por um desenvolvimento fragmentado e excludente. A ausência de planejamento urbano integrado e a centralização de investimentos nas grandes capitais aprofundaram o processo de estagnação, resultando em infraestrutura precária, degradação de áreas centrais, mobilidade urbana insuficiente e insegurança habitacional. Nesse contexto, a requalificação urbana surge como estratégia indispensável à construção de cidades mais sustentáveis, inclusivas e resilientes.

Segundo Carlos Leite (2012, p. 87), requalificar significa não apenas recuperar fisicamente o espaço urbano, mas repensá-lo como território de pertencimento, cultura e inovação, com vistas à sustentabilidade ambiental, social e econômica. Isso se torna ainda mais urgente em regiões historicamente negligenciadas, como o sul da Bahia, onde o colapso da economia cacaueteira gerou um vácuo de políticas públicas e um acelerado processo de urbanização empobrecida. A falta de ações estruturantes nos últimos 30 anos produziu centros urbanos fragmentados, com pouca integração entre moradia, trabalho e serviços.

A proposta de requalificação deve estar ancorada em princípios do urbanismo sustentável, com enfoque na mobilidade ativa, no reaproveitamento de edificações ociosas, na criação de áreas verdes acessíveis e na recuperação de territórios simbólicos e afetivos para a população local. Como defende Nabil Bonduki (2016, p. 143), “a requalificação urbana deve ir além da estética: ela precisa articular inclusão social, função ambiental e reativação econômica dos centros urbanos”. Tais medidas têm especial relevância nas cidades de médio porte da Bahia, que apresentam crescimento desordenado nas periferias e decadência progressiva em seus centros históricos.

Além disso, a requalificação urbana deve incorporar estratégias sustentáveis de uso do solo, saneamento ambiental, promoção da agricultura urbana e incentivo à economia circular. A cidade de Itabuna, por exemplo, enfrenta um déficit habitacional significativo ao mesmo tempo em que apresenta grande número de imóveis subutilizados no centro da cidade. A articulação entre instrumentos urbanísticos, como o direito de preempção, a outorga onerosa e o parcelamento, edificação e utilização compulsórios (PEUC), pode ser um caminho efetivo para retomar a função social da cidade, conforme previsto no art. 182 da Constituição Federal.

A construção de um novo paradigma de desenvolvimento urbano para essas cidades requer a superação do modelo excludente e setorial de políticas públicas. Como ensina Odette Seabra (2014, p. 39), “a requalificação urbana, quando pautada por princípios de justiça espacial e sustentabilidade, pode se tornar um poderoso instrumento de transformação social e reconexão do território com seus habitantes”. O desafio, portanto, não é apenas técnico ou arquitetônico, mas político e cultural: promover uma nova visão de cidade que reconheça os direitos urbanos como dimensão essencial da cidadania.

A crise urbana enfrentada por diversas cidades baianas, em especial no sul do estado, evidencia a urgência de repensar os modelos de ocupação e de governança territorial sob a ótica do direito à cidade. Essa expressão, consagrada por Henri Lefebvre (2001), vai além do simples acesso físico ao espaço urbano e passa a significar a apropriação coletiva do território, a gestão democrática da cidade e a produção de espaços que respeitem a pluralidade social, cultural e ambiental dos seus habitantes. A reconstrução do espaço urbano, portanto, deve ser pensada como um processo de justiça territorial que integra o planejamento com a cidadania ativa.

As cidades da região cacaujeira da Bahia, profundamente impactadas pelo colapso econômico causado pela vassoura-de-bruxa e pela ausência de políticas de reconversão produtiva e urbana, são exemplos emblemáticos de como a fragmentação espacial, a precariedade da infraestrutura e a ausência de participação popular aprofundam a exclusão. A ausência de mecanismos institucionais de escuta ativa das comunidades tradicionais, rurais e periféricas contribui para a consolidação de cidades segregadas e desiguais, onde o espaço urbano é produzido conforme interesses econômicos dominantes, em detrimento da função social da cidade.

Nesse sentido, o direito à cidade precisa ser resgatado como um direito coletivo fundamental, previsto no artigo 182 da Constituição Federal de 1988, que estabelece que a política urbana deve assegurar “o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e a garantia do bem-estar de seus habitantes”. Esse dispositivo impõe ao poder público o dever de formular políticas urbanas orientadas por critérios de sustentabilidade, equidade e participação. Como destaca Ermínia Maricato (2011, p. 26), “não há cidade justa sem enfrentamento das desigualdades fundiárias, sem o reconhecimento das formas populares de produção do espaço e sem o diálogo com os sujeitos invisibilizados pelas políticas urbanas tradicionais”.

O processo de reconstrução urbana, portanto, deve estar alicerçado em três pilares: (i) a inclusão social e territorial dos grupos historicamente marginalizados;

(ii) a gestão democrática e participativa dos recursos urbanos e ambientais; e (iii) o reconhecimento das especificidades locais, como os saberes das comunidades tradicionais, os desafios das cidades médias e as marcas do passado histórico-econômico da região. Nessa linha, autores como Milton Santos (2008) alertam que a urbanização descolada da realidade social não produz desenvolvimento, mas sim “formas perversas de integração que aprofundam a dependência e a vulnerabilidade social”.

Reconfigurar o espaço urbano das cidades baianas exige, por conseguinte, não apenas investimentos em infraestrutura, mas a consolidação de uma nova cultura política, que enfrente o clientelismo e valorize a participação cidadã nos processos decisórios. Trata-se de fazer valer o direito à cidade como um direito à dignidade, ao pertencimento, à sustentabilidade e à memória – elementos indissociáveis de um projeto urbano democrático e inclusivo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do processo de estagnação do desenvolvimento urbano nas cidades baianas no segundo milênio revelou um padrão recorrente de negligência estatal, desigualdade territorial e ausência de planejamento inclusivo. A urbanização da Bahia, sobretudo no sul do estado, revela-se marcada por profundas fissuras sociais, econômicas e institucionais, que não foram devidamente enfrentadas pelas políticas públicas implementadas nas últimas décadas. A persistência de estruturas excludentes, herdeiras do ciclo agroexportador e da falência da economia cacaueteira, acentuou a precarização das condições de vida e limitou o acesso da população à infraestrutura urbana básica.

Verifica-se que, ao contrário de um modelo de cidade construído a partir da justiça social e da participação cidadã, consolidou-se uma lógica de urbanização fragmentada, voltada à reprodução da desigualdade. A ausência de políticas públicas integradas e a concentração de investimentos nos centros urbanos mais desenvolvidos impediram o florescimento de um planejamento regional equilibrado. A precariedade da mobilidade urbana, o déficit habitacional, a exclusão digital e a carência de equipamentos públicos são marcas evidentes de uma urbanização que ignora o princípio da função social da cidade e da propriedade.

É preciso reconhecer que a cidade é, antes de tudo, uma construção coletiva e política. Por isso, pensar o futuro das cidades baianas exige romper com o paradigma tecnocrático e elitista que historicamente orientou o planejamento urbano. As experiências populares, os saberes territoriais, a agricultura familiar e as redes comunitárias precisam ser integradas aos planos diretores, aos orçamentos públicos e às decisões administrativas. Isso implica não apenas garantir espaços de escuta e participação, mas transformar radicalmente a forma como o poder público se relaciona com os territórios historicamente invisibilizados.

Outro aspecto crucial é a necessidade de superar a histórica descontinuidade administrativa e o clientelismo que fragilizam a execução de projetos estruturantes.

O ciclo de promessas não cumpridas e obras inacabadas alimenta o descrédito institucional e reforça a exclusão. A construção de políticas urbanas de longo prazo, com base em dados confiáveis, planejamento participativo e transparência na gestão, é um dos caminhos para enfrentar a estagnação urbana e fortalecer a cidadania no espaço urbano.

Além disso, o presente estudo aponta para a importância de incorporar aos debates sobre desenvolvimento urbano as especificidades da história e da geografia baiana. O legado da monocultura, os impactos da vassoura-de-bruxa, o colapso da economia cacauceira e o abandono de cidades médias e pequenas revelam a necessidade de um olhar territorializado sobre o urbanismo, que considere as dinâmicas locais e regionais como centrais para o desenho de soluções eficazes e justas.

Por fim, reafirma-se que a transformação do espaço urbano passa, necessariamente, pela transformação da sociedade e do papel que se atribui ao Direito no processo de construção das cidades. O urbanismo não é neutro. Ele pode ser instrumento de exclusão ou de emancipação. Por isso, cabe ao Estado e à sociedade civil assumir, com responsabilidade e ousadia, o desafio de fazer da cidade um espaço de pertencimento, inclusão e justiça.

A Bahia, com sua diversidade cultural, seu potencial econômico e sua riqueza histórica, tem todas as condições para inaugurar um novo ciclo de urbanização. Mas, para isso, será necessário romper com os padrões excludentes do passado e construir, com base na dignidade da pessoa humana e na justiça socioespacial, uma cidade verdadeiramente democrática.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Maurício de Almeida. **A evolução urbana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IPP, 2013.

ALFONSIN, Betânia. **Direito à moradia e segurança da posse: regularização fundiária e instrumentos jurídicos de inclusão social**. Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris, 2010.

ALBUQUERQUE JÚNIOR, Durval Muniz de. **A invenção do Nordeste e outras artes**. São Paulo: Cortez, 2009.

ALMEIDA, Maria das Graças. **Cacau: história e agroecologia no sul da Bahia**. Ilhéus: Editus, 2014.

ARAÚJO, Ruy. Direito à cidade e sustentabilidade urbana. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, 2017.

BARCELLOS, Ana Paula de. **A eficácia jurídica dos princípios constitucionais: o princípio da dignidade da pessoa humana**. Rio de Janeiro: Renovar, 2002.

BARRETO, Luiz Paulo. **Direito urbanístico: fundamentos e práticas**. Salvador: Juspodivm, 2020.

BARROS, Carlos Henrique de Oliveira. **Direito Urbanístico**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2018.

BASSUL, José Carlos de Oliveira. **Cidade, espaço público e cidadania**. Brasília: Paralelo 15, 2002.

BAVA, Silvio Caccia. **Democracia, cidades e reforma urbana**. São Paulo: Instituto Pólis, 2013.

BID. **Orçamento Participativo em Porto Alegre**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2019. Disponível em: <https://www.iadb.org>. Acesso em: 12 abril. 2025.

BONDUKI, Nabil. **Planejar cidades sustentáveis: uma introdução ao desenvolvimento urbano sustentável**. São Paulo: Instituto Polis, 2018.

\_\_\_\_\_. **Planejar as cidades: fundamentos e experiências**. São Paulo: FAPESP, 2016.

BORJA, Jordi; CASTELLS, Manuel. **Local e global: a gestão das cidades na era da informação**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regula os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências (Estatuto da Cidade). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 10 mar. 2025.

CALDAS, Pedro. **O mito da cidade global: o papel das cidades médias no desenvolvimento urbano brasileiro**. Salvador: Edufba, 2019.

CARLOS, Ana Fani Alessandri. **Espaço e indústria**. São Paulo: Ática, 2001.

CARVALHO, Maria do Socorro Ferreira. **A modernização excludente no sul da Bahia: entre o cacauero e o turismo predatório**. In: SANTOS, Milton (Org.). O espaço do cidadão. São Paulo: Nobel, 1994.

CARVALHO, João Helvécio de. **Infraestrutura e cidadania: direito urbano e políticas públicas no Brasil**. Belo Horizonte: Fórum, 2018.

CASTELLS, Manuel. **A questão urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

COSTA, Geyza F. da. **O urbano em fragmentos: segregação socioespacial e mercado imobiliário**. Salvador: Edufba, 2018.

DINIZ, Maria Helena. **Curso de direito administrativo**. 32. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

FERNANDES, Edésio. **Direito urbanístico brasileiro**. São Paulo: Malheiros, 2011.

\_\_\_\_\_. **A construção do direito à cidade no Brasil**. Revista Fórum de Direito

Urbano e Ambiental, Belo Horizonte, n. 24, p. 9-17, 2011.

\_\_\_\_\_. **Princípios do direito urbanístico**. Belo Horizonte: Del Rey, 2005.

FREITAG, Barbara. **Teorias da cidade**. São Paulo: Editora Vozes, 2006.

FURTADO, Celso. **O capitalismo global**. São Paulo: Paz e Terra, 2000.

GOVERNO Do Estado Da Bahia. **VLT Salvador: um novo modal de transporte urbano**. Disponível em: <http://www.transporte.ba.gov.br>.

GORELIK, Adrián. **A invenção da metrópole: uma história da urbanização da América Latina**. São Paulo: EDUSP, 2006.

HARVEY, David. **Cidades rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

IBGE. **Cidades@ – Bahia**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 abr. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Camaçari: dados de políticas urbanas e infraestrutura**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD 2022: características gerais dos domicílios e acesso a serviços**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001.

\_\_\_\_\_. **Le droit à la ville**. Paris: Anthropos, 1968.

LEITE, Carlos. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. São Paulo: Bookman, 2012.

LOPES, José Reinaldo de Lima. **História do direito e direitos fundamentais**. São Paulo: Atlas, 2017.

MARICATO, Ermínia. **O impasse da política urbana no Brasil**. Petrópolis: Vozes, 2011.4

MEDEIROS, Vitor. **A crise da lavoura cacaueteira e o impacto socioeconômico no sul da Bahia**. Ilhéus: CEPLAC, 2003.

MELO, Sandro Nahmias. **Direitos fundamentais das pessoas com deficiência**. Salvador: JusPodivm, 2004.

OLIVEIRA, Fábio Konder Comparato. **Ética, direito, moral e religião**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

PIRES, Roberta B. **Políticas públicas urbanas no Brasil: avanços e entraves**. Brasília: Ipea, 2019.

PIOVESAN, Flávia. **Temas de direitos humanos**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

PREFEITURA DE SALVADOR. **Mobilidade urbana: Salvador implementa VLT para melhorar transporte e reduzir congestionamentos**. Salvador: PMS, 2023. Disponível em: <https://www.salvador.ba.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

RIBEIRO, Luiz César de Queiroz. **Cidades brasileiras: seu caráter, seu papel e seus problemas**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2011.

\_\_\_\_\_. **Cidade, urbanização e desigualdade**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015.

ROLNIK, Raquel. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2015.

\_\_\_\_\_. **O que é cidade**. São Paulo: Brasiliense, 2011.

SANTOS, Milton. **A urbanização desigual**. São Paulo: EDUSP, 2012.

\_\_\_\_\_. **A urbanização brasileira**. 5. ed. São Paulo: Hucitec, 2005.

\_\_\_\_\_. **Território e sociedade: entrevista a Mateus S. de Oliveira**. São Paulo: Hucitec, 1994.

\_\_\_\_\_. **Por uma outra globalização**. Rio de Janeiro: Record, 2001.

SANTOS, Ricardo. **Geografia da exclusão urbana no Sul da Bahia**. Ilhéus: Editus, 2013.

SEABRA, Odette. **Requalificação urbana e cidadania: caminhos para a justiça espacial**. Salvador: EDUFBA, 2014.

SILVA, José Afonso da. **Curso de direito constitucional positivo**. 31. ed. São Paulo: Malheiros, 2005.

SOUZA, Marcelo Lopes de. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

\_\_\_\_\_. **Os conceitos fundamentais do urbanismo crítico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

STRECK, Lenio Luiz. **Jurisdição constitucional e hermenêutica**. Rio de Janeiro: Forense, 2010.

TAVARES, André. **Urbanismo e arquitetura na Bahia**. Salvador: EDUFBA, 2016.

TORRES, Haroldo. **Urbanização e desigualdade social no Brasil**. São Paulo: Contexto, 2004.

VAINER, Carlos. **Cidades de exceção: reflexões a partir do Rio de Janeiro**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 14., 2011, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**. Rio de Janeiro: ANPUR, 2012. p. 92-105. Disponível em: <http://anpur.org.br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

VAINER, Carlos. **Pátria, empresa e mercadoria: notas sobre a estratégia discursiva do planejamento estratégico urbano**. In: ARANTES, Otilia; VAINER, Carlos; MARICATO, Ermínia (org.). **A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. Petrópolis: Vozes, 2000. p. 37-64.



## Direito à Cidade Sustentável: O Papel dos Municípios Baianos na Efetivação do Planejamento Urbano Participativo

### *Right to a Sustainable City: The Role of Bahian Municipalities in Implementing Participatory Urban Planning*

#### **Guilherme Almeida Santana Bispo**

*Especializando em Planejamento de Cidades - UESC, Especialista em Compliance; Investigador de polícia. Bacharel em Direito e Administração. Técnico em transações imobiliárias e Perito Avaliador de Imóveis*

#### **Lucas Evangelista de Menezes**

*Especializando em Planejamento de Cidades - UESC; Especialista em Direito Público; Processo Civil; Tributário e Previdenciário - Faculdade Legalle. Especialista em formação de Consultores - Uesc. Advogado. Bacharel em Direito e Comunicação Social*

#### **Yuri dos Santos Santana**

*Mestrando em Ciências Jurídicas da Universidade Autónoma de Lisboa - UAL; Docente na Universidade de Excelência - Itabuna. Advogado. Especialista em Direito Público e Privado pela Faculdade de Tecnologia e Ciências - FTC. Especialista em Direito Processual Civil; Processo do Trabalho e Direito do Trabalho - Faculdade Damásio. Bacharel em Direito pela FTC/Itabuna*

#### **Robson Amparo de Carvalho**

*Advogado, Professor no Curso de Direito ATENAS Valença, Mestrando em Planejamento Regional - UEFES, Coordenador Jurídico Instituto de Saúde ISDAN*

**Resumo:** O presente estudo analisa criticamente o papel dos municípios baianos no processo de efetivação do planejamento urbano participativo, tendo como marco normativo o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001). Parte-se da constatação de que, apesar da existência de um modelo constitucional que valoriza a função social da cidade e da propriedade, os municípios de médio porte da Bahia permanecem reféns de práticas urbanísticas excludentes, tecnicamente frágeis e democraticamente precárias. A ausência ou ineficácia de planos diretores atualizados, a baixa capacidade técnica dos entes municipais e a falta de mecanismos concretos de participação popular resultam na reprodução de padrões urbanos marcados pela segregação socioespacial, pela especulação imobiliária e pelo colapso dos serviços urbanos. O objetivo central é evidenciar o déficit democrático e técnico no planejamento urbano local e propor uma releitura crítica da governança municipal a partir dos princípios da justiça socioespacial, da sustentabilidade e da cidadania ativa. Para tanto, adota-se o método dialético, com base em pesquisa bibliográfica e documental, fundamentada em autores consagrados do Direito Urbanístico e da geografia crítica. Conclui-se que a superação do atual modelo fragmentado de gestão urbana depende de uma mudança estrutural na cultura política local, ancorada no fortalecimento da capacidade institucional dos municípios, na ampliação da participação cidadã e na efetivação de políticas públicas voltadas à promoção do direito à cidade sustentável.

**Palavras-chave:** planejamento urbano participativo; estatuto da cidade; cidades médias; Bahia; direito à cidade; sustentabilidade urbana.

**Abstract:** This study critically analyzes the role of municipalities in the state of Bahia, Brazil, in implementing participatory urban planning, using the City Statute (Law No. 10,257/2001)

as the normative framework. Despite the existence of a constitutional model that promotes the social function of the city and property, medium-sized Bahian municipalities remain subject to exclusionary, technically weak, and democratically deficient urban practices. The absence or ineffectiveness of updated master plans, the limited technical capacity of local governments, and the lack of real mechanisms for public participation perpetuate urban patterns marked by socio-spatial segregation, real estate speculation, and service collapse. The main objective is to highlight the democratic and technical deficit in local urban planning and to propose a critical reinterpretation of municipal governance based on the principles of spatial justice, sustainability, and active citizenship. The article adopts the dialectical method, based on bibliographic and documentary research, drawing from renowned authors in Urban Law and critical geography. The study concludes that overcoming the current fragmented model of urban management requires a structural change in local political culture, grounded in strengthening municipal institutional capacity, expanding civic engagement, and effectively implementing public policies that ensure the right to a sustainable city.

**Keywords:** participatory urban planning; city statute; medium-sized cities; bahia; right to the city; urban sustainability.

## INTRODUÇÃO

A consolidação do direito à cidade, enquanto expressão da justiça socioespacial e da dignidade da pessoa humana, tem se revelado um dos maiores desafios das democracias contemporâneas. A Constituição Federal de 1988 inaugura um modelo de planejamento urbano orientado pelos princípios da função social da propriedade, da gestão democrática da cidade e da sustentabilidade ambiental, ampliando o papel dos municípios na construção de políticas públicas voltadas à inclusão e à equidade urbana. O Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), por sua vez, regulamenta o artigo 182 da Constituição e institui instrumentos concretos para a implementação desse novo paradigma urbanístico, como o plano diretor participativo.

Contudo, passadas mais de duas décadas desde a promulgação do Estatuto, ainda persiste um cenário de inefetividade crônica das políticas urbanas em grande parte dos municípios brasileiros, especialmente nas cidades médias da Bahia. Nesse contexto, torna-se impossível ignorar uma contradição central que estrutura o presente estudo: como explicar que, em pleno século XXI, cidades médias da Bahia permaneçam reféns de um planejamento urbano tecnicamente frágil, democraticamente precário e juridicamente ineficaz, apesar da existência de um modelo constitucional voltado à justiça socioespacial? A indagação revela não apenas a distância entre a norma e a realidade, mas também os entraves institucionais, políticos e sociais que comprometem a efetividade do direito à cidade.

O presente estudo tem como objetivo geral analisar o papel dos municípios baianos na efetivação do planejamento urbano participativo, a partir da crítica à ausência de planos diretores eficazes em cidades de porte médio no estado. Para tanto, propõe-se examinar o arcabouço normativo vigente, com destaque para o Estatuto da Cidade, identificando os déficits técnicos e democráticos que impedem a materialização de políticas públicas urbanas comprometidas com a inclusão social, a justiça espacial e a sustentabilidade.

A escolha do recorte regional baiano justifica-se pela relevância socioeconômica dessas cidades no contexto estadual e pela persistente desigualdade na distribuição de infraestrutura, serviços e oportunidades. As cidades médias desempenham papel estratégico no processo de interiorização do desenvolvimento, mas, paradoxalmente, muitas delas ainda operam sob lógicas clientelistas, tecnicamente frágeis e apartadas da participação cidadã. Ao evidenciar essas fragilidades, o estudo pretende contribuir com o debate sobre a função constitucional do planejamento urbano como vetor de transformação da realidade local.

Para alcançar esses objetivos, adota-se o método dialético, a fim de investigar as contradições entre a normatividade do planejamento urbano e sua execução nas práticas administrativas dos municípios analisados. A pesquisa é desenvolvida por meio de revisão bibliográfica e documental, com destaque para os instrumentos jurídicos relacionados ao Direito Urbanístico, à função social da cidade e à democracia participativa. Ao final, busca-se oferecer elementos para a construção de um modelo de urbanismo democrático e sustentável, capaz de transformar a cidade em um espaço de efetivação de direitos.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **O Direito à Cidade e a Construção Constitucional da Justiça Socioespacial**

O direito à cidade, consagrado como vetor estruturante do planejamento urbano democrático no Brasil, não se reduz ao acesso físico ao espaço urbano, mas envolve a possibilidade concreta de usufruir dos bens, serviços e oportunidades que nele se concentram. Inspirado na obra de Henri Lefebvre, o conceito assume um viés político e transformador, alicerçado na ideia de que todos os cidadãos, independentemente de sua condição econômica ou localização territorial, devem ter assegurada a participação ativa nas decisões que afetam a configuração do espaço urbano.

A Constituição Federal de 1988 representa um marco jurídico na consolidação do direito à cidade ao prever, em seu artigo 182, que “a política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes”. Essa diretriz foi regulamentada pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), que estabelece instrumentos jurídicos voltados à gestão democrática, à função social da propriedade urbana e à sustentabilidade.

Segundo Fernandes (2008, p. 33), o direito à cidade deve ser compreendido como “um direito coletivo, voltado à cidadania urbana e à universalização do acesso à infraestrutura, aos equipamentos públicos e à dignidade nos modos de vida”. Tal perspectiva pressupõe a superação da lógica privatista de ocupação do solo urbano e sua substituição por uma política pública comprometida com o interesse coletivo e com a justiça social.

Nessa lógica, a cidade deixa de ser apenas um espaço físico delimitado e se transforma em um campo de direitos: direito à moradia, à mobilidade, à participação política, ao meio ambiente equilibrado e à inclusão social. A função social da cidade e da propriedade não pode ser reduzida a cláusula simbólica; ela deve se materializar em políticas públicas planejadas, participativas e eficazes. Como ensina Rodrigues (2015, p. 211), “a função social da cidade é o critério jurídico fundamental para se aferir a legitimidade das decisões urbanísticas”.

O direito à cidade exige, portanto, o reconhecimento de que o espaço urbano é também um espaço de poder. Sua organização reflete conflitos, interesses e correlações de força, razão pela qual o planejamento urbano não pode ser compreendido de forma neutra ou meramente técnica. A ausência de planos diretores eficazes, especialmente nas cidades médias do interior da Bahia, constitui violação direta a esse direito, ao perpetuar modelos de crescimento urbano excludentes, desiguais e ambientalmente insustentáveis.

Diante disso, torna-se imprescindível analisar como os municípios baianos têm negligenciado esse dever constitucional, especialmente por meio da omissão na elaboração e na implementação de instrumentos de planejamento urbano eficazes. Esse será o foco dos próximos tópicos, a partir da análise crítica da fragilidade normativa e institucional do planejamento urbano nas cidades médias do estado.

## **O Plano Diretor como Instrumento de Justiça Urbana: Obrigações Legais e Descompassos Locais**

O plano diretor representa o núcleo normativo do planejamento urbano municipal e é considerado, pelo Estatuto da Cidade, o principal instrumento da política de desenvolvimento urbano no Brasil. Em sua essência, o plano diretor deve expressar o pacto democrático entre Estado e sociedade sobre o futuro da cidade, estabelecendo diretrizes para o uso e ocupação do solo, habitação, mobilidade urbana, saneamento, preservação ambiental e inclusão social. É, portanto, um documento técnico-jurídico que traduz o projeto de cidade, devendo estar fundado na ampla participação popular.

De acordo com o artigo 182, §1º, da Constituição Federal, e regulamentado pelo artigo 40 do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), o plano diretor é obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes, para aquelas integrantes de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, e para municípios com áreas sujeitas a impactos ambientais relevantes. Ou seja, boa parte das cidades médias baianas está legalmente vinculada à elaboração e revisão periódica desse instrumento, sob pena de grave violação ao ordenamento constitucional e legal.

No entanto, o que se constata, especialmente nas cidades médias do interior da Bahia, é a negligência sistemática quanto à elaboração, atualização e efetividade do plano diretor. Em muitos casos, tais municípios ainda não possuem plano diretor vigente; em outros, ele se encontra defasado, sem revisão periódica e descolado das dinâmicas sociais, ambientais e econômicas locais. Como observa Rolnik (2017, p. 74), “a ausência de planos diretores efetivos e participativos representa uma das principais causas da reprodução das desigualdades socioespaciais no Brasil”.

A situação é particularmente crítica em cidades como Eunápolis, Jequié, Teixeira de Freitas e Itabuna, que, mesmo apresentando dinâmicas urbanas complexas, convivem com planos diretores desatualizados ou com aplicação meramente formal. A ausência de diagnósticos técnicos adequados, a baixa capacitação das equipes técnicas municipais e a fragilidade dos mecanismos de participação popular resultam em planos genéricos, inócuos e desconectados das reais necessidades urbanas.

Além disso, como destaca Fernandes (2011, p. 59), “a gestão urbana continua, na maior parte dos municípios brasileiros, prisioneira de uma lógica patrimonialista, clientelista e improvisada, que esvazia os instrumentos de planejamento de seu potencial emancipatório”. A ausência de vontade política e o desconhecimento técnico por parte dos gestores locais impedem a consolidação de um projeto urbano inclusivo, sustentável e juridicamente comprometido com o direito à cidade.

Dessa forma, o déficit de efetividade dos planos diretores nas cidades médias da Bahia revela uma profunda disfunção institucional, que compromete a justiça socioespacial e a própria legalidade urbanística. O plano diretor, quando relegado à condição de peça decorativa, transforma-se em símbolo do fracasso da gestão democrática do território, sendo urgente sua ressignificação como instrumento real de transformação urbana.

## **O Déficit Democrático e Técnico no Planejamento Urbano das Cidades Médias Baianas**

A construção democrática do espaço urbano é um dos pilares do Estatuto da Cidade, que, ao regulamentar o artigo 182 da Constituição Federal de 1988, conferiu à sociedade civil o papel de protagonista na formulação das políticas urbanas. No entanto, observa-se que, nas cidades médias da Bahia, essa diretriz normativa esbarra em limitações estruturais, institucionais e políticas que inviabilizam uma participação cidadã efetiva e informada.

A escuta social, exigida como condição de validade dos planos diretores (art. 43, Estatuto da Cidade), tem se resumido, na prática, a audiências públicas esvaziadas e processos consultivos simbólicos. Como aponta Maricato (2011, p. 23), “a participação popular é muitas vezes formalizada como um ritual burocrático, sem impacto real sobre as decisões que moldam o território urbano”. Esse esvaziamento democrático aprofunda a distância entre o Estado e os cidadãos, minando a legitimidade das diretrizes urbanas e a confiança nas instituições.

Para além do descompromisso político, soma-se o déficit técnico dos entes municipais, que, em sua maioria, não dispõem de corpo técnico capacitado para conduzir diagnósticos territoriais complexos, projetar cenários de desenvolvimento sustentável ou elaborar planos de mobilidade, habitação e uso do solo com base em dados atualizados e indicadores confiáveis. Como salienta Brandão (2019, p. 88), “a ausência de quadros técnicos qualificados transforma o planejamento urbano em mera reprodução de modelos genéricos, descolados das especificidades locais”.

No interior da Bahia, essa realidade se torna ainda mais preocupante diante do histórico de precariedade institucional de muitos municípios, que enfrentam restrições orçamentárias crônicas, rotatividade administrativa e dependência excessiva de convênios federais. Com isso, o planejamento urbano se transforma em ferramenta de reprodução de desigualdades, ao invés de instrumento de inclusão e justiça territorial. A governança urbana, fragilizada, torna-se permeável à captura por interesses econômicos localizados, como o da especulação imobiliária, em detrimento dos interesses coletivos e do direito à cidade.

Além disso, há um descompasso entre o discurso legal e a prática cotidiana das administrações locais. Como observa Carlos Vainer (2000, p. 41), “vivemos em cidades que são geridas por lógicas privatistas, onde a tecnocracia do planejamento é substituída pelo improvisado do marketing político”. Essa substituição, especialmente visível em processos eleitorais, compromete a sustentabilidade dos planos urbanos e reforça a descontinuidade administrativa.

Portanto, para que o planejamento urbano cumpra sua função social e promova a equidade territorial, é imprescindível o fortalecimento da capacidade técnica dos municípios e a radicalização dos mecanismos de participação popular. A democratização do planejamento urbano não é apenas uma exigência legal — é uma condição para a construção de cidades mais justas, sustentáveis e comprometidas com a dignidade da vida urbana.

## **Especulação Imobiliária, Acesso à Moradia e a Violação da Função Social da Cidade**

A função social da cidade, prevista no artigo 182 da Constituição Federal de 1988 e regulamentada pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), impõe que o ordenamento territorial urbano seja orientado para garantir o bem coletivo, a segurança e o bem-estar de seus habitantes. No entanto, em diversas cidades médias da Bahia, essa diretriz constitucional tem sido sistematicamente violada pela atuação desenfreada da especulação imobiliária, que compromete o direito à moradia e acentua a exclusão socioespacial.

A valorização artificial da terra urbana, impulsionada por interesses privados e frequentemente legitimada por omissões do poder público, tem transformado a moradia em mercadoria, e não em direito fundamental. Como observa Raquel Rolnik (2015, p. 74), “a produção do espaço urbano no Brasil é comandada pela lógica do lucro, e não pela lógica do direito, resultando em um território fragmentado, injusto e segregado”. Essa lógica perversa se manifesta em processos de gentrificação, remoções forçadas e expansão horizontal desordenada, que empurram as camadas mais pobres para áreas periféricas, carentes de infraestrutura e serviços básicos.

Nas cidades baianas de médio porte, especialmente aquelas situadas em zonas de expansão turística ou agroindustrial, a especulação territorial tem provocado profundas distorções no uso e na ocupação do solo. Terrenos ociosos, muitas vezes pertencentes a grandes proprietários ou empreendimentos imobiliários, permanecem subutilizados enquanto milhares de famílias habitam em áreas de risco,

em loteamentos irregulares ou em ocupações informais. Tal contradição evidencia a omissão do Estado na implementação de instrumentos de ordenamento urbano previstos no Estatuto da Cidade, como o parcelamento, edificação ou utilização compulsórios e o IPTU progressivo.

De acordo com Ferreira (2021, p. 136), “o não enfrentamento da especulação fundiária revela o pacto silencioso entre o poder público e os setores hegemônicos do mercado, que instrumentalizam o espaço urbano como campo de acumulação de capital”. Essa realidade compromete não apenas o acesso à moradia digna, mas também a mobilidade urbana, o equilíbrio ambiental e o próprio exercício da cidadania.

Ao negligenciar a função social da propriedade urbana, os municípios violam os fundamentos do Estado Democrático de Direito e reforçam um modelo excludente de urbanização. É imprescindível, portanto, que o planejamento urbano enfrente a especulação com coragem institucional e respaldo técnico, utilizando os instrumentos jurídicos disponíveis para garantir a justiça territorial. Como lembra Bonduki (2013, p. 97), “sem o enfrentamento à concentração fundiária, o direito à cidade não passará de uma promessa vazia”.

O fortalecimento do papel fiscalizador e regulador dos municípios, aliado à participação popular e ao controle social das políticas urbanas, é condição necessária para romper com o ciclo de violação da função social da cidade. Apenas assim será possível assegurar que a moradia deixe de ser um privilégio e passe a ser tratada como o que de fato é: um direito humano essencial.

## **Gestão Territorial, Desigualdade Urbana e os Limites da Governança Local**

A gestão territorial nos municípios baianos de médio porte evidencia uma profunda assimetria entre o que se propõe no plano normativo e o que se realiza no plano empírico. Apesar da existência de instrumentos legais robustos para o planejamento urbano – como o Plano Diretor Participativo, a outorga onerosa do direito de construir e a regularização fundiária –, muitos municípios enfrentam limitações técnicas, políticas e orçamentárias que os impedem de exercer uma governança territorial eficaz, inclusiva e sustentável.

O déficit de governança urbana não decorre apenas da escassez de recursos financeiros, mas sobretudo da ausência de um projeto político comprometido com a democratização do espaço urbano. A gestão municipal, em muitos casos, se mostra capturada por interesses de grupos econômicos locais, tornando-se refratária à participação popular e à aplicação dos instrumentos de justiça socioespacial. Como alerta Carlos Vainer (2000, p. 85), “a cidade não é neutra: sua forma, sua organização e seu funcionamento expressam correlações de forças e projetos societários em disputa”.

As desigualdades territoriais persistem e se aprofundam na medida em que o poder público falha em promover políticas de uso do solo que levem em conta a vulnerabilidade social, a sustentabilidade ambiental e a distribuição equitativa de servi-

ços urbanos. Nas periferias das cidades médias baianas, observa-se a reprodução de padrões de segregação: ausência de saneamento básico, transporte precário, déficit de equipamentos públicos e ocupações em áreas de risco. Essa realidade reflete o que Milton Santos (1994, p. 58) chamou de “urbanização perversa”, em que o crescimento urbano não é acompanhado por direitos, mas sim por carências.

Além disso, a centralização decisória nos executivos municipais e a fragilidade dos conselhos de política urbana enfraquecem os mecanismos de controle social, limitando a efetiva participação cidadã no planejamento da cidade. A lógica tecnocrática, que despreza o saber popular e os mecanismos deliberativos, compromete o caráter democrático que deveria fundamentar a governança local. Como observa Ermínia Maricato (2011, p. 119), “a gestão da cidade continua sendo dominada por interesses econômicos e por uma cultura autoritária de planejamento, distante da realidade das periferias”.

A superação desses limites passa pela qualificação técnica dos quadros administrativos, pela valorização do planejamento integrado e pela implementação de ferramentas de gestão participativa, como os orçamentos participativos, as audiências públicas efetivas e os planos diretores elaborados com ampla escuta social. É preciso, ainda, que o Estado exerça sua função reguladora com firmeza, enfrentando os interesses que perpetuam a desigualdade espacial e comprometem a função social da cidade.

Portanto, os municípios baianos precisam reconfigurar seus modelos de gestão territorial, tornando-os mais transparentes, democráticos e orientados pelos princípios da equidade, da sustentabilidade e da justiça urbana. Só assim será possível romper com a lógica da exclusão e avançar rumo a um projeto de cidade verdadeiramente cidadã.

## **Planejamento Urbano Sustentável: Entre a Retórica Institucional e a Ausência de Execução Municipal**

Embora o discurso oficial sobre sustentabilidade urbana esteja amplamente incorporado nos planos e programas de desenvolvimento local, a realidade das cidades médias da Bahia revela um abismo entre a retórica institucional e a prática administrativa. A sustentabilidade, entendida como a articulação equilibrada entre desenvolvimento econômico, justiça social e preservação ambiental, ainda se apresenta como um ideal distante na gestão pública urbana baiana.

Na maioria dos municípios analisados, os Planos Diretores, quando existem, carecem de atualização, rigor técnico e efetividade. Conforme destaca Leonardo Avritzer (2012, p. 97), “a institucionalização de mecanismos de planejamento urbano não tem sido suficiente para produzir mudanças estruturais nas cidades, sobretudo quando esses instrumentos são apropriados por elites locais e descolados da realidade social”. Na Bahia, esse fenômeno é intensificado pela ausência de planejamento ambiental integrado, o que contribui para a ocupação desordenada do solo e a degradação de recursos naturais sensíveis, como áreas de preservação permanente e nascentes urbanas.

O planejamento urbano sustentável exige a adoção de estratégias intersetoriais, que envolvam mobilidade urbana, habitação, saneamento básico, infraestrutura verde e resiliência climática. No entanto, o que se verifica é uma atuação fragmentada dos entes públicos, com projetos isolados e desarticulados entre as pastas municipais. A consequência é a reprodução de um modelo de cidade excludente, onde os investimentos se concentram em áreas centrais e os territórios periféricos permanecem à margem do desenvolvimento urbano.

A ineficácia dos planos de ação sustentável, muitas vezes elaborados apenas para cumprir exigências legais ou obter financiamento externo, reforça a ideia de que o planejamento urbano, nas cidades médias baianas, continua sendo um exercício formalista e tecnocrático. Para Marcelo Lopes de Souza (2010, p. 36), “a sustentabilidade urbana não se constrói por decreto ou por meio de discursos institucionalizados, mas sim a partir de processos sociais, políticos e territoriais efetivos que transformem a lógica do uso do espaço urbano”.

Nesse cenário, é fundamental repensar o planejamento urbano como um instrumento de transformação social, comprometido com a equidade territorial e com o fortalecimento das capacidades institucionais dos municípios. A sustentabilidade urbana não pode se limitar a slogans ou planos engavetados; ela deve se traduzir em ações concretas que impactem positivamente a vida cotidiana das populações mais vulneráveis.

Portanto, o desafio das cidades médias baianas consiste em superar a dissonância entre o discurso e a prática, assumindo um compromisso efetivo com o planejamento urbano sustentável. Isso requer a reorientação das prioridades públicas, a valorização do conhecimento técnico-científico, a ampliação dos canais de participação cidadã e a implementação de políticas territoriais comprometidas com o futuro coletivo.

## **Governança Municipal e o Déficit de Capacidade Técnica na Implementação das Agendas Urbanas**

A efetividade do planejamento urbano participativo previsto no Estatuto da Cidade e em tratados internacionais, como a Nova Agenda Urbana (Habitat III, 2016), exige mais do que marcos normativos bem-intencionados: requer estruturas institucionais locais capazes de compreender, formular, aplicar e fiscalizar políticas públicas urbanas. No entanto, muitos municípios baianos de porte médio revelam um preocupante déficit de capacidade técnica e administrativa, o que compromete a materialização do direito à cidade e aprofunda as desigualdades socioespaciais.

A ausência de quadros técnicos permanentes, a alta rotatividade de gestores e a precariedade dos sistemas de informação urbana figuram entre os principais entraves à implementação das agendas urbanas no plano local. Conforme aponta Carlos Vainer (2000, p. 82), “sem um aparato estatal capaz de operar políticas públicas de forma coordenada, o planejamento urbano se converte em exercício retórico, desconectado da realidade social e institucional”.

A falta de equipes multidisciplinares habilitadas para lidar com os instrumentos urbanísticos – como planos diretores, zoneamento, outorga onerosa e operações urbanas consorciadas – dificulta tanto a elaboração quanto a execução das diretrizes traçadas pela Constituição Federal e pelo Estatuto da Cidade.

Em diversos municípios baianos, observa-se que os planos diretores, quando existem, foram elaborados por consultorias externas com baixa participação popular, o que os torna frágeis do ponto de vista técnico e ilegítimos do ponto de vista democrático. Segundo estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2021), mais de 60% dos planos diretores dos municípios brasileiros não estão atualizados ou são considerados inefetivos na prática, o que afeta diretamente o ordenamento territorial e a promoção da justiça urbana.

O problema se agrava quando se constata que, em muitos desses municípios, o orçamento destinado à política urbana é reduzido, disperso entre secretarias e frequentemente dependente de emendas parlamentares com viés clientelista. Como observa Raquel Rolnik (2015, p. 147), “a governança urbana brasileira ainda sofre de um ciclo vicioso entre incapacidade institucional, precariedade técnica e ausência de vontade política, o que resulta em cidades excludentes e mal planejadas”.

A fragilidade institucional também dificulta a apropriação local de iniciativas globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, especialmente os objetivos 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes). Sem estruturas mínimas de planejamento e monitoramento, os municípios permanecem alheios às metas internacionais de desenvolvimento urbano sustentável, aprofundando a distância entre o ideal jurídico e a realidade local.

Dessa forma, o fortalecimento da governança municipal – com investimentos em capacitação técnica, estabilidade institucional, democratização dos conselhos urbanos e valorização dos servidores públicos – constitui um passo fundamental para a construção de cidades baianas mais justas, sustentáveis e democráticas. A superação do déficit de capacidade técnica é condição essencial para que o direito à cidade deixe de ser uma promessa normativa e se converta em realidade cotidiana.

## **Uma Agenda Jurídica e Democrática para o Planejamento Urbano nos Municípios Baianos**

A persistência de déficits estruturais no planejamento urbano de cidades médias da Bahia exige mais do que diagnósticos recorrentes: demanda a constituição de uma agenda jurídica e democrática capaz de reposicionar o planejamento urbano como instrumento de justiça socioespacial. A superação da invisibilidade técnica e da exclusão social nas políticas urbanas depende de um pacto político-institucional que envolva os poderes públicos locais, estaduais e federais, bem como a sociedade civil organizada e os operadores do Direito.

Nesse sentido, é imprescindível retomar o protagonismo do Plano Diretor como principal instrumento de ordenação do território, com base na participação social qualificada, nos princípios da função social da cidade e da propriedade, e

nos objetivos do desenvolvimento sustentável. Como observa Raquel Rolnik (2015, p. 97), “o planejamento urbano não pode continuar sendo uma prerrogativa de gabinetes técnicos distantes da realidade concreta. Ele deve emergir dos conflitos e demandas dos sujeitos sociais que habitam o território e vivem suas desigualdades cotidianas”.

A Constituição Federal de 1988, ao inaugurar uma ordem jurídico-urbanística centrada na dignidade da pessoa humana e na função social da cidade, impôs aos municípios o dever de democratizar os processos decisórios e integrar políticas urbanas, habitacionais, ambientais e sociais.

No entanto, a ausência de mecanismos eficazes de controle social, a baixa capacidade institucional dos municípios e o descompromisso de parte do Legislativo e do Executivo local têm fragilizado a efetividade desses comandos constitucionais. Como destaca Eros Grau (2006, p. 83), “a Constituição deve ser lida como projeto de transformação social, e não como simples arranjo normativo”.

Essa agenda deve também envolver os órgãos de controle, como Tribunais de Contas e Ministério Público, que têm papel relevante na fiscalização do cumprimento das normas urbanísticas e na repressão à inércia estatal. Ao mesmo tempo, as universidades e centros de pesquisa precisam fortalecer a produção de conhecimento aplicado ao contexto local, subsidiando decisões políticas e ampliando a capacidade de planejamento dos gestores públicos.

Por fim, é essencial que o planejamento urbano seja compreendido não apenas como uma técnica, mas como um ato de justiça territorial, um compromisso ético com o presente e o futuro das cidades. Uma agenda jurídica e democrática exige o reconhecimento da centralidade da cidade na realização de direitos fundamentais, como moradia, mobilidade, educação, saúde e cultura. Trata-se, portanto, de reafirmar o papel transformador do Direito na construção de cidades mais justas, inclusivas e sustentáveis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O direito à cidade sustentável não é uma utopia normativa ou uma promessa distante inscrita na Constituição Federal e no Estatuto da Cidade: é um imperativo ético, jurídico e político que clama por efetivação, sobretudo nas cidades médias da Bahia, historicamente negligenciadas nos processos de desenvolvimento urbano. Este estudo demonstrou que a ausência de planos diretores eficazes, a baixa participação social e a precariedade técnica das gestões municipais têm contribuído para perpetuar um modelo excludente, ineficiente e alheio às reais necessidades da população.

O planejamento urbano não pode continuar a ser encarado como um exercício meramente burocrático ou técnico, desvinculado das lutas sociais, das desigualdades territoriais e da construção democrática do espaço. Como se viu, muitos municípios baianos ainda operam sob uma lógica autorreferente, concentradora e descomprometida com os marcos normativos vigentes, o que

contribui para agravar os problemas urbanos em vez de mitigá-los. A Constituição de 1988 e o Estatuto da Cidade impõem outra direção: a de um planejamento participativo, intersetorial e fundado na função social da cidade e da propriedade.

Neste cenário, a justiça urbana assume centralidade como elemento estruturante de uma cidade verdadeiramente democrática. A democratização do espaço urbano passa pela reconstrução das instituições locais de planejamento, pelo fortalecimento dos conselhos municipais e pela inclusão ativa das vozes historicamente silenciadas nos processos de decisão. É necessário romper com a lógica da exclusão e implementar mecanismos de participação real, vinculante e transformadora.

Assim, a construção de uma cidade sustentável na Bahia exige um novo pacto urbano: tecnicamente competente, juridicamente comprometido e democraticamente ativo. Isso implica resgatar o papel estratégico do plano diretor como instrumento de gestão do território, promover o controle social das políticas públicas e inserir o planejamento urbano no centro do debate sobre direitos fundamentais. O município, como ente federativo mais próximo da vida cotidiana das pessoas, não pode mais se eximir de sua responsabilidade constitucional.

A cidade do futuro será o espelho do compromisso assumido hoje. E este compromisso não pode ser outro senão o de garantir a todos os cidadãos e cidadãs baianos o direito de viver em uma cidade justa, inclusiva, participativa e ambientalmente equilibrada. Qualquer projeto de desenvolvimento urbano que ignore essa premissa estará condenado ao fracasso — e a perpetuar a lógica perversa de exclusão socioespacial que marcou a história urbana brasileira.

## REFERÊNCIAS

ALFONSIN, Betânia. **Direito à cidade e função social da propriedade e da cidade: algumas reflexões sobre a Lei 10.257/2001 – Estatuto da Cidade.**

AVRITZER, Leonardo. **Impasses da democracia no Brasil.** Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2012.

BARCELLOS, Ana Paula de. **A eficácia jurídica dos princípios constitucionais: o princípio da dignidade da pessoa humana.** Rio de Janeiro: Renovar, 2002.

BONDUKI, Nabil. **Os caminhos da política urbana no Brasil.** In: MARICATO, Ermínia *et al.* Cidades Rebeldes. São Paulo: Boitempo, 2013.

BRANDÃO, Carlos. **Planejamento urbano e participação democrática: limites e possibilidades na gestão das cidades.** 2. ed. São Paulo: Perseu Abramo, 2019.

BRASIL. **Constituição (1988).** Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regula os artigos 182 e 183 da

Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências (Estatuto da Cidade). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 10 mar. 2025.

CAMPOS, Carlos Alexandre de Azevedo. *Direito Urbanístico: fundamentos para uma nova ordem jurídico-urbanística*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2016.

CANO, Wilson. **Raízes da concentração industrial em São Paulo**. 5. ed. Campinas: Unicamp, 2007.

CANOTILHO, J. J. Gomes. **Direito Constitucional e Teoria da Constituição**. 7. ed. Coimbra: Almedina, 2003.

CARLOS, Ana Fani Alessandri. **O lugar no/do mundo**. São Paulo: FFLCH/USP, 1996.

\_\_\_\_\_. **Direito urbanístico brasileiro**. São Paulo: Malheiros, 2008.

\_\_\_\_\_. **O enigma do capital e as crises do capitalismo**. São Paulo: Boitempo, 2011.

CNM – Confederação Nacional dos Municípios. **Panorama da implementação dos Planos Diretores nos Municípios Brasileiros**. Brasília, 2023.

Estatuto da Cidade – Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 11 fev. 2025.

FERREIRA, José João. **Espaço, mercado e poder: a cidade brasileira entre o público e o privado**. São Paulo: Contexto, 2021.

FERNANDES, Erasmo Silvestre. **Gestão urbana e exclusão socioespacial: desafios do planejamento nas cidades brasileiras**. Belo Horizonte: Del Rey, 2011.

FERNANDES, Florestan. **A cidade e o cidadão: ensaios de sociologia urbana**. São Paulo: Cortez, 2008.

FERNANDES, Edésio. **O Estatuto da Cidade e a ordem jurídico-urbanística**. In: CARVALHO, Sônia; ROLNIK, Raquel (orgs.). *Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos*. Brasília: Ministério das Cidades, 2002.

GRAU, Eros Roberto. **Por que tenho medo dos juízes?** 7. ed. São Paulo: Malheiros, 2006.

HARVEY, David. **Cidades Rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Direito à cidade e políticas públicas**. Brasília: IPEA, 2020.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001.

LEMOS, Carlos Eduardo. Plano Diretor Participativo: instrumento da democracia urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 85-101, 2011.

MARICATO, Ermínia. **O impasse da política urbana no Brasil**. Petrópolis: Vozes, 2011.

\_\_\_\_\_. **Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência**. São Paulo: Perseu Abramo, 1996.

NASCIMENTO, Eliana Sousa Silva. Direito à cidade e juventudes negras: o desafio das políticas públicas. **Revista Direito e Práxis**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 901-925, 2019.

ONU-HABITAT. **Nova Agenda Urbana**. Quito: Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III), 2016. Disponível em: <https://habitat3.org/the-new-urban-agenda/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

PIOVESAN, Flávia. **Temas de Direitos Humanos**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

\_\_\_\_\_. **Direitos humanos e justiça social**. São Paulo: Cortez, 2007.

Raquel; FERNANDES, Edésio (orgs.). **A lei e a ilegalidade na produção do espaço urbano**. São Paulo: Pólis, 2001.

RIBEIRO, Luiz César de Queiroz. As metrópoles e a questão social brasileira. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 18, n. 51, p. 45-67, 2003.

RODRIGUES, Silvio Capanema de Souza. **Direito urbanístico: a função social da cidade e da propriedade**. 3. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2015.

ROLNIK, Raquel. **O que é cidade**. São Paulo: Brasiliense, 1997.

\_\_\_\_\_. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2017.

SÁ, Ana Claudia Farranha de. **Função social da cidade e direito à cidade**. In: RIBEIRO, Darcy; VALLADARES, Licia do Prado (org.). **O direito à cidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

SANTOS, Milton. **O espaço do cidadão**. São Paulo: Nobel, 1987.

\_\_\_\_\_. **Metrópole corporativa fragmentada: o caso de São Paulo**. São Paulo: Nobel, 1994.

\_\_\_\_\_. **A urbanização desigual: a cidade como um meio técnico-científico-informacional**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SOUSA SANTOS, Boaventura de. **A crítica da razão indolente: contra o desperdício da experiência**. São Paulo: Cortez, 2000.

\_\_\_\_\_. **A gramática do tempo: para uma nova cultura política**. São Paulo: Cortez, 2006.

SILVA, José Afonso da. **Direito urbanístico brasileiro**. 8. ed. São Paulo: Malheiros, 2012.

VAINER, Carlos. **Pátria, empresa e mercadoria: notas sobre a estratégia discursiva do planejamento estratégico urbano**. In: ARANTES, Otília; VAINER, Carlos; MARICATO, Ermínia (org.). **A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. Petrópolis: Vozes, 2000. p. 37-64.

VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

\_\_\_\_\_. **Segregação urbana e desigualdade**. São Paulo: Lincoln Institute of Land Policy, 2011.

WANDERLEY, Maria de Nazareth Baudel. **Planejamento urbano e exclusão social**. Recife: Ed. UFPE, 2006.



# Cidades Inteligentes e Inclusão Social: A Efetivação de Direitos Fundamentais por Meio da Acessibilidade Urbana

## Urban Accessibility and Citizenship: People with Disabilities and the Enforcement of Their Rights

### Guilherme Almeida Santana Bispo

*Especializando em Planejamento de Cidades - UESC, Especialista em Compliance; Investigador de polícia. Bacharel em Direito e Administração. Técnico em transações imobiliárias e Perito Avaliador de Imóveis*

### Lucas Evangelista de Menezes

*Especializando em Planejamento de Cidades – UESC; Especialista em Direito Público; Processo Civil; Tributário e Previdenciário – Faculdade Legalle. Especialista em formação de Consultores – Uesc. Advogado. Bacharel em Direito e Comunicação Social*

### Yuri dos Santos Santana

*Mestrando em Ciências Jurídicas da Universidade Autônoma de Lisboa – UAL; Docente na Universidade de Excelência - Itabuna. Advogado. Especialista em Direito Público e Privado pela Faculdade de Tecnologia e Ciências – FTC. Especialista em Direito Processual Civil; Processo do Trabalho e Direito do Trabalho – Faculdade Damásio. Bacharel em Direito pela FTC/Itabuna*

### Robson Amparo de Carvalho

*Advogado, Professor no Curso de Direito ATENAS Valença, Mestrando em Planejamento Regional - UEFS, Coordenador Jurídico Instituto de Saúde ISDAN*

**Resumo:** O presente estudo propõe uma análise crítica sobre a exclusão estrutural das pessoas com deficiência no contexto das cidades brasileiras, destacando os desafios enfrentados para a efetividade dos direitos fundamentais dessa população em face do modelo urbano tradicional. A pesquisa parte da compreensão de que a deficiência não se resume a limitações individuais, mas resulta da interação com barreiras físicas, atitudinais e institucionais. Discute-se, nesse sentido, a importância da inclusão social e da acessibilidade como fundamentos para a construção de cidades inteligentes e sustentáveis. Por meio da análise de princípios constitucionais, da evolução normativa e das políticas públicas, o estudo evidencia a necessidade de um novo paradigma urbano inclusivo, no qual a dignidade da pessoa humana seja efetivamente assegurada. Para alcançar esses objetivos, adota-se o método dialético, com base em pesquisa bibliográfica e análise crítica de marcos jurídicos nacionais e internacionais, propondo soluções para a superação do capacitismo estrutural e para a consolidação de uma cidadania plena e igualitária.

**Palavras-chave:** inclusão social; acessibilidade; cidades inteligentes; pessoa com deficiência; direitos fundamentais.

**Abstract:** This study presents a critical analysis of the structural exclusion of people with disabilities in Brazilian cities, highlighting the challenges for the effective enforcement of their fundamental rights within the traditional urban model. The research is based on the understanding that disability is not limited to individual limitations, but results from interaction with physical, attitudinal, and institutional barriers. In this regard, the study discusses the importance of social inclusion and accessibility as pillars for building smart and sustainable cities. By analyzing constitutional principles, legal developments, and public policies, the study emphasizes the urgency of a new inclusive urban paradigm in which the dignity of the

human person is effectively guaranteed. To achieve these goals, the dialectical method is adopted, based on bibliographic research and critical analysis of national and international legal frameworks, proposing solutions to overcome structural ableism and consolidate full and equal citizenship.

**Keywords:** social inclusion; accessibility; smart cities; people with disabilities; fundamental rights.

## INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil, marcado historicamente por desigualdades sociais e pela precarização dos espaços urbanos, tem exigido novas formas de organização e gestão das cidades, especialmente diante dos desafios impostos pela exclusão social, pela deficiência de infraestrutura e pela falta de políticas públicas voltadas à justiça socioespacial. Nesse cenário, ganha relevo o conceito de cidades inteligentes, que, para além do uso de tecnologias da informação e comunicação (TICs), deve ser compreendido como um modelo de gestão urbana comprometido com a inclusão, a sustentabilidade e a efetivação de direitos fundamentais no ambiente urbano.

O que se espera de uma cidade inteligente não é apenas eficiência digital, mas também um ambiente que promova acessibilidade universal, mobilidade inclusiva, moradia digna e participação cidadã. A função social da cidade, prevista no artigo 182 da Constituição Federal de 1988, deve ser concretizada com base na justiça social e na dignidade da pessoa humana, valores estruturantes do Estado Democrático de Direito. Como bem observa Raquel Rolnik (2015, p. 112), “as cidades não são apenas o palco da vida social, mas agentes produtores de desigualdade ou de justiça, dependendo da forma como são planejadas e governadas”.

Contudo, constata-se uma distância significativa entre o discurso normativo e a realidade concreta das cidades brasileiras, onde persistem barreiras arquitetônicas, urbanísticas, tecnológicas e atitudinais que excluem milhões de pessoas, especialmente aquelas com deficiência. A ausência de acessibilidade, a falta de dados integrados e a inexistência de políticas públicas voltadas ao pleno exercício da cidadania urbana denunciam o déficit de inclusão que compromete a própria noção de cidade como espaço de direitos. Como aponta Fernandes (2011, p. 34), “não basta reconhecer juridicamente o direito à cidade; é necessário garantir mecanismos concretos para sua efetivação”.

É nesse contexto que surge o problema central deste artigo: de que modo o ordenamento jurídico brasileiro tem contribuído — ou falhado — na promoção de cidades inteligentes verdadeiramente inclusivas e acessíveis, especialmente para as pessoas com deficiência? A análise parte da premissa de que a inclusão social deve ser elemento estruturante das políticas urbanas, e que o Direito possui papel fundamental na transformação do espaço urbano em espaço de justiça e igualdade.

O objetivo principal do estudo é examinar a dimensão jurídica do conceito de cidades inteligentes, com ênfase na inclusão das pessoas com deficiência, analisando os princípios constitucionais aplicáveis, os instrumentos urbanísticos previstos no Estatuto da Cidade e as diretrizes da Lei Brasileira de Inclusão (Lei

nº 13.146/2015). Busca-se, ainda, discutir os limites e possibilidades do modelo atual de governança urbana, apontando caminhos para a construção de uma cidade democrática, sustentável e acessível.

Para alcançar esses objetivos, adota-se o método dialético, buscando compreender as contradições e fragilidades do sistema jurídico brasileiro na efetivação da inclusão urbana. A pesquisa será desenvolvida por meio de levantamento doutrinário, normativo e jurisprudencial, com ênfase na crítica constitucional e nos marcos legais do Direito Urbanístico, do Direito das Pessoas com Deficiência e do Direito à Cidade. Ao final, busca-se contribuir para o aperfeiçoamento das políticas públicas urbanas, de modo a integrar tecnologia e justiça social no projeto de cidades verdadeiramente inteligentes.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **O direito à Cidade como Direito Fundamental no Estado Democrático**

O conceito de “direito à cidade” representa uma das mais importantes expressões contemporâneas de justiça social urbana, conectando-se diretamente à dignidade da pessoa humana, à função social da propriedade e ao acesso igualitário aos recursos e oportunidades que o espaço urbano oferece. Não se trata de um simples direito de habitar, mas da possibilidade de participar ativamente da construção, do usufruto e da transformação da cidade. Como adverte Henri Lefebvre (2001, p. 89), precursor do termo, “o direito à cidade é, antes de tudo, um direito à vida urbana, à centralidade e à apropriação coletiva do espaço”.

Constitucionalmente, o direito à cidade se ancora em diversos dispositivos da Constituição Federal de 1988, especialmente nos artigos 1º, 3º e 6º, que asseguram os fundamentos da cidadania, da dignidade humana e da erradicação das desigualdades sociais. De modo mais específico, o artigo 182 estabelece que “a política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes”.

O reconhecimento desse direito é intensificado pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), que regulamenta o capítulo da política urbana da Constituição e institui instrumentos jurídicos para garantir a função social da cidade e da propriedade. Como aponta Edésio Fernandes (2005, p. 217), “a concretização do direito à cidade exige uma leitura sistêmica e integradora da legislação urbanística, que articule instrumentos jurídicos com políticas públicas inclusivas”. Dessa forma, é evidente que o ordenamento jurídico brasileiro atribui ao poder público o dever de promover cidades mais justas, sustentáveis e inclusivas.

Entretanto, a efetivação desse direito encontra obstáculos persistentes, notadamente na ausência de infraestrutura adequada, na segregação socioespacial, na precarização das moradias e na exclusão de grupos vulneráveis, como pessoas com deficiência, idosos e populações periféricas. A cidade, que deveria ser o espaço da pluralidade e da convivência, torna-se palco de negação de direitos e reprodução de desigualdades. Como destaca Raquel Rolnik (2015, p. 134), “o acesso desigual aos bens urbanos é uma das formas mais perversas de violação dos direitos fundamentais no Brasil”.

Para que se alcance uma cidade verdadeiramente democrática e inclusiva, é imprescindível superar o modelo tecnocrático de urbanização, substituindo-o por uma lógica de participação social, justiça territorial e acessibilidade universal. Isso implica, necessariamente, incorporar o direito à cidade como direito fundamental no projeto de cidades inteligentes, compreendendo que a inteligência urbana deve priorizar pessoas, e não apenas dispositivos e algoritmos.

Portanto, o direito à cidade não pode ser compreendido como um conceito abstrato ou meramente simbólico: ele exige efetividade jurídica, políticas públicas articuladas e o compromisso de toda a sociedade com a construção de cidades acessíveis, sustentáveis e voltadas para a promoção da dignidade humana.

A ideia de cidades inteligentes não pode ser reduzida à mera aplicação de tecnologia à gestão urbana. Antes de tudo, deve traduzir um novo paradigma de desenvolvimento urbano centrado nas pessoas, na equidade e na justiça social. A cidade inteligente, para ser verdadeiramente democrática, deve garantir a inclusão social como valor estruturante, superando desigualdades históricas e promovendo o acesso universal a bens, serviços e oportunidades urbanas. Como destaca Fernanda Papa (2021, p. 212), “não há inteligência possível em uma cidade que exclui, que segrega e que reproduz a desigualdade em sua base”.

A inclusão social, nesse contexto, significa eliminar barreiras – físicas, sociais, econômicas, digitais e atitudinais – que impedem o pleno exercício da cidadania urbana por populações vulneráveis, com destaque para as pessoas com deficiência. A própria Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, internalizada pelo Brasil com status constitucional, afirma que acessibilidade, mobilidade e participação política são condições indispensáveis à inclusão e ao direito à cidade.

Como explica Silvia Helena Barros (2020, p. 88), “as cidades inteligentes devem incorporar políticas de inclusão ativa e de justiça territorial, sob pena de reforçarem padrões excludentes sob uma roupagem tecnológica”. Ou seja, a inclusão não é uma etapa posterior ao desenvolvimento tecnológico: ela deve estar na origem do projeto urbano inteligente. Tecnologias digitais, sensores, big data e sistemas integrados só serão ferramentas de cidadania se estiverem a serviço da inclusão – e não da vigilância, do controle ou da especulação urbana.

No Brasil, essa perspectiva ainda enfrenta grandes desafios. Segundo relatório do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2022), a maioria dos municípios brasileiros não possui estrutura mínima de planejamento urbano que articule inclusão, sustentabilidade e tecnologia. A ausência de planejamento intersetorial

resulta em políticas fragmentadas e ineficazes, que perpetuam a exclusão de grupos sociais inteiros. Como observa José Luiz Quadros de Magalhães (2021, p. 171), “uma cidade só é inteligente quando a sua inteligência é socializada, quando seus frutos chegam aos mais pobres, aos marginalizados, aos invisibilizados”.

A acessibilidade universal é um dos pilares dessa lógica inclusiva. Ela deve ser considerada desde o desenho do espaço urbano até a formulação de políticas públicas e soluções tecnológicas. O conceito de Desenho Universal, por exemplo, defendido por autores como Ronald Mace e promovido pela ONU-Habitat, propõe que todos os ambientes e produtos urbanos sejam concebidos para o uso equitativo de todas as pessoas, independentemente de idade, condição física ou limitação sensorial.

Nesse sentido, a inclusão social deve ser compreendida como um critério de legitimidade e eficácia das cidades inteligentes. Uma cidade só é verdadeiramente inteligente quando assegura a participação plena de todas as pessoas, com respeito às suas diversidades e às suas necessidades específicas. Portanto, tecnologia e inovação devem estar subordinadas a um projeto ético de cidade justa, inclusiva e solidária, capaz de assegurar, efetivamente, o direito à cidade para todos.

## **Acessibilidade como Eixo Estruturante das Políticas Urbanas Sustentáveis**

A acessibilidade urbana é um pressuposto fundamental para a construção de cidades sustentáveis e inteligentes, sendo compreendida como um direito humano essencial à vida em sociedade. Mais do que facilitar o deslocamento físico, acessibilidade diz respeito à participação plena na vida urbana, política, econômica e cultural. Como afirma Luciana Dadalto (2018, p. 45), “a acessibilidade é a concretização do princípio da dignidade da pessoa humana no espaço urbano”.

A Constituição Federal de 1988 consagrou, em seu artigo 1º, a dignidade da pessoa humana como fundamento da República, e no artigo 5º, inciso XV, garantiu o direito de ir e vir. Esses dispositivos não podem ser interpretados sem a devida articulação com o Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), que estabelece que a acessibilidade deve ser assegurada em todas as esferas da vida social, inclusive nos espaços urbanos, meios de transporte e sistemas de comunicação.

Como sustenta Ana Paula de Barcellos (2008, p. 101), “a ausência de acessibilidade urbana impede o usufruto de outros direitos fundamentais, funcionando como um mecanismo de exclusão social institucionalizada”. De fato, sem mobilidade e acessibilidade, o direito à educação, ao trabalho, à cultura e à saúde tornam-se inviáveis, violando os compromissos constitucionais e internacionais assumidos pelo Brasil.

Nesse contexto, a acessibilidade não pode ser tratada como um aspecto técnico ou periférico do planejamento urbano, mas como princípio estruturante das políticas públicas. A cidade acessível é aquela que integra mobilidade universal, espaços públicos inclusivos, sinalização adequada, transporte adaptado, moradias

acessíveis e serviços digitais compatíveis com diferentes deficiências sensoriais ou cognitivas.

Além disso, a acessibilidade está intimamente ligada à sustentabilidade urbana. Como observa Carlos Leite (2012, p. 93), “as cidades sustentáveis devem ser inclusivas em seu desenho e em suas práticas, sob pena de comprometerem o próprio conceito de sustentabilidade”. Isso implica considerar a acessibilidade desde a concepção dos projetos, por meio do Desenho Universal, e não como uma adaptação posterior. Trata-se de romper com o modelo excludente que prioriza a lógica do mercado em detrimento das necessidades humanas.

O desafio está em transformar o discurso jurídico em prática institucional. Embora os marcos legais existam, sua implementação ainda é limitada. A precariedade da infraestrutura urbana, a ausência de fiscalização e a resistência cultural à inclusão continuam sendo obstáculos persistentes. Como alerta Ingo Wolfgang Sarlet (2001, p. 76), “a dignidade da pessoa humana não se realiza no plano puramente normativo, mas na vida concreta, nas condições de acesso igualitário à cidade e aos seus recursos”.

Portanto, a acessibilidade deve ser pensada como política de Estado, articulada com os eixos de sustentabilidade ambiental, justiça social e governança democrática. Cidades verdadeiramente inteligentes e sustentáveis são aquelas que reconhecem, respeitam e promovem a diversidade humana na sua integralidade. A acessibilidade, longe de ser um benefício, é um direito e uma condição para a cidadania plena.

## **Instrumentos Jurídicos e o Compromisso com a Cidade Inclusiva**

A efetivação de uma cidade inclusiva não depende apenas de boas intenções administrativas ou diretrizes genéricas de urbanismo. Trata-se de uma exigência jurídica respaldada em um conjunto robusto de normas constitucionais, infraconstitucionais e internacionais que impõem ao Estado o dever de estruturar o espaço urbano a partir da lógica da equidade, da sustentabilidade e da acessibilidade universal.

Como aponta José Afonso da Silva (2005, p. 250), “o direito à cidade é um direito coletivo de fruição dos bens urbanos, compreendendo a acessibilidade, a segurança, a moradia e os serviços básicos como elementos essenciais da dignidade”.

No plano constitucional, destacam-se os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, que instituem a função social da cidade e da propriedade urbana, orientando o planejamento municipal à inclusão social. O Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) regulamenta esses dispositivos e estabelece instrumentos para a política urbana, como o Plano Diretor, o direito de preempção e a outorga onerosa, vinculando a gestão territorial ao princípio da função social. Contudo, a ausência de aplicação efetiva dessas ferramentas tem perpetuado desigualdades e exclusões, principalmente no que diz respeito às pessoas com deficiência.

No campo específico da inclusão, o Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), também denominado Lei Brasileira de Inclusão, representa um marco legal que fortalece o compromisso do Estado com uma cidade acessível. O artigo 53 do Estatuto impõe ao Poder Público a obrigação de assegurar o planejamento urbano acessível, o que inclui moradias adaptadas, calçadas com piso tátil, transporte público acessível, comunicação inclusiva e garantia de mobilidade urbana segura e autônoma. Para Maria Berenice Dias (2016, p. 211), “a lei 13.146/2015 rompe com o paradigma da tutela e afirma o direito à cidade como expressão da autonomia e da cidadania das pessoas com deficiência”.

Em complemento, a Agenda 2030 da ONU, por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 11, prevê o compromisso dos Estados com a construção de cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. A diretriz internacional encontra respaldo no ordenamento jurídico brasileiro e exige políticas públicas comprometidas com o planejamento urbano democrático, participativo e orientado pela justiça espacial.

Mais recentemente, discute-se a aprovação do Marco Legal das Cidades Inteligentes, com vistas à incorporação de tecnologias que ampliem o acesso, melhorem a gestão de serviços públicos e garantam maior eficiência na comunicação entre cidadão e poder público. Contudo, como adverte Luciana Dadalto (2020, p. 89), “a adoção de ferramentas digitais no contexto das *smart cities* não pode negligenciar a inclusão digital e a acessibilidade tecnológica, sob pena de reforçar o abismo da exclusão”.

A transformação do espaço urbano em ambiente acessível e inclusivo, portanto, exige uma leitura integrativa e proativa desses instrumentos normativos. Não basta garantir formalmente direitos se os instrumentos jurídicos existentes não forem mobilizados em sua plenitude pelos agentes públicos. O direito à cidade, como ensina Raquel Rolnik (2015, p. 47), “é o direito de todos, especialmente dos grupos historicamente excluídos, de moldar os espaços urbanos conforme suas necessidades, culturas e modos de vida”.

Assim, a cidade inclusiva não é apenas um ideal político, mas uma obrigação jurídica fundada na Constituição, em tratados internacionais e em legislações específicas. A realização desse compromisso passa pela efetiva implementação dos instrumentos normativos disponíveis, pela fiscalização de seu cumprimento e pela participação ativa dos cidadãos — inclusive e especialmente daqueles em situação de vulnerabilidade.

## **Desafios Estruturais na Implementação das Cidades Inteligentes e Inclusivas no Brasil**

A implementação de cidades inteligentes no Brasil encontra-se atravessada por entraves estruturais de ordem jurídica, política, econômica e cultural, que dificultam a consolidação de um modelo urbano verdadeiramente inclusivo. A ideia de “cidades inteligentes”, muitas vezes restrita à automação de serviços e à adoção de tecnologias digitais, precisa ser expandida para contemplar a dimensão da justiça

social e da acessibilidade universal, conforme exige o marco normativo nacional e internacional. Como adverte Sérgio Cardoso (2020, p. 122), “não se trata apenas de cidades com sensores e aplicativos, mas de cidades que garantam direitos, reduzam desigualdades e promovam inclusão”.

No plano jurídico, ainda se verifica um fosso entre os dispositivos legais existentes — como o Estatuto da Pessoa com Deficiência e o Estatuto da Cidade — e sua efetiva implementação. Abaixa institucionalização das políticas de acessibilidade, aliada à ausência de monitoramento, compromete a eficácia das normas. Conforme destaca Ana Paula de Barcellos (2008, p. 97), “os direitos fundamentais exigem não apenas reconhecimento formal, mas uma estrutura institucional apta a garantir sua concretização”. A morosidade administrativa e a fragmentação das políticas públicas são obstáculos que comprometem os resultados esperados.

Do ponto de vista econômico, o subfinanciamento crônico das áreas sociais e urbanas limita o investimento necessário para a requalificação dos espaços e a adoção de tecnologias acessíveis. A priorização orçamentária de políticas inclusivas é frequentemente secundarizada frente a interesses econômicos imediatistas. Clèmerson Merlin Clève (2013, p. 154) reforça que “a concretização dos direitos sociais, especialmente o direito à cidade, depende de uma política fiscal distributiva e de uma atuação estatal comprometida com a equidade”.

A perspectiva cultural também desempenha papel determinante nos desafios à inclusão. O capacitismo — conjunto de atitudes discriminatórias contra pessoas com deficiência — ainda está enraizado na sociedade e nas estruturas de poder, dificultando o reconhecimento da diversidade como valor constitucional. Nesse contexto, Débora Diniz (2012, p. 89) observa que “a deficiência continua sendo vista como limitação a ser corrigida, e não como parte legítima da condição humana”, o que compromete a elaboração de políticas realmente transformadoras.

Outro entrave diz respeito à exclusão digital. A digitalização de serviços públicos, característica das cidades inteligentes, pode agravar a desigualdade de acesso se não for acompanhada de políticas de inclusão digital, especialmente para pessoas com deficiência, idosos e populações em situação de vulnerabilidade. Conforme aponta Luciana Dadalto (2020, p. 93), “a acessibilidade digital é pressuposto para a cidadania digital e condição para que a tecnologia sirva à inclusão, e não à exclusão”.

Além disso, a ausência de participação social efetiva no planejamento urbano e no desenho de políticas tecnológicas enfraquece a legitimidade dos projetos de cidades inteligentes. A democratização do processo decisório é um princípio constitucional e um fator determinante para que os projetos urbanos reflitam as reais necessidades da população. Para Marcos Nobre (2021, p. 211), “sem participação, a inovação tecnológica corre o risco de se tornar um novo instrumento de exclusão social, ainda que envolto em discurso de progresso”.

Diante desse quadro, constata-se que os desafios da implementação de cidades inteligentes e inclusivas exigem um novo arranjo institucional, marcado por gestão integrada, investimento sustentável, cultura inclusiva e efetiva responsabili-

zação do poder público. A construção de uma cidade tecnologicamente avançada não pode prescindir da justiça social — sob pena de se consolidar como uma cidade inteligente para poucos.

O conceito de cidade democrática está intrinsecamente vinculado à ideia de inclusão. A democratização do espaço urbano só se concretiza quando todos os cidadãos, independentemente de suas condições físicas, sensoriais, intelectuais ou sociais, têm assegurado o pleno exercício de seus direitos. A inclusão, nesse contexto, não pode ser compreendida como mera concessão, mas como uma exigência jurídica e política fundada no princípio da dignidade da pessoa humana e no direito à cidade, consagrado pelo Estatuto da Cidade (Brasil, 2001).

A acessibilidade, por sua vez, deve ser compreendida como elemento estruturante do direito à cidade. De acordo com o art. 3º, inciso IV, da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), acessibilidade é “a possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, edificações, transportes, informação e comunicação”. Portanto, trata-se de um direito transversal, que condiciona o exercício de outros direitos fundamentais, como saúde, educação, trabalho e mobilidade.

Nesse sentido, Ana Paula de Barcellos (2008, p. 117) ressalta que “a acessibilidade é a materialização do princípio da igualdade substancial no espaço urbano”, sendo indispensável para que as pessoas com deficiência possam usufruir plenamente dos bens e serviços públicos. A ausência de acessibilidade compromete a cidadania e perpetua as desigualdades estruturais.

Luís Roberto Barroso (2010, p. 9) observa que a Constituição de 1988 promoveu uma mudança de paradigma, ao consagrar um modelo de Estado comprometido com a justiça social, a inclusão e a erradicação das desigualdades. Nesse modelo, “a cidade deve ser pensada a partir da lógica dos direitos e da dignidade, e não apenas da eficiência ou da produtividade econômica”. Acessibilidade, portanto, não é um atributo técnico, mas um valor jurídico e social.

A relação entre acessibilidade e inclusão social também é destacada por Luciana Dadalto (2020, p. 102), que enfatiza: “sem acessibilidade, não há inclusão; e sem inclusão, não há democracia real”. Essa perspectiva reforça o papel do Estado na formulação de políticas públicas que eliminem barreiras arquitetônicas, comunicacionais e atitudinais que limitam a participação plena das pessoas com deficiência.

A construção de uma cidade verdadeiramente democrática exige ainda o rompimento com o modelo capacitista que historicamente moldou o planejamento urbano. Flávia Piovesan (2012, p. 65) pontua que “a promoção da acessibilidade é expressão da luta por direitos humanos, por igualdade e por cidadania”, sendo tarefa coletiva da sociedade e do poder público. Isso implica não apenas adaptação de espaços já construídos, mas um novo modelo de pensar e projetar a cidade desde o início — acessível, sustentável e inclusiva.

Em suma, uma cidade democrática é aquela que reconhece e valoriza a diversidade humana em todas as suas formas. A acessibilidade não pode ser um apêndice do projeto urbano, mas seu ponto de partida. Sem ela, a promessa constitucional de cidadania para todos permanece incompleta.

## O PAPEL DO PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL NA GARANTIA DA INCLUSÃO SOCIAL

O planejamento urbano é instrumento central para a materialização dos direitos fundamentais nas cidades. Em um Estado Democrático de Direito, planejar a cidade significa mais do que ordenar o espaço físico: significa assegurar o acesso equitativo aos bens urbanos e promover o bem-estar coletivo com respeito à diversidade humana. O urbanismo contemporâneo exige, portanto, uma perspectiva inclusiva e sustentável, ancorada nos princípios constitucionais da dignidade da pessoa humana, da função social da propriedade e da justiça social.

A inclusão social no ambiente urbano deve ser tratada como um objetivo transversal do planejamento, integrando políticas de habitação, mobilidade, saneamento, acessibilidade, segurança e meio ambiente. Como destaca Raquel Rolnik (2015, p. 89), “o planejamento urbano democrático precisa ser orientado para a construção de cidades justas, que reconheçam a pluralidade de seus habitantes e garantam a todos o direito à cidade”. A cidade não deve ser um espaço de segregação, mas de convivência plural.

A Constituição Federal de 1988, ao instituir o princípio da função social da cidade (art. 182), impõe aos entes federativos o dever de promover o desenvolvimento urbano sustentável, garantindo o direito à moradia, ao transporte, ao meio ambiente equilibrado e à inclusão dos grupos vulneráveis. Como assinala José Afonso da Silva (2005, p. 210), “a cidade deve ser organizada de forma a permitir o acesso equitativo aos bens públicos urbanos, sob pena de se perpetuar a desigualdade social no espaço”.

A sustentabilidade, nesse cenário, não se resume à proteção ambiental, mas envolve também a equidade social e a viabilidade econômica dos projetos urbanos. Trata-se da integração dos chamados três pilares do desenvolvimento sustentável: o ambiental, o social e o econômico. Enrique Leff (2000, p. 45) observa que “a sustentabilidade só é possível quando há justiça ambiental e justiça social — e isso exige um novo modelo de urbanização que inclua os excluídos”.

O Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) consagrou essa diretriz ao estabelecer que a política urbana deve garantir o “acesso à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos” (art. 2º, II). O planejamento, portanto, deve ser participativo, inclusivo e voltado à redução das desigualdades. Fernanda Papa (2021, p. 137) sublinha que “a ausência de planejamento é um vetor de exclusão, pois priva os grupos vulneráveis do direito à cidade e agrava as assimetrias de acesso aos equipamentos públicos”.

Nesse contexto, a acessibilidade urbana, a mobilidade sustentável e o zoneamento inclusivo são ferramentas jurídicas imprescindíveis para a promoção da inclusão. O urbanismo não pode continuar sendo pensado exclusivamente para os padrões normativos do corpo saudável, produtivo e economicamente ativo. Deve incluir desde sua origem os idosos, as pessoas com deficiência, os pobres e as demais populações historicamente marginalizadas.

Em síntese, o planejamento urbano sustentável deve ser reconhecido como um instrumento jurídico de efetivação dos direitos fundamentais no espaço urbano. É por meio dele que se viabiliza o acesso aos bens públicos, se corrige a desigualdade espacial e se promove a inclusão social. Para isso, é necessário romper com o paradigma tecnocrático e promover uma gestão urbana democrática, participativa e sensível à diversidade humana.

## **Cidades Inteligentes e o Compromisso com os Direitos Humanos: Entre a Inovação Tecnológica e a Justiça Social**

A ideia de “cidade inteligente” transcende o uso de tecnologias digitais para gerenciamento urbano. Trata-se, acima de tudo, de um modelo de governança comprometido com os direitos humanos, a justiça social e a sustentabilidade. Nesse contexto, a cidade inteligente deve ser compreendida como um espaço de inclusão, onde a inovação tecnológica seja instrumental à promoção da equidade, da acessibilidade e da dignidade da pessoa humana.

Para Luciana Ferreira Cunha (2019, p. 74), “as cidades inteligentes não podem prescindir de um compromisso ético e normativo com os valores fundamentais do constitucionalismo democrático, especialmente no que se refere à inclusão digital e ao combate às desigualdades socioespaciais”. Isso significa que as soluções tecnológicas devem ser pensadas não apenas para otimizar sistemas, mas para garantir o acesso universal a bens e serviços urbanos.

O conceito de *smart cities* deve ser integrado aos princípios da Constituição Federal de 1988, especialmente à função social da cidade, ao direito à cidade (art. 182), ao direito à igualdade (art. 5º) e à dignidade da pessoa humana (art. 1º, III). Como observa Luís Roberto Barroso (2010, p. 6), “o futuro do direito constitucional exige a incorporação de pautas contemporâneas como a sustentabilidade, a inovação tecnológica e os direitos das minorias”. Em outras palavras, a cidade inteligente deve ser, antes de tudo, uma cidade justa.

Entretanto, muitos projetos de *smart cities* têm priorizado a lógica do mercado e da eficiência em detrimento da inclusão e da justiça espacial. Harvey (2014, p. 119) adverte que “a urbanização neoliberal tende a transformar o espaço urbano em mercadoria, excluindo os pobres e reproduzindo desigualdades”. Nesse sentido, uma cidade não pode ser considerada inteligente se amplia a segregação ou ignora os direitos dos grupos vulneráveis, como as pessoas com deficiência, os idosos, os imigrantes e os pobres urbanos.

A acessibilidade digital é outro elemento crucial desse modelo. Conforme destaca Débora Diniz (2012, p. 83), “a exclusão digital reproduz a exclusão social”.

Sem políticas públicas de acesso universal à tecnologia e à informação, as cidades inteligentes podem se tornar cidades elitizadas, inacessíveis aos que mais precisam dos serviços públicos. Daí a importância de políticas inclusivas que garantam conectividade, formação digital e usabilidade dos serviços urbanos por todos os cidadãos.

Do ponto de vista jurídico, é necessário que as legislações urbanas incorporem o paradigma da cidade inteligente inclusiva, promovendo diretrizes para o uso ético da tecnologia, a transparência dos dados, a proteção da privacidade e a universalização do acesso aos serviços digitais. Sérgio Praça (2021, p. 92) destaca que “as cidades digitais devem ser reguladas por uma governança democrática, com forte participação cidadã e controle público sobre as inovações aplicadas ao espaço urbano”.

Assim, o desenvolvimento de cidades inteligentes não pode se dissociar de uma concepção ampliada de cidadania. O uso de sensores, inteligência artificial, big data e automação só se justifica se resultar na ampliação dos direitos e na redução das desigualdades. A cidade inteligente é, portanto, aquela que alia tecnologia e empatia, inovação e justiça, dados e direitos humanos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de cidades inteligentes exige mais do que a simples integração de tecnologias digitais aos espaços urbanos. Trata-se de uma mudança de paradigma que deve colocar a pessoa humana no centro do planejamento urbano, respeitando a pluralidade de sujeitos que compõem o tecido social. A proposta de cidades inclusivas demanda o reconhecimento de que o espaço urbano não é neutro: ele reproduz desigualdades, limita acessos e reforça exclusões históricas — especialmente das pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida.

Nesse cenário, a acessibilidade deve ser compreendida como eixo estruturante do desenvolvimento urbano. Não se trata apenas de garantir rampas ou sinalizações adequadas, mas de promover um projeto de cidade em que todos os cidadãos possam participar, circular e exercer sua cidadania em condições de igualdade. Cidades inteligentes que ignoram a perspectiva da inclusão e da justiça social incorrem no risco de se tornarem tecnicamente eficientes, porém socialmente excludentes.

O arcabouço normativo brasileiro, com destaque para a Constituição de 1988, a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e o Estatuto da Pessoa com Deficiência, oferece fundamentos sólidos para a construção de políticas públicas inclusivas. Contudo, a distância entre o direito formalmente declarado e sua efetiva aplicação ainda é um dos maiores entraves à consolidação da cidadania plena. O que se observa é que a efetividade desses direitos esbarra em estruturas institucionais arcaicas, na escassez de investimento público e em práticas capacitistas profundamente arraigadas na cultura urbana.

Como demonstrado ao longo do presente artigo, é imprescindível articular os princípios constitucionais — especialmente a dignidade da pessoa humana, a igualdade, a acessibilidade e a função social da cidade — às práticas sustentáveis de planejamento urbano. O conceito de cidades inteligentes deve ser resignificado, integrando não apenas indicadores tecnológicos e ambientais, mas também parâmetros de inclusão, equidade e participação democrática. As tecnologias devem ser ferramentas a serviço da justiça social, e não instrumentos de segregação silenciosa.

Ademais, a ideia de cidadania precisa ser constantemente ressignificada. Não basta assegurar o direito ao voto ou ao trabalho — é preciso garantir as condições concretas para que todas as pessoas, em sua diversidade, possam ocupar a cidade de forma digna e autônoma. A cidadania urbana deve incorporar o direito à mobilidade, à comunicação acessível, à cultura, à informação e à plena convivência nos espaços públicos. Para isso, é fundamental que os instrumentos de gestão das cidades passem a considerar a acessibilidade como critério transversal de planejamento, orçamento e execução de políticas.

Por fim, a sustentabilidade urbana só será alcançada quando estiver alicerçada em três pilares interdependentes: a proteção ambiental, o desenvolvimento econômico e a justiça social. Cidades inteligentes, portanto, devem ser cidades de todos — e isso só será possível quando a inclusão deixar de ser um adereço político e passar a integrar o núcleo das decisões públicas. A inteligência de uma cidade deve ser medida, sobretudo, pela capacidade de garantir a todos o direito de pertencer, de circular e de transformar o espaço que habita.

## REFERÊNCIAS

- ALEXY, Robert. **Teoria dos direitos fundamentais**. São Paulo: Malheiros, 2006.
- ALMEIDA FILHO, Nilo. **Cidades inteligentes: uma perspectiva a partir da inovação e da sustentabilidade**. Curitiba: Appris, 2020.
- ARAÚJO, Luiz Alberto David. **A proteção constitucional das pessoas portadoras de deficiência**. 3. ed. Brasília: CORDE, 2001.
- ÁVILA, Humberto. **Teoria dos Princípios: da definição à aplicação dos princípios jurídicos**. 12. ed. São Paulo: Malheiros, 2011.
- BARBALHO, Ana. **Capacitismo e estruturas de poder**. São Paulo: Tirant, 2014.
- BARCELLOS, Ana Paula de. **A eficácia jurídica dos princípios constitucionais: o princípio da dignidade da pessoa humana**. Rio de Janeiro: Renovar, 2002.
- BARROS, Sílvia Helena. **Cidades inteligentes e justiça territorial: desafios e oportunidades no Brasil contemporâneo**. Belo Horizonte: D'Plácido, 2020.
- BARROSO, Luís Roberto. **A dignidade da pessoa humana no direito constitucional contemporâneo**. Brasília: mimeo, 2010.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regula os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências (Estatuto da Cidade). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 10 mar. 2025.

CANOTILHO, J. J. Gomes. **Direito constitucional e teoria da constituição**. 6. ed. Coimbra: Almedina, 1995.

CARDOSO, Sérgio. **Inclusão e tecnologia: desafios das cidades inteligentes no Brasil**. São Paulo: Cortez, 2020.

CASTRO, Renata de. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2019.

CLÈVE, Clèmerson Merlin. **Ações afirmativas e justiça social**. Curitiba: Juruá, 2013.

CUNHA, Luciana Ferreira. **Cidades inteligentes e desigualdades: desafios para a inclusão digital e urbana no século XXI**. Porto Alegre: Fi, 2019.

DADALTO, Luciana. **Cidades e acessibilidade: perspectivas jurídicas para uma urbanização inclusiva**. Curitiba: Juruá, 2018.

DIAS, Maria Berenice. Manual de direito das famílias. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, 2016.

DINIZ, Débora. **O que é deficiência**. São Paulo: Brasiliense, 2012.

FERNANDES, Edésio. **Direito urbanístico e justiça social**. São Paulo: Max Limonad, 2011.

\_\_\_\_\_. **Princípios do direito urbanístico**. Belo Horizonte: Del Rey, 2005.

FERREIRA, Amanda Martins. **Planejamento urbano e acessibilidade: desafios da inclusão nas cidades brasileiras**. Salvador: Edufba, 2020.

GAGLIANO, Pablo Stolze. **Direitos da pessoa com deficiência**. São Paulo: Saraiva, 2015.

GOMES, Luiz Flávio. Inclusão e cidadania. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, 2017.

HARVEY, David. **Cidades rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

IBGE. **Pessoas com deficiência**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 1 abr. 2025.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. 5. ed. São Paulo: Centauro, 2001.

LEITE, George Salomão (Org.). **Dos princípios constitucionais: considerações em torno das normas principiológicas da Constituição**. São Paulo: Malheiros, 2003.

LÔBO, Paulo. **Direito civil: parte geral**. São Paulo: Saraiva, 2018.

LOPES, José Reinaldo de Lima. **História do direito e direitos fundamentais**. São Paulo: Atlas, 2017.

MAGALHÃES, José Luiz Quadros de. **Cidades inteligentes e direitos humanos: desafios da governança urbana democrática**. São Paulo: Tirant lo Blanch, 2021.

MELO, Sandro Nahmias. **Direitos fundamentais das pessoas com deficiência**. Salvador: JusPodivm, 2004.

NASCIMENTO, Amauri Mascaro. **Curso de direito do trabalho: história e teoria geral do direito do trabalho: relações individuais e coletivas do trabalho**. 26. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

NOBRE, Marcos. **Limites da tecnologia: democracia, exclusão e as cidades do futuro**. São Paulo: Todavia, 2021.

OLIVEIRA, Erival da Silva. **Direito Constitucional. Direitos Humanos**. 3. ed. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, 2012.

PAPA, Fernanda. **A cidade inteligente e a inclusão social: novos paradigmas para a urbanização brasileira**. Curitiba: CRV, 2021.

PRAÇA, Sérgio. **Cidades digitais e democracia: desafios da governança no século XXI**. Rio de Janeiro: Zahar, 2021.

PIOVESAN, Flávia. **Temas de direitos humanos**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

ROLNIK, Raquel. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2015.

SARLET, Ingo Wolfgang. **Dignidade da pessoa humana e direitos fundamentais na Constituição Federal de 1988**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2001.

SILVA, José Afonso da. **Curso de direito constitucional positivo**. 31. ed. São Paulo: Malheiros, 2005.

STF. **HC 85.988/PA (MC)**, rel. Min. Celso de Mello.

STRECK, Lenio Luiz. **Jurisdição constitucional e hermenêutica**. Rio de Janeiro: Forense, 2010.



# Patologias em Estruturas de Concreto Armado Mediadas por Corrosão Microbiana

## Pathologies in Reinforced Concrete Structures Due to Microbial Corrosion

**Itamar Victor de Lima Costa**

*Aluno de Pós-Graduação do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP, Recife-PE, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0653-5992>*

**Eliana Cristina Barreto Monteiro**

*Escola ICAM-tech, Universidade Católica de Pernambuco, UNICAP e Universidade de Pernambuco, UPE*

**Galba Maria de Campos-Takaki**

*Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais, CEMACBIOS, MCTI, Escola de Tecnologia e Comunicação, Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID: <https://www.orcid.org/0000-0002-0519-0849>*

**Resumo:** O concreto armado é composto por agregados graúdos, miúdos e barras de aço para reforço. Embora, antes considerado indestrutível, com o tempo vem sendo observado que condições atmosféricas podem causar danos estruturais em armaduras de concreto, em especial. Nesse sentido, os estudos apresentados são dirigidos para as patologias causadas em concreto devido a corrosão microbiana. O processo de corrosão pode ser causado por bactérias e fungos em metais, sendo um fenômeno conhecido como corrosão induzida por micro-organismos (CIM). Particularmente, as bactérias podem por reações metabólicas promover a produção de ácido sulfúrico ou ácido nítrico, com agentes biogênicos causar a deterioração de estruturas de concreto. Ou seja, as bactérias apresentam habilidade tanto de corroer a armadura, como também, de deteriorar as estruturas metálicas. As patologias e mecanismos de instalação de patologias por corrosão microbiana são apresentados considerando a necessidade de conhecimentos dirigidos para a construção civil em cidades inteligentes.

**Palavras-chave:** concreto; corrosão; biofilme; metabolismo microbiano; biodeterioração.

**Abstract:** Reinforced concrete is composed of coarse and fine aggregates and steel bars for reinforcement. Although previously considered indestructible, over time it has been observed that atmospheric conditions can cause structural damage to concrete reinforcements in particular. In this sense, the studies presented are directed to the pathologies caused in concrete due to microbial corrosion. Corrosion process can be caused by bacteria and fungi in metals, a phenomenon known as microorganism-induced corrosion (MIC). Bacteria can promote the production of sulfuric acid or nitric acid through metabolic reactions, with biogenic agents causing the deterioration of concrete structures. In other words, bacteria could both corrode reinforcement and deteriorate metal structures. The pathologies and mechanisms of installation of pathologies due to microbial corrosion are presented considering the need for knowledge aimed at civil construction in smart cities.

**Keywords:** concrete; corrosion; biofilm; microbial metabolism; biodeterioration.

## INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto por agregado graúdo, agregado miúdo, água e cimento, que atua como plastificante. Assim, tanto na forma simples quanto na armada, ele desempenha um papel fundamental dentro de um sistema construtivo (Damme, 2018). Essa indústria que transita por todas as atividades têm o cimento como elemento principal (da Silva, 2023).

O concreto se apresenta como um dos materiais mais novos que existem. Seu componente principal, o cimento, se apresenta como um dos materiais mais consumidos da terra, só ficando atrás da água (Souza *et al.*, 2021).

Por sua vez, a indústria da construção é fundamental para qualquer sistema econômico. Na linha do tempo, a indústria da construção civil teve um papel de destaque no PIB de diversos países, consolidando-se como um dos setores que mais gera emprego e renda (Barbosa e de Oliveira Valin Jr., 2023).

Nesse contexto, os métodos construtivos passaram por diversas modificações e inovações e nos primórdios acreditava-se que o concreto tivesse durabilidade infinita. Entretanto, a ação de agentes agressivos e erros de projeto mostraram fortes divergências (Schmoeller e Lima, 2021).

Dessa forma, surgiram os estudos sobre as patologias de construção, termo mais conhecido na medicina, contudo, se aplica também na construção civil. O termo empregado para o estudo de problemas de projetos, execução e a ação de agentes externos (Neves e Vázquez, 2021). Da mesma forma que na medicina, cada patologia da construção apresenta sintomas específicos, e se tratados com antecedência podem evitar problemas maiores (Nunes, 2021).

Segundo Nunes (2021), as principais patologias de construção são fissuras, trincas, rachaduras, gretamento, carbonatação e corrosão de armaduras. E de acordo com Shamoeller e Lima (2021), a corrosão de armaduras é uma das patologias mais preocupantes, pois podem gerar ruptura total ou parcial das estruturas.

A corrosão é um processo eletroquímico onde existe a degradação do metal e a deterioração química dos componentes do concreto (Martins, 2022). Entre os fatores que podem influenciar e até acelerar a corrosão de armaduras destacam-se: agressividade ambiental, relação água/cimento e o concreto de cobertura (Caldas e Nogueira, 2023).

Portanto, as patologias de construção que apresentam corrosão induzida por micro-organismos (CIM) seguem os mesmos princípios da corrosão eletroquímica. Contudo, as atividades metabólicas dos micro-organismos aceleram ainda mais os processos. Neste sentido, os micro-organismos podem promover ou iniciar formas mais aceleradas do processo de corrosão (Santos *et al.*, 2024).

De acordo com Hu *et al.* (2022), a corrosão galvânica é favorecida pela atividade metabólica dos micro-organismos presentes nos biofilmes, que liberam substâncias corrosivas. Além disso, o diferencial na aeração por oxigênio também contribui para o processo. Alguns grupos de bactérias se destacam na CIM, como as Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS), bactérias oxidantes de enxofre, bactérias

oxidantes de ferros e bactérias redutoras de nitrato (Videla, 2003). E ainda, as bactérias podem também degradar o concreto. Isso é possível através da produção de ácido sulfúrico biogênico. Ou seja, a atividade metabólica dos biofilmes pode não só corroer o aço, mas também deteriora as estruturas, desencadeando uma série de problemas (Coni *et al.*, 2022).

Portanto, estudos foram dirigidos com a problemática sobre as patologias da construção e concreto, em especial, em concreto armado.

## CONCRETO E PATOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO

O concreto é um composto formado por agregado graúdo, agregado miúdo água e plastificante (cimento). Dessa forma, o concreto, armado ou não, se constitui como elemento participativo de um sistema construtivo (Damme, 2018).

Materiais a base de concreto são amplamente utilizados. Isso devido às características como baixa porosidade e elevada resistência mecânica. Quando reforçado com a introdução de vergalhões de aço cria-se um material extremamente durável e resistente chamado de concreto armado, o que possibilita a construção de pontes, edifícios entre outros (Damme, 2018).

O concreto é um dos materiais de construção mais novos que existem. Foi criado no século XIX e foi muito difundido a partir do século XX. O cimento é um dos materiais mais consumidos da terra, só perdendo para a água (Sousa *et al.*, 2021). No Brasil, o concreto é o principal elemento construtivo e o mais utilizado. Basicamente toda construção do Brasil é feita em alvenaria; tendo raras exceções (Sousa *et al.*, 2021).

A indústria da construção civil faz parte da base de qualquer sistema econômico se mostrando como um setor de bastante lucratividade em todo o mundo. Instalações elétricas, telecomunicações, hospitais entre outras estruturas, estão dentro do escopo de atuação dessa indústria.

O cimento é o elemento base e o mais utilizado pela indústria da construção civil; indústria essa que transita por todas as atividades e que é a base do saneamento e da infraestrutura de qualquer região (Silva, 2022).

Acreditava-se nos primórdios que o concreto, pelas suas propriedades fosse indestrutível, entretanto com o passar do tempo foi percebido que agentes agressores presentes no ambiente, bem como erros de projeto culminaram na deterioração das estruturas.

O termo patologia é muito utilizado na área médica. De acordo com o dicionário Priberam, é a parte da medicina que estuda as doenças e os desvios e patologias que as causam ou caracterizam.

Da mesma maneira o termo patologia pode ser empregado na construção civil. No caso, a edificação passa a ser o paciente, e o estudo fica voltado aos problemas de projeto, execução e de agentes externos que possam afetar a estrutura (Neves e Vázquez, 2021).

Schmoeller e Lima (2021) afirmam também que as patologias na construção dizem respeito a falhas que aparecem com o tempo, afetando a durabilidade, estabilidade, desempenho ou funcionalidade da estrutura.

Assim como nos estudos das doenças, na medicina, cada patologia de construção apresenta sintomas únicos e se constatadas nos períodos iniciais podem ser reversíveis, no entanto com o passar do tempo, sem correção podem se transformar em problemas (Nunes, 2021).

De acordo com Nunes (2021), os principais tipos de patologia são trincas, fissuras, porosidade, desbotamento, rachaduras, gretamento, infiltração, bolhas, destacamento, carbonatação e corrosão de armaduras.

Dentre essas patologias a principal, de acordo com Shamoeller e Lima (2021) a corrosão de armaduras se mostra como uma das patologias mais preocupantes. Isso porque a corrosão pode gerar ruptura parcial ou total de uma estrutura; além de que a correção desta patologia requer mão de obra especializada e equipamentos específicos, elevando o custo do reparo.

## Corrosão das Armaduras

Como mencionado anteriormente, o concreto armado é composto por cimento, água, agregados e aço. É importante dizer que, mesmo estando protegido fisicamente e quimicamente pelo concreto, o aço presente no concreto armado pode sofrer corrosão, gerando inúmeros problemas.

De acordo com Martins (2022), a corrosão das armaduras é uma das patologias mais comuns em estruturas de concreto. Trata-se de um fenômeno eletroquímico que envolve dois processos principais: a degradação do metal e a deterioração química dos materiais não metálicos presentes no concreto. Danos foram observados quando o concreto cedeu aproximadamente 2 metros deixando 5 veículos danificados e ferindo uma pessoa; deixando o trânsito com bastante lentidão (São Paulo, 2019 *apud* Caldas e Nogueira, 2023).

De acordo com o ministério público de São Paulo, dentre os principais problemas se destacam a oxidação do concreto, o desgaste das juntas de dilatação, infiltração de água, oxidação do concreto e corrosão das armaduras (Caldas e Nogueira, 2023).

## Fatores que aceleram a corrosão

Vários fatores podem influenciar a corrosão de armaduras, entretanto os que se destacam são: Agressividade ambiental, Relação água/cimento e o concreto de cobertura (Caldas e Nogueira, 2023).

### Agressividade ambiental

A presença de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) bem como a presença de salinidade no ambiente são fatores preponderantes para o aumento da agressividade ambiental. O macroclima e a atmosfera em que a construção está inserida também interfere nos

fatores de agressividade ambiental. De acordo com a norma NBR 6118/14 classifica os ambientes quanto a sua agressividade, como apresentado na tabela 1.

**Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental.**

Agressividade	Classe de Agressividade	Ambiente	Risco de deterioração
Fraca	I	Rural e Submerso	Insignificante
Moderada	II	Urbano	Pequeno
Forte	III	Marinho e Industrial	Grande
Muito forte	IV	Respingo de Maré	Elevado

Fonte: ABNT, 2014.

## Concreto de cobrimento

O concreto fornece a armadura proteção química e física. Quimicamente falando, ao ser misturado com a água o concreto torna-se alcalino, com um pH próximo a 12,5, garantindo proteção contra agentes agressivos externos (Gentil, 2022 *apud* Caldas e Nogueira, 2023).

A espessura da cobertura confere, por sua vez, proteção física, impedindo a penetração de agentes agressivos como íons cloretos, entre outros. Helene (1993 *apud* Caldas e Nogueira, 2023) afirma que existindo um cobrimento adequado, a ação de agentes da corrosão eletroquímica é impedida; sendo um fator importante para a mitigação dessa patologia.

A mesma norma citada acima também prevê o cobrimento adequado para cada nível de agressividade ambiental, como apresentado na tabela 2.

**Tabela 2 - Concreto de cobrimento.**

Tipo de estrutura	Componentes	Classe de agressividade (Cobrimento (mm))			
		I	II	III	IV
<b>Concreto armado</b>	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais	30	30	40	50
<b>Concreto protendido</b>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: ABNT, 2014.

## Relação água/cimento

A relação água/cimento é um fator preponderante para a penetração de agentes agressivos no concreto. Ela diz respeito a proporção de água relacionada a proporção de cimento. Está também relacionada diretamente com a porosidade e a resistência do concreto (Caldas e Nogueira, 2023).

Quanto maior for relação água cimento, maior será a presença de água e consequentemente, maior presença de espaços vazios no concreto; entendendo os espaços vazios como porosidade. Dessa forma, a Norma referida acima também estipula uma faixa de relação água cimento para cada classe de agressividade ambiental (Santos; Silva; Leite, 2021), como apresentado na tabela 3.

**Tabela 3 - Relação água cimento.**

Concreto	Tipo	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
Relação a/c	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45

Fonte: ABNT, 2014.

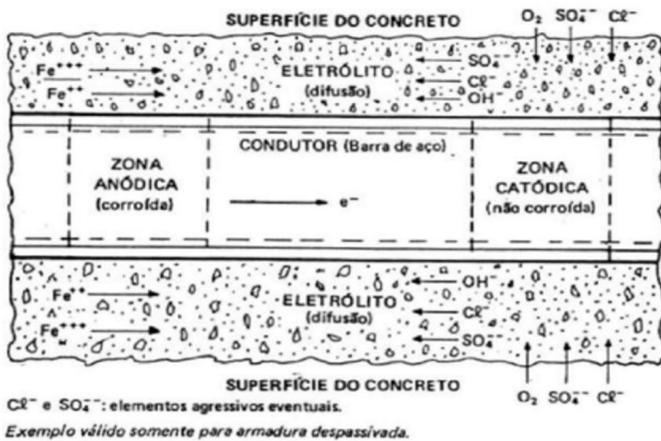
### Mecanismos da Corrosão de Armaduras

A corrosão de armaduras, como citado acima, é um processo eletroquímico. Nesse processo duas reações ocorrem sendo a reação de oxidação e a de redução. Pode-se compreender a reação de oxidação como a de perda de elétrons e a reação de redução de ganho de elétrons (Schmoeller e Lima, 2021).

No mecanismo da corrosão um fator que é de extrema importância é a presença do eletrólito de diferença de potencial, que nesse caso é a água presente na mistura do concreto (Helene, 1986).

No interior do concreto, a barra de aço desenvolve uma pilha eletroquímica, resultando na formação de duas regiões distintas no metal: uma anódica e outra catódica. Com a presença do eletrólito mencionado anteriormente e o estabelecimento de uma diferença de potencial, ocorre o fluxo de uma corrente elétrica (Helene, 1986), segundo figura 1.

**Figura 1 - Mecanismo da corrosão de armaduras.**



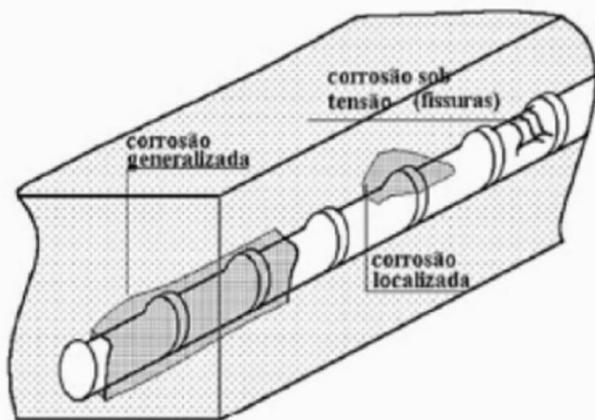
Fonte: Helene, 1986.

Dependendo do gradiente de oxigênio e da corrente elétrica criada, ocorrerá corrosão (Martins, 2022). A formação da pilha eletroquímica ocorre devido à diferença de potenciais entre duas regiões do metal, que tende a se equilibrar, resultando na criação de uma dupla camada elétrica. Esse fluxo de elétrons acontece ao longo da barra de aço, que atua como condutor (Cascardo, 1997).

Na zona anódica ocorre a perda de elétrons, resultando na oxidação do metal. Já a zona catódica recebe os elétrons advindos da zona anódica, ocorrendo assim deposição catódica (Cascardo, 1997).

Alguns fatores podem acelerar ou agravar a corrosão das armaduras em concreto armado. Dentre eles é válido citar a presença de sulfetos, dióxido de carbono, nitritos, cloretos e como será visto mais adiante a presença de fungos, bactérias que também podem contribuir para a iniciação da corrosão e seu agravamento (Marcelli, 2007 *apud* Martins, 2022). A corrosão do aço no concreto armado pode tomar 3 formas distintas: Pites podendo ser também generalizada; corrosão sob tensão fraturante e a corrosão por hidrogênio atômico. Destas apresentadas, a mais preocupantes é a por pites, que na maioria pode ser causada pela presença de agentes agressivos, segundo Souza e Ripper (1998) e figura 2.

**Figura 2 - Tipos de corrosão de armaduras.**



**Fonte: Souza e Ripper, 1998.**

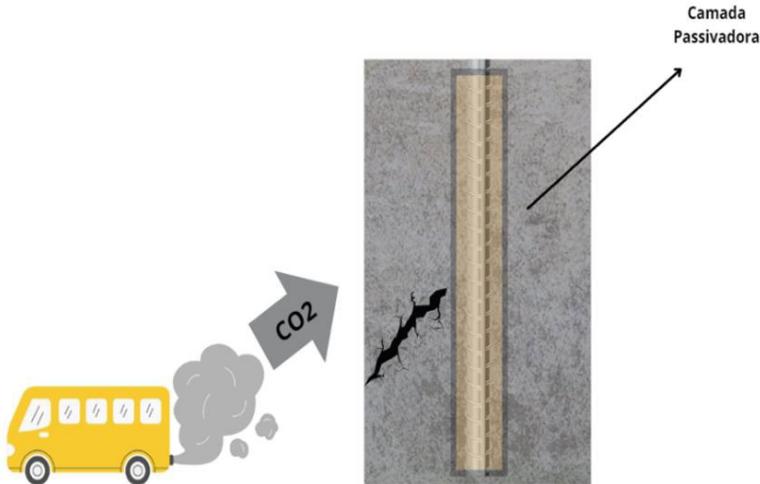
Portanto, o concreto apresenta um pH de aproximadamente 12,5, e esse ambiente alcalino confere proteção a armadura, fazendo com que se forme uma camada passivadora ao longo das barras de aço. Assim, observa-se que a carbonatação e a ação dos íons cloretos podem ser responsáveis pela despassivação (Schmoeller e Lima, 2021).

## Carbonatação

A questão envolvendo propagação do dióxido de carbono na atmosfera engloba diferentes setores dos demais da indústria da construção civil, sendo também afetada pela presença desse gás na atmosfera (Krug *et al.*, 2023).

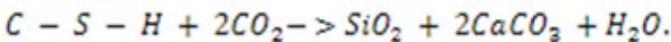
O CO<sub>2</sub> é gás responsável por afetar a durabilidade das estruturas afetando diretamente a vida útil, considerando que o dióxido de carbono é um processo conhecido como carbonatação (Krug *et al.*, 2023). Isso acontece devido o gás reagir com os compostos do cimento hidratado, formando assim carbonato de cálcio (Krug *et al.*, 2023) e observado na figura 3.

**Figura 3 - Mecanismos da carbonatação.**



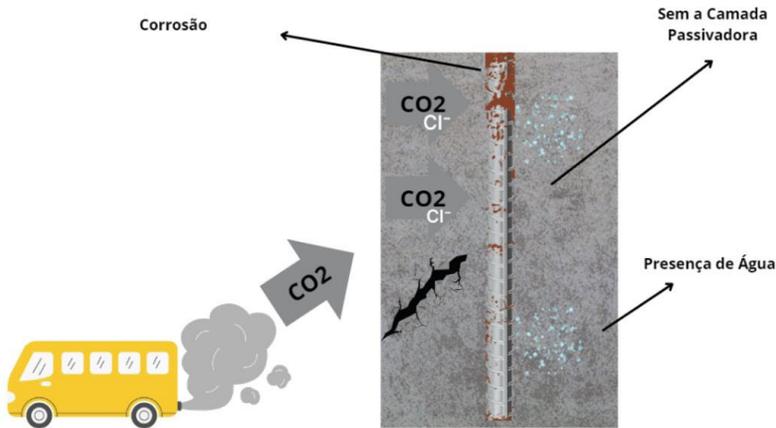
Fonte: Autoria própria, 2025.

Como reação química, o dióxido de carbono penetra nos poros do concreto, como demonstrado na figura 3, reagindo com os produtos resultantes da hidratação do concreto, como hidróxido de cálcio [Ca(OH)<sub>2</sub>] e o silicato de cálcio hidratado, resultando na formação de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e o gel de sílica. Reação observada na equação descrita por Rostami *et al.* (2012 *apud* Krug *et al.*, 2023).



A camada passivadora se forma devido à alta presença de Ca(OH)<sub>2</sub>, resultante da hidratação dos silicatos presentes no cimento, o que eleva o pH do concreto. Com a penetração do CO<sub>2</sub>, ocorre a produção de H<sub>2</sub>O e CaCO<sub>3</sub>. Dessa forma, uma relação inversamente proporcional ocorre à medida que a concentração de água e CaCO<sub>3</sub> aumenta, a quantidade de Ca(OH)<sub>2</sub> reduz (LU *et al.*, 2018).

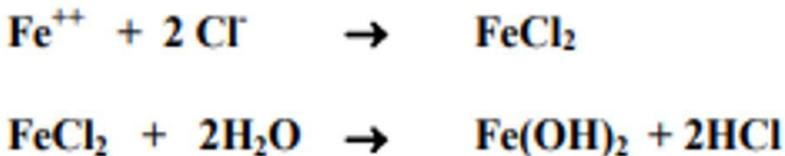
Esse processo em si pode não ser danoso do ponto de vista da corrosão, tendo em vista que o CaCO<sub>3</sub> preenche os poros do concreto conferindo assim mais resistência. No entanto, quando essa carbonatação chega na profundidade da armadura deixando suscetível à agentes agressivos como íons cloretos e água, baixando o pH do concreto gradualmente a camada passivadora deixa de existir como descrito por Lu *et al.* (2018) e figura 4.

**Figura 4 - Penetração de agentes agressivos.**

Fonte: Autoria própria, 2025.

### Ação dos íons cloretos

O ataque de íons cloretos é uma das principais causas de corrosão de armaduras. Os cloretos podem atuar tanto destruindo a camada passivadora como também impedindo a sua formação (Marcelli, 2007 *apud* Martins, 2022). A presença de íons cloreto no concreto pode ocorrer devido à contaminação de componentes, como água, agregados ou aditivos à base de cloreto de cálcio. Além disso, devido à porosidade, o concreto permite a penetração desses íons, que podem ser transportados pela névoa salina em áreas litorâneas ou por águas industriais e residuais (Soares *et al.*, 2015 *apud* Martins 2023). Após a penetração no concreto os íons cloretos atravessam a camada passivadora e formam o anodo, sendo o catodo a parte da superfície passivada, de acordo com a reação apresentada.

**Figura 5 - Formação de cloreto de ferro.**

Fonte: Meira, 2017 *apud* Bertuci; Duarte; Rezende, 2023.

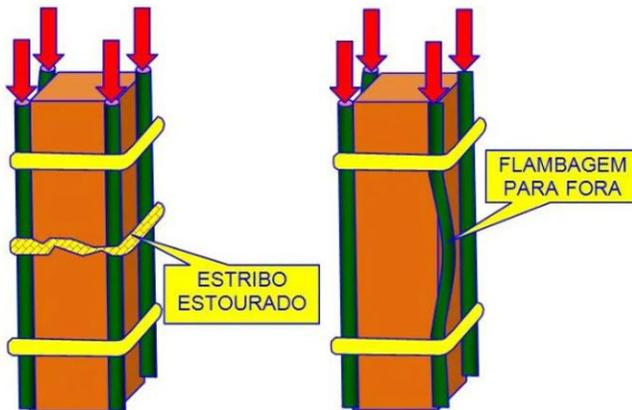
Conforme reação apresentada, a formação de cloreto de ferro, indicando uma aceleração do processo de corrosão. Essas moléculas vão se tornando instáveis e, por meio da hidrólise, geram hidróxido de ferro, liberando íons cloreto para outras regiões (Meira, 2017 *apud* Bertuci; Duarte; Rezende, 2023). De modo geral, a corrosão ocorre em duas etapas sequenciais: iniciação e propagação. Na fase de

iniciação, os agentes agressivos penetram no concreto e provocam a despassivação da armadura (Bertuci; Duarte; Rezende, 2023). Na fase de propagação, a presença de umidade e oxigênio acelera o processo corrosivo. É nesse estágio que surgem manifestações patológicas, como fissuras e destacamentos, comprometendo a durabilidade da estrutura e podendo resultar em rupturas parciais ou totais (Bertuci; Duarte; Rezende, 2023).

### Consequências da corrosão de armaduras

Vale ressaltar que a perda de seção do aço ocasionada pela corrosão, pode gerar problemas graves na estrutura. Quando os estribos dos pilares têm a sua função prejudicada pela corrosão, a armadura pode sofrer flambagem, que é a curvatura longitudinal, podendo ter sua ruptura a qualquer momento (Watanabe, 2023), como apresentado na figura 6.

**Figura 6 - Flambagem da armadura.**



**Fonte: Watanabe, 2023.**

Outro problema relacionado à corrosão de estruturas é o surgimento de fissuras e rachaduras, devido a produtos de corrosão gerados por reações eletroquímicas de natureza expansiva, gerando tensões no concreto (Donadio; Capacho; Santander, 2023). Essa expansão gera além das fissuras o surgimento de destacamentos da estrutura, como observado na figura 7.

**Figura 7 - Ferragem exposta por causa do alto grau de corrosão.**

**Fonte: ASOPE Engenharia, 2018.**

Na literatura a ruptura total ou parcial tem como causa principal a corrosão de armaduras. Um dos exemplos de ruptura total como o desabamento do edifício Palace II, localizado no Rio de Janeiro (Nóbrega, 2018 apud). Esse desabamento ocorreu no dia 27 de fevereiro de 1998 e no laudo oficial anexado no processo jurídico foram apontadas falhas de projeto e falta de manutenção adequada. Esses problemas facilitaram a corrosão das armaduras e falta de cobrimento adequado dos pilares, gerando trincas e rachaduras, como observado na figura 7.

**Figura 7 - Queda do edifício Palace II.**

**Fonte: Lincolins, 2019.**

## CORROSÃO INDUZIDA POR MICRO-ORGANISMOS (CIM)

A corrosão induzida por micro-organismos (CIM) ocorre devido à atividade metabólica dos biofilmes, que intensificam o processo corrosivo nas superfícies afetadas, considerando que os micro-organismos podem liberar substâncias corrosivas, provocar corrosão galvânica com distribuição irregular da cobertura na superfície ou da diferença na aeração (Hu *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2024).

De acordo com Videla (2003) alguns micro-organismos podem se envolver em diferentes graus no processo de Biorrosão, como:

### Fungos

A biorrosão causada por fungos pode ocorrer na aviação, especialmente em tanques de combustível de aeronaves, segundo Videla (2003), o fungo *Hormoconis resiniae* se desenvolve em sistemas que contêm água e combustível. O crescimento desse fungo é mais evidente na interface entre a água e o combustível, resultando na redução do pH devido à produção de ácidos orgânicos. Esses ácidos contribuem para a corrosão das ligas de alumínio empregadas na fabricação dos tanques de combustível (Videla, 2003).

### Algas

As algas são micro-organismos eucarióticos que podem ser encontrados nos mais diversos ambientes. Além disso, são organismos autotróficos e que realizam a fotossíntese. As algas estão mais relacionadas com a bioacumulação e contaminação de sistemas de abastecimento de água. Estão frequentemente ligadas a casos de bioacumulação em plataformas offshore. As algas, promovem bioacumulação, favorecem o crescimento de organismos heterotróficos facilitando assim os processos de deterioração de rochas (Videla, 2003).

### Bactérias

As bactérias são os principais microrganismos responsáveis pelos processos de biorrosão e bioacumulação. Dentre os diversos grupos, os que se destacam são aqueles que participam na natureza do ciclo do enxofre (Videla, 2003).

#### Bactérias oxidantes de enxofre

Entre as bactérias oxidantes de enxofre destacam-se as bactérias do gênero *Thiobacillus* (Videla, 2003), a maioria autotróficas, podendo ser encontradas também bactérias heterotróficas (Kumar *et al.*, 2020).

Os *Thiobacillus* possuem alguns gêneros relacionados como *Acidithiobacillus*, *Thermithiobacillus* e *Halothiobacillus*, constituindo os grupos importantes de bactérias oxidantes de enxofre. As bactérias desses gêneros podem ser encontradas em ambientes extremos, como ambientes ácidos ricos em enxofre e ferro. Essas interações são capazes de permitir o desenvolvimento em ambientes com déficit

de nutrientes O grupo de micro-organismos redutores de sulfato apresenta dois mecanismos de oxidação de enxofre, de acordo com Kumar *et al.* (2020):

Oxidação Aeróbica, onde O<sub>2</sub> é utilizado como acceptor de elétrons terminal. O que ocorre é que o enxofre é oxidado em sulfito. E a Oxidação Anaeróbica apresentando enzimas da classe das oxidoredutases, que aceleram reações de oxidação-redução, e são utilizadas como acceptoras de elétrons terminal, gerando sulfato (Zhang *et al.*, 2018 *apud* Kumar *et al.*, 2020).

As principais características desses micro-organismos são a utilização de dióxido de carbono como fonte principal de carbono, e a maioria são aeróbias, podendo ser também anaeróbias, e apresentam o formato de bacilos curtos. A temperatura ótima de crescimento está entre 10 e 37°C. Entretanto, existem também bactérias termófilas que podem crescer em temperaturas elevadas superior a 55°C, sendo a maioria bactérias gram-negativas (Videla, 2003).

### Bactérias redutoras de sulfato (BRS)

Essas bactérias, como o próprio nome sugere, são bactérias que participam do ciclo do enxofre, entretanto reduzem o íon sulfato. Essa redução pode ocorrer por dois mecanismos distintos. As bactérias redutoras de sulfato são divididas em dois grupos: o *Desulfotomaculum* com sete espécies, e o gênero *Desulfovibrio* que possui cinco espécies. As bactérias redutoras de sulfato podem ser visualizadas como bacilos curvos em formato de vírgula. A temperatura ótima para o crescimento é entre 22 e 44°C, e o pH em torno de 5,5 e 9,0. São estritamente anaeróbicas e apresentam flagelo polar (Videla, 2003).

As bactérias redutoras de sulfato trabalham em associação com bactérias aeróbicas que consomem o oxigênio do meio da respiração. São heterotróficas e possuem a habilidade de se fixar a vários tipos de superfícies formando biofilmes com outros tipos de bactérias. (Santos *et al.*, 2022).

E ainda, as bactérias redutoras de sulfato podem apresentar biofilme passivo que recobre a superfície do metal, e possuem dois mecanismos que podem acontecer separados ou ao mesmo tempo (Dinh *et al.*, 2004). Mecanismo direto está relacionado à capacidade hidrogenástica das BRs, conforme descrito na teoria da despolarização catódica (Dinh *et al.*, 2004). Ao consumir o hidrogênio presente na superfície do metal, ocorre uma modificação que inibe a recombinação dos átomos de hidrogênio na região catódica, resultando na aceleração do processo de corrosão (Videla, 2003).

O mecanismo indireto a corrosão acontece pela formação de H<sub>2</sub>S (sulfeto de hidrogênio), a partir do processo metabólico de redução do sulfato para sulfeto. Outros mecanismos também estar envolvidos como a atuação da enzima hidrogenase sobre o composto FeS (Videla, 2003).

### Mecanismos de Corrosão Induzida por Micro-organismos (CIM)

A biocorrosão e a biodeterioração são dois processos que podem estar ligados ao concreto armado. A corrosão através de processos eletroquímicos

continua ocorrendo e se mantém presente na biocorrosão. Os microrganismos podem atuar acelerando ou iniciando a reação eletroquímica da corrosão. Um fator indispensável para a manutenção desse processo é a formação do biofilme, onde a comunidade bacteriana, por meio do seu processo metabólico, pode influenciar diretamente a concentração de oxigênio (Videla, 2003; Larry e Hamilton, 2007 *apud* Dos Santos *et al.*, 2024).

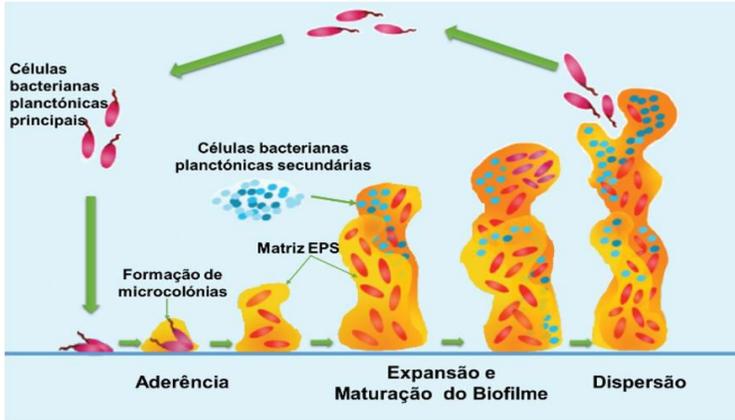
O processo biológico da corrosão segundo Videla (2003): Os microrganismos se prendem à superfície e formam o biofilme, que é composto pela excreção dos exopolissacarídeos (EPS); Abaixo da colônia de bactérias, por causa do processo de respiração (levando em consideração que as bactérias desse exemplo são aeróbias), existe o consumo de oxigênio, criando assim uma região anaeróbia sobre a superfície; Como o biofilme não recobre toda extensão da superfície, existirá outra região com maior presença de oxigênio; Dessa forma, na região sob a colônia microbiana as reações anódicas (oxidação) acontecerão, e em outro ponto, onde não existe a presença dos microrganismos as reações catódicas (redução) acontecerão; e a corrosão tende a ser piorada pela excreção de substâncias por parte das bactérias, como também pela manutenção da variação da concentração do oxigênio.

Videla (2003) afirma ainda, que a formação do biofilme interfere e modifica a interação entre o metal e a bactéria, podendo induzir, acelerar ou até mesmo inibir os processos relacionados à corrosão possibilitando a ocorrência do processo de corrosão. Observe a seguir como se dá a formação do biofilme e qual a sua composição:

## Biofilme

Os micro-organismos possuem a capacidade de se aderir a qualquer superfície, seja ela inerte ou não. Tecidos vivos, rochas, ferro e outras superfícies estão sujeitas a aderência e posteriormente acúmulo de microrganismos. O processo de fixação de micro-organismos em uma superfície e formação do biofilme se dá em 5 etapas: sendo respectivamente fixação reversível inicial, anexo irreversível, desenvolvimento da arquitetura do biofilme, maturação e por fim dispersão (Alotaibi e Bukhari, 2021) (figura 8).

Figura 8 - As fases de formação de biofilme.



Fonte: Barbosa, 2020.

O que possibilita a fixação e condições de suportar as adversidades do ambiente, bem como a formação de consórcio microbiano é o biofilme, através de consórcio formado por comunidades complexas (Asma *et al.*, 2022). O biofilme pode ser compreendido como agregações, ou aglutinações, de células fixadas a uma superfície, estando envolvidas em uma matriz de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) (Alotaibi e Bukhari, 2021).

Uma série de fatores podem influenciar diretamente na composição do biofilme. Dentre esses fatores é válido citar a disponibilidade de nutrientes, o pH e a temperatura. Mesmo que existam diferenças entre cada composição do biofilme, os principais nutrientes encontrados são EPS, água e células bacterianas; estima-se que 97% da composição do biofilme seja água (Alotaibi e Bukhari, 2021).

De acordo com Sutherland (2001 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021) as substâncias poliméricas extracelulares apresentam 1-2% da composição mássica do biofilme, já as células microbianas aproximadamente 2-5%. Para Vasudevan (2014 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021) explica que a água tem um papel muito importante na composição do biofilme, pois ela conforma canais que contribuem para a distribuição de nutrientes, oxigênio e de micro-organismos.

### Características na formação do biofilme

A etapa de “**Fixação reversível inicial**” se caracteriza pela fixação dos primeiros microrganismos, estando suspensos em um fluido, a superfície. Esses micro-organismos formam uma camada chamada de camada de acondicionamento, facilitando assim a ancoragem de outros micro-organismos). Essa etapa pode ser formada em pouco tempo e pode ser influenciada por diversos fatores tais como as cargas da superfície e a rugosidade. Em relação aos microrganismos o que pode influenciar positivamente a fixação é a existência de pili, fímbrias e flagelos, que são apêndices externos que auxiliam na fixação e/ou locomoção dos microrganismos (Alotaibi e Bukhari, 2021).

Kumar e Anand (1998 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021) afirmam que a adesão reversível pode sofrer alteração dependendo das tensões impostas pelo meio tais como forças eletrostáticas, interações hidrofóbicas, forças de atração de *Van Der Waals* e as tensões de cisalhamento de um fluido.

Na sequência é formado “**Anexo irreversível**”, trata-se da fase de arraste ou tensões impostas pelo fluido ou superfície, impedindo a reversão da fixação. Os micro-organismos fixados começam a sintetizar a matriz EPS, gerando uma forte interação com a superfície (Zhao *et al.*, 2017 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021).

De acordo com Dunne (2002 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021) os organismos planctônicos, nessa fase, podem se agregar tanto uns aos outros como também a outros organismos presentes na comunidade dentro do biofilme, aumentando ainda mais afixação a superfície.

Banerjee, Singh, Sharma (2015 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021) afirmam que no “**Desenvolvimento de Arquitetura de Biofilme**”, após a fixação irreversível dos micro-organismos, ocorre a produção de apêndices para permitir a locomoção, podendo ser inibidos, caso não exista necessidade de locomoção. A população microbiana nessa fase começa a crescer de maneira exponencial. As células microbianas começam a se dividir, utilizando nesse processo os nutrientes presentes. Nesse processo os micro-organismos produzem mais EPS que servem para aumentar a adesão da colônia à superfície (Kumar e Anand (1998 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021). E ainda, as ligações mais estáveis são favorecidas pela produção de polímeros de adesão intercelular (PIA) e pela presença de cátions divalentes, devido aos processos biológicos que começam a dominar a etapa (Alotaibi e Bukhari, 2021).

Na etapa de “**Maturação**” as comunidades microbianas se encontram fixadas e se desenvolvendo em um biofilme formado e maduro. Nessa fase um dos fenômenos fundamentais é a comunicação (Alotaibi e Bukhari, 2021).

Para Oliveira e Saenz (2023), a comunicação é importante devido a necessidade de regulação do consumo de nutrientes, do crescimento e para reconhecimento dos demais micro-organismos. O responsável pela comunicação é o mecanismo denominado “Quorum Sensing (QS)”. Esse mecanismo é formado por autoindutores que transpassam a membrana celular e criam uma cadeia de respostas e detecção de respostas que podem ser, por exemplo, maior produção de biofilmes em caso de estresse.

Silverstein (2003 *apud* Alotaibi e Bukhari, 2021) explica que o biofilme após a maturação possui três camadas: uma película de união que fixa o biofilme a superfície; uma película formada por uma densa camada de bactérias, e uma camada flutuante, onde é possível o surgimento de bactérias flutuantes.

Na última etapa “**Dispersão**” de formação do biofilme e acredita-se que ocorra um dos principais responsáveis pela disseminação de patógenos, considerando que essas bactérias podem livremente se fixar a outras partes da superfície, e /ou reinício do processo de criação do biofilme. A limitação de nutrientes, bem como, características de escoamento do fluido e forças de cisalhamento podem

ser responsáveis pela dispersão, causando a eliminação de células filhas também podem ser a causa da dispersão (Alotaibi e Bukhari, 2021).

## Casos de Corrosão Microbiana em Concreto Armado

Considerando a importância do tema, apresenta-se alguns estudos de processos de deterioração de estruturas de concreto armado e corrosão de estruturas metálicas por micro-organismos.

Segundo Fytianos *et al.* (2020) a biodegradação de tubulações de esgoto na Grécia, foi observada a partir da produção de  $H_2S$  (sulfeto de hidrogênio) por bactérias promovendo transformação através de reações químicas com o meio contendo enxofre, com formação de  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) e lenta deterioração.

Coni *et al.* (2022) observaram que a biodegradação da pasta cimentícia e a degradação do aço em uma estação elevatória de esgoto ocorreu com a presença de micro-organismos como *Desulfovibrio*. A bactéria através do potencial biotecnológico foi capaz de metabolizar sulfato produzindo ácido sulfúrico, além de deteriorar a pasta cimentícia. Outro fator importante foi a formação do biofilme e a produção de sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), reduzindo o pH do meio, e consequentemente, aumentando a probabilidade da despassivação e corrosão da armadura. Essas observações são apresentadas na Figura 9.

**Figura 9 - Deterioração da estação elevatória de esgoto por corrosão microbiana.**



Fonte: Coni *et al.* 2022.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão de estruturas de concreto armado pode ser evidenciada como uma das patologias mais preocupantes e difundidas na área da engenharia civil, em especial dirigido para cidades inteligentes. Os processos e mecanismos das patologias do concreto armado demonstram que vêm sendo avaliados através de normas, contudo, é importante atender as demandas sobre a mitigação dos problemas ambientais, na busca de soluções promissoras e sustentáveis.

Destaca-se a corrosão induzida por micro-organismos, embora muito difundida ainda possui muitas lacunas, em especial, a formação de biofilmes, cuja revisão está dirigida para esclarecer e apoiar aos processos de mitigação. Neste sentido, torna-se importante ressaltar os fatores apresentados como informações fundamentais nas patologias relacionadas à biodeterioração e biocorrosão, como os mecanismos envolvidos na formação de biofilme por bactérias redutoras de sulfato, considerando o elevado potencial metabólico de causar diferentes tipos de corrosão.

Outro fator importante abordado é o potencial metabólico dos micro-organismos, tendo em vista o consumo de oxigênio (aeróbios) que geram um diferencial facilitando a quebra da camada passivadora do aço, além de acelerar o processo corrosivo. A produção de ácido sulfúrico biogênico é preocupante, considerando, principalmente, as estruturas estações de esgotamento sanitário, tendo em vista que diminui a vida útil das estruturas, além de gerar outras patologias a partir desta. Portanto, se faz fundamental estudos e desenvolvimento de técnicas de recuperação e mitigação das patologias mediadas por micro-organismos e ambientais em concreto armado. E ainda, torna-se cada vez mais necessário ampliar os conhecimentos científicos, tecnológicos e inovadores no sentido de inibir a atividade danosa mediada por micro-organismos em estruturas de concreto e armaduras.

## REFERÊNCIAS

- ALOTAIBI, Ghazay F.; BUKHARI, Mamdouh A. **Factors influencing bacterial biofilm formation and development**. Am. J. Biomed. Sci. Res., v. 12, n. 6, p. 617-626, 2021.
- BARBOSA, Jonathan Lima; DE OLIVEIRA VALIN JR, Marcos. **Análise de patologias em juntas de dilatação em ponte de concreto: estudo de caso em Cuiabá-MT**. In: **Tecnologia Em Controle De Obras: 20 Anos De Contribuições Do Ifmt Para Construção Civil**. Editora Científica Digital, 2023. p. 426-443.
- BARBOSA, Juliana. **Biofilmes nas indústrias de alimentos: o que são e como se formam?** - Food Safety Brazil, 17 ago. 2020. Imagem. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/biofilmes-o-que-sao-e-como-se-formam/>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- CALDAS, Iza Karla Rodrigues de Souza; NOGUEIRA, Núbia Alves de Souza. **Patologia em estruturas: corrosão no concreto armado - estudo de caso**. 2023.
- CASCUDO, O. **Controle da Corrosão de Armaduras de Concreto**. 1ª ed. São Paulo: Editora PINI, 1997.
- CONI, Gabriella de Andrade *et al.* **Degradação do concreto através da formação de ácido sulfúrico biogênico em uma Estação Elevatória de Esgoto**. Revista ALCONPAT, v. 12, n. 2, p. 279-295, 2022.

- DA SILVA, Leandro Souza. **Indústria brasileira do cimento: consumo e impactos ambientais**. CONSTRUINDO, v. 14, n. 1, 2022.
- DAMME, Henri Van. **Concrete material science: past, present, and future innovations**. Cement and Concrete Research, v. 112, p. 5-24, 2018.
- DE OLIVEIRA, Vinícius Freitas; DE SAENZ, Charlotte Cesty Borda. **Fatores inibitórios do quorum sensing e sua relação com o biofilme**. Atas de Ciências da Saúde, v. 11, n. 4, 2023.
- DONADIO, M.; CAPACHO, J.; SANTANDER, L. **Gestão Total da Corrosão. Análise documental**. Revista ALCONPAT, v. 13, n. 2, p. 235-253, 2023.
- DOS SANTOS, Ellen *et al.* **Biocorrosão e o Biofouling – uma revisão de literatura**.
- ENGENHARIA, ASOPE. **Corrosão de armadura: o que causa e como amenizar esse dano?** 9 out. 2018. Imagem. Disponível em: <https://www.asope.com.br/single-post/2018/10/09/corrosao-de-armadura>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- FYTIANOS, Georgios *et al.* **Biocorrosion of concrete sewers in Greece: Current practices and challenges**. Sustainability, v. 12, n. 7, p. 2638, 2020.
- HELENE, Paulo R. L. e FIGUEIREDO, A. **Corrosão de armaduras para concreto armado**. Revista Engenharia Mackenzie, v. 71, n. 180, p. 7-10, 1986Tradução . . Acesso em: 03 mar. 2025.
- HU, Yuting *et al.* **Microbiologically influenced corrosion of stainless steels by Bacillus subtilis via bidirectional extracellular electron transfer**. Corrosion Science, v. 207, p. 110608, 2022.
- KUMAR, Murugan *et al.* **Thiobacillus**. In: Beneficial microbes in agro-ecology. Academic Press, 2020. p. 545-557.
- LINCOLINS, Thiago. **Edifício Palace II: a tragédia na Barra da Tijuca**. 15 out. 2019. Disponível em: <https://aventurasnahistoria.com.br/noticias/reportagem/historia-palace-ii.phtml>. Acesso em: 1 mar. 2025
- MARTINS, Debora Kelly Garcia. **Corrosão de armaduras em concreto armado**. CONSTRUINDO, v. 14, n. 2, 2022.
- MASSARU WATANABE, Roberto. **Trincas causadas por infiltração e corrosão da armadura**. 26 jan. 2023. Disponível em: <https://robertowatanabe.com.br/trincas-causadas-por-infiltracao-e-corrosao-da-armadura>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- NEVES, Moises Balenga Jose; VAZQUEZ, Elaine Garrido. **Patologias das estruturas**. Boletim do Gerenciamento, v. 22, n. 22, p. 11-19, 2021.
- NUNES, Priscila. **Patologias das construções: conheça os principais tipos - Blog da OrçãFascio**. 2 jun. 2021. Disponível em: <https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/patologias-das-construcoes>. Acesso em: 28 fev. 2025.

SANTOS, Ellen dos Santos *et al.* **Biocorrosão E O Biofouling–Uma Revisão De Literatura**. In: Open Science Research VII. Editora Científica Digital, 2022. p. 193-205.

SANTOS, Henrique Resende dos; LEITE, Darlan Ulhoa. **Análise da corrosão das estruturas de concreto armado através da resistividade elétrica: revisão de literatura**.2024.

SCHMOELLER, Francieli; LIMA, Maryangela Geimba de. **Inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado: uma revisão**. CONCRETO & Construções, v. XLIX, n. 103, p. 34-38, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/1809-7197.2021.103.0002>. Acesso em: 16 mar. 2025.

SOUSA, Emanuel Messias Silva de *et al.* **Utilização Do Concreto Protendido Na Construção Civil**. Revista Mangaio Acadêmico, v. 6, n. 1, p. 136-152, 2021.

SOUZA, Vicente Custodio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.

VAN DAMME, Henri. **Concrete material science: Past, present, and future innovations**. Cement and Concrete Research, v. 112, p. 5-24, 2018.

VIDELA, Héctor A. **Biocorrosão, Biofouling e Biodeterioração de Materiais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Bolsa da FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco) Processo nº IBPG 2212-3.06/22 de Itamar Victor de Lima Costa; ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) Processo nº 312241/2022-4, Bolsa de Produtividade de G. M. Campos-Takaki e a Universidade Católica de Pernambuco pela disponibilização dos laboratórios do CEMACBIOS-UNICAP.



# Caracterização Química e Física de Argissolos Amarelos em Diferentes Ecossistemas na Amazônia

## Chemical and Physical Characterization of Yellow Argisols in Different Ecosystems of the Amazon

**Diego Lima de Souza Cruz**

*Professor Dr. do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Roraima (UFRR), Departamento de Fitotecnia*

**Anna Bárbara de Souza Cruz**

*Doutora pela Universidade de São Paulo (USP/ESALQ)*

**José Frutuoso do Vale Júnior**

*Professor Dr. do Curso de Agronomia da UFRR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola*

**Resumo:** Este estudo investiga as características químicas e físicas dos Argissolos Amarelos em três ecossistemas distintos no estado de Roraima: savana, floresta ombrófila aberta e floresta ombrófila densa. A pesquisa considerou análises morfológicas, químicas e físicas dos solos, comparando sua fertilidade e capacidade de suporte agrícola. Os resultados indicam que, apesar das diferenças na vegetação, não há variações significativas na qualidade química e física dos solos no horizonte diagnóstico. A cobertura vegetal influencia apenas a camada superficial do solo (até 20 cm), principalmente na concentração de matéria orgânica. O estudo reforça a necessidade de planejamento sustentável para evitar o esgotamento precoce dos solos amazônicos.

**Palavras-chave:** argissolos amarelos; ecossistemas amazônicos; características do solo.

**Abstract:** This study investigates the chemical and physical characteristics of Ultisols in three distinct ecosystems in Roraima state: savanna, open ombrophilous forest, and dense ombrophilous forest. The research included morphological, chemical, and physical soil analyses, comparing their fertility and agricultural support capacity. The results indicate that, despite vegetation differences, there are no significant variations in the chemical and physical quality of the soils in the diagnostic horizon. Vegetation cover only influences the superficial soil layer (up to 20 cm), mainly in organic matter concentration. The study reinforces the need for sustainable planning to prevent the premature depletion of Amazonian soils.

**Keywords:** ultisols; amazonian ecosystems; soil characteristics.

## INTRODUÇÃO

A Amazônia é um território extenso, de grande importância ambiental, social e econômica, porém carente de pesquisas no âmbito da pedologia (Brasil, 1975; Maia; Marmos, 2010; Cruz, 2017). Dentre os precursores do estudo de solos na Amazônia, podemos destacar os trabalhos de Marbut e Manifold (1926) que constituem-se nos primeiros registros sobre as características dos solos da Amazônia, cujas informações receberam um grande incremento com os estudos realizados pela equipe do Instituto de Pesquisa Agrônomo do Norte (IPEAN) (Rodrigues, 1995). Também devemos citar o Projeto Radam foi executado entre 1970 e 1985 e realizou

um amplo levantamento dos recursos naturais brasileiros, incluindo a Amazônia, utilizando imagens aéreas de radar (Brasil, 1975). Esse projeto gerou mapas temáticos e textos analíticos sobre geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, sendo referência até hoje em propostas de zoneamento ecológico da Amazônia brasileira. Outra grande contribuição foi dada pelos estudos de solos da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) em vários estados da amazônicos (Maia; Marmos, 2010; Holanda *et al.*, 2014).

Podemos ainda destacar os trabalhos de Salimon (2003), Melo *et al.* (2006), Salimon *et al.* (2007), Neves Júnior (2008), Vale Júnior e Schaefer (2010), Barbosa e Melo (2010), Benedetti *et al.* (2011), Cruz *et al.* (2014) e Cruz (2017). Em Roraima, o estudo pedológico mais recente foi realizado pelo Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) (Seadi, 2022). O conhecimento sobre os solos da região é importante para a defesa do território, para o planejamento da expansão territorial urbana, para a criação de assentamentos rurais e para o fomento de projetos de agricultura ou pecuária tanto em nível comercial como para a agricultura familiar e indígena (Barni *et al.*, 2012; Salimon *et al.*, 2007).

Desta forma, conhecer os solos da Amazônia é uma questão estratégica para o desenvolvimento social e agrícola da região. Do ponto de vista ambiental, as características químicas e físicas do solo de um ambiente indicam a aptidão agrícola ou de preservação ambiental de um solo, evitando assim que atividades humanas causem danos ambientais (INPE, 2014). Um exemplo representativo disso ocorreu na década de 80 no estado de Roraima, época em que foram criados assentamentos para agricultura familiar em áreas com solos essencialmente arenosos (Espodosolo), o que mais tarde veio a culminar no abandono das áreas devido às baixas produtividades das culturas. No contexto nacional ainda existem até hoje muitos casos do mau uso do recurso solo, sendo os principais exemplos os deslizamentos de terra em áreas urbanas, a contaminação de lençóis freáticos por adubos e agrotóxicos e o desbarrancamento de barragens. Na agricultura, os maiores problemas ocorrem com a perda da fertilidade do solo, erosão, assoreamento e compactação do solo. Todos esses problemas acarretam o abandono de áreas e faz com que na Amazônia se encontrem cerca de 26.246 km<sup>2</sup> de áreas degradadas (Imazon, 2024).

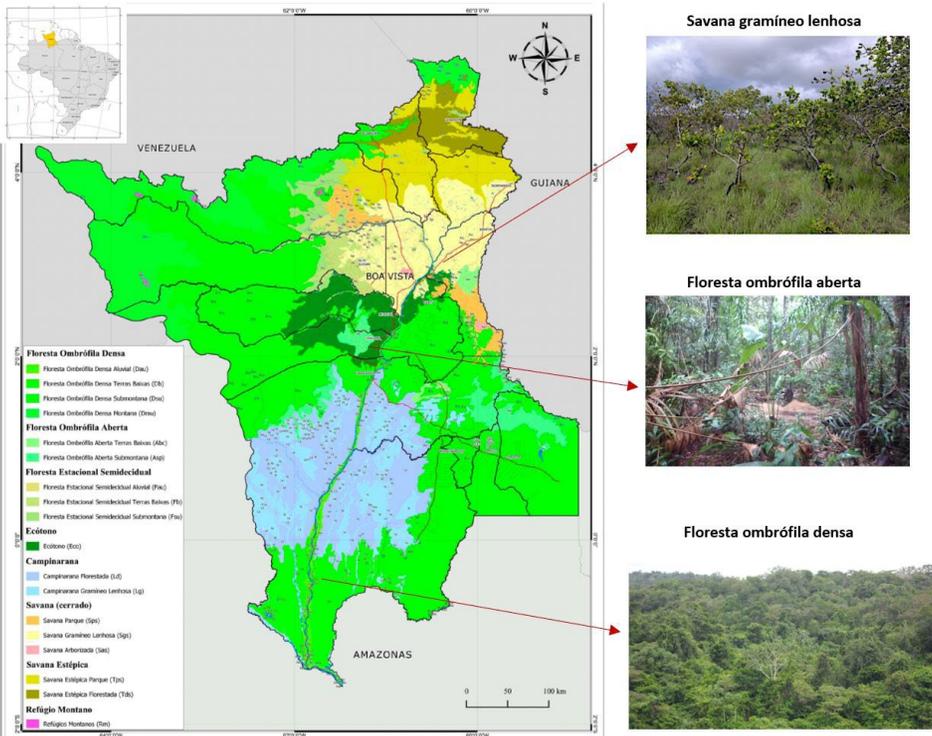
A classe dos Argissolos é uma das mais representativas no contexto Amazônico (Melo *et al.*, 2006; Vale Júnior; Schaefer, 2010). Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018), trata-se de um solo com mudança textural abrupta no teor de argila entre o seu horizonte superficial A e o diagnóstico Bt (entre 40 a 60 cm de profundidade), fato este que afeta diretamente a dinâmica da água no solo e a penetração das raízes. É um solo com baixos teores de cátions trocáveis e baixa Capacidade de Troca de Cátions (CTC) (Melo *et al.*, 2006; Vale Júnior; Schaefer, 2010). Apesar de essas características serem conhecidas, a interação com a vegetação pode conferir a esta classe de solos algumas particularidades que afetam sua dinâmica ambiental, desenvolvendo mecanismos próprios de troca de nutrientes, hidrodinâmica e agregação próprios. É devido a isto que o componente vegetação é tido como um fator ativo na formação do solo (Melo *et al.*, 2006; Vale Júnior; Schaefer, 2010).

Diante do exposto, pretende-se com este capítulo discutir as características químicas e físicas de Argissolos Amarelos comparando-os entre os ecossistemas mais representativos no estado de Roraima.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em três ecossistemas do estado de Roraima: **1) Savana, 2) Floresta aberta** e **3) Floresta densa**. Os ambientes selecionados representam os três grandes grupos de vegetação de Roraima, sendo as savanas localizadas na porção nordeste e as florestas tropicais úmidas densas localizadas ao sul do Estado. As florestas tropicais abertas estão localizadas em uma zona de transição entre as savanas e florestas. A contextualização geográfica destes ecossistemas pode ser visualizada na figura 1 abaixo.

**Figura 1 - Mapa das fitofisionomias no estado de Roraima na escala 1:850.000.**



Fonte: Mapa de Vegetação SEADI, 2022; fotos autoria própria.

A **tabela 1** abaixo traz maiores detalhamentos sobre os ecossistemas com Argissolos avaliados.

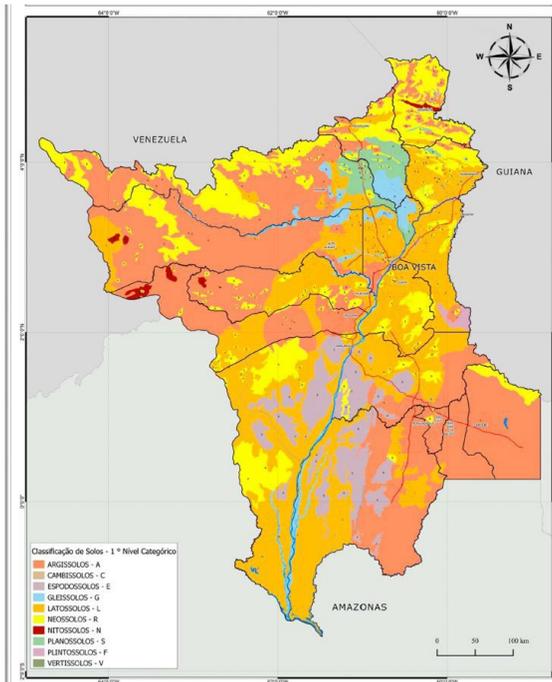
**Tabela 1 - Detalhamento dos ecossistemas estudados.**

<b>Ecossistema</b>	<b>Fitofisionomia</b>	<b>Localização</b>	<b>Clima e pluviosidade</b>
Savana	Savana gramíneo lenhosa	Município de Bonfim (nordeste do Estado) Coordenadas: 02°59'34"N e 60°25'34"O	<b>aw</b> - tropical de savanas, com 4 a 5 meses secos e pluviosidade anual entre 1.700 e 1.900 mm)
Floresta aberta	Floresta ombrófila aberta	Município de Iracema (centro do estado) Coordenadas: 02°17'33"N e 61°14'48"O	<b>am</b> - tropical de monção com 3 meses secos e pluviosidade entre 2.000 e 2.100 mm
Floresta densa	Floresta ombrófila densa	Município de Rorainópolis (sul do Estado) Coordenadas: 0°12'03"N e 60°42'37"O	<b>af</b> - tropical superúmido com secas esporádicas ao longo do ano e pluviosidade entre 2.400 e 2.500 mm

**Fonte: SEADI, 2022. Classificação climática segundo Köppen.**

As classes dos Argissolos e Latossolos predominam no estado de Roraima, conforme pode ser visto na figura 2.

**Figura 2 - Distribuição das classes de solos no estado de Roraima.**



**Fonte: SEADI, 2022.**

Para a classificação do solo neste trabalho, selecionou-se áreas sem qualquer sinal anterior ou atual de antropização e com a vegetação natural representativa do ecossistema. Para a seleção das áreas priorizou-se regiões onde já se havia o conhecimento sobre a presença de Argissolos Amarelos (PA), e para isso, foram utilizadas as informações do Projeto Radam Brasil (Brasil, 1975) e também trabalhos de classificação prévios realizados por Vale Júnior e Schaefer (Vale Júnior e Schaefer, 2010). Desta forma, em cada ecossistema procedeu-se com a abertura 4 trincheiras dispostas em forma de quadrado e distantes de 100 m entre si. Os procedimentos de classificação do solo ocorreram de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Santos *et al.*, 2018) e também do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos *et al.*, 2011). Em campo foram coletadas as informações sobre a morfologia do solo em seu horizonte diagnóstico Bt (B textural) como cor, estrutura, consistência e foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm para a obtenção das análises químicas e físicas. A tabela 2 abaixo relaciona as propriedades químicas e físicas do solo e seus respectivos métodos de análise.

**Tabela 2 - Relação das propriedades químicas e físicas avaliadas e seu respectivo método de análise.**

<b>Propriedades Físicas</b>	<b>Método</b>
Textura	Pipeta (TYNER, 1963)
Densidade do solo	Anel volumétrico (UHLAND, 1951)
Distribuição de agregados	Via úmida (KEMPER; CHEPIL, 1965)
Propriedades químicas	Método
Potencial hidrogeniônico (pH)	Potenciometria (JACKSON, 1958)
Teor de fósforo	Merlich 1 (MEHLICH, 1953)
Teores de potássio, cálcio, magnésio e sódio	Del Negro e Vettori (1938)
Matéria orgânica do solo (MOS)	Walkley & Black (1934)
Teor de alumínio	Lin e Coleman (1965)
Capacidade de Troca de Cátions total (CTCt)*	Soma de $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + H^{+} + Al^{3+}$
Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTCe) *	Soma de $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Al^{3+}$
Soma de Bases Trocáveis (SB) *	$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$
Saturação por Bases (V) *	$V (\%) = 100 \times SB / CTCt$
Saturação por alumínio (m) *	$m (\%) = (Al^{3+} \times 100) / (SB + Al^{3+})$

**Fonte: Ronquim, 2010.**

A análise dos dados foi feita de forma exploratória com o objetivo de identificar padrões, tendências, relação entre variáveis, e por fim, validar ou não as hipóteses deste estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A morfologia do solo apresentou diferenças significativas em relação aos ecossistemas. Quanto à profundidade do horizonte diagnóstico, em todos os ecossistemas a mudança textural abrupta se iniciou a partir dos 20 cm de profundidade, ocorrendo uma transição entre horizontes clara e plana. Quanto à cor úmida, houve variações entre 7.5YR 5/4 e 7.5YR 6/6. A estrutura foi moderada média em blocos subangulares, com baixa plasticidade e pegajosidade. Em todos os ecossistemas os PA tinham características de boa drenagem. Por outro lado, a atividade biológica de minhocas, formigas e cupins foi expressivamente maior nos PA sobre floresta ombrófila densa e floresta ombrófila aberta. Este fato está intimamente relacionado com ao maior teor de matéria orgânica depositada sobre o solo. Segundo SEADI (2022) Os aspectos de gênese, vegetação, relevo, geologia e geomorfologia, são semelhantes aos do Latossolo Amarelo distróficos (LAd), destacando que os LAd se posicionam nos topos mais aplainados da savana e os PA nas encostas em relevo mais ondulado.

Para a interpretação dos resultados das análises químicas e físicas é importante salientar que deve-se observar os valores do horizonte diagnóstico, que no caso desta pesquisa foi observado a partir dos 20 cm de profundidade (vide tabela 05). Os resultados das análises químicas do solo (tabela 3) indicam que de forma geral o PA na Floresta Ombrófila Aberta apresentou melhores condições químicas, onde a saturação por bases foi de 34,09 %, enquanto na Savana e na Floresta Ombrófila Densa foram 4,92 e 3,02 % respectivamente.

**Tabela 3 - Propriedades químicas do solo nos três ecossistemas estudados.**

Ecossist.	Prof. (cm)	pH	P mg.dm-3	cmolc.dm-3						CTCT	CTCe	SB	V (%)	m (%)
				K+	Ca2+	Mg2+	Na+	Al3+	(H + Al)					
SV	0-20	5,61	1,60	0,00	0,01	0,06	0,00	0,36	2,60	2,90	0,61	0,06	6,67	62,38
FOA	0-20	4,60	3,00	0,19	0,80	0,21	0,12	0,68	3,00	4,32	2,00	1,32	30,56	34,00
FOE	0-20	4,78	2,60	0,07	0,03	0,13	0,00	1,02	6,51	5,74	1,25	0,24	5,99	72,28
SV	20-40	5,12	1,30	0,00	0,08	0,09	0,00	0,57	2,84	3,01	0,74	0,17	4,92	81,78
FOA	20-40	4,80	2,00	0,19	1,00	0,16	0,15	0,67	2,90	4,40	2,17	1,50	34,09	30,88
FOE	20-40	4,76	1,90	0,01	0,01	0,10	0,00	1,04	3,88	4,00	1,16	0,12	3,02	89,48

**OBS:** SV: Savana Gramíneo Lenhosa; FOA: Floresta Ombrófila Aberta; FOE: Floresta Ombrófila Densa; CTCT: Capacidade de Troca de Cátions Total; CTCe: Capacidade de Troca de Cátions Efetiva; SB: Soma de Bases; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio; Valor T: Atividade da Fração Argila; Class. T: Classificação da Atividade da Fração Argila, sendo Tb correspondente à argila de baixa atividade.

**Fonte:** autoria própria.

Apesar de não ser considerado eutrófico ( $V > 50\%$ ), esse valor de V na Floresta Ombrófila Aberta é considerado alto para os padrões da Amazônia (EMBRAPA, 2018). Em estudos realizados na Reunião de Correlação e Classificação de Solos em Roraima, foram observados um PA localizado também na região de transição entre savana e floresta que apresentou valores de V de 26 a 34 % ao longo do

horizonte Bt (EMBRAPA, 2018). Por outro lado, em levantamento de solo realizado no Zoneamento Ecológico Econômico do estado de Roraima foram observados PA em savana com V de 14 % e também elevada saturação por alumínio. Desta forma, valores altos de saturação por base são incomuns nos Argissolos Amarelos no contexto amazônico. Em todos os ecossistemas ocorreram acidez elevada e baixos teores de fósforo.

A pobreza química ( $V < 50 \%$ ) e elevada saturação por alumínio ( $m > 70 \%$ ) resultam da influência do material de origem (sedimentos pré-intemperizados) e as condições climáticas da região (altas precipitações e altas temperaturas) (SEADI, 2022). No entanto, podem ocorrer manchas de solo associadas a afloramentos de rochas máficas e contemplam melhores atributos químicos. Vale Júnior e Schaefer (2010) resumiram as principais características dos solos roraimenses em relação ao seu material de origem da seguinte maneira: (i) são predominantemente ácidos, distróficos e com baixos valores de bases trocáveis e óxidos de ferro quando originados dos sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista; (ii) eutróficos quando associados à decomposição de rochas vulcânicas básicas (basaltos) da Formação Apoteri; sódicos e endoeutróficos, mas com baixos valores de bases trocáveis, quando desenvolvidos das rochas vulcânicas ácidas (dacito e riódacito) do Grupo Surumu; (iii) eutróficos, com presença de argilominerais expansivos e elevados conteúdos de cálcio e carbono orgânico, quando derivados de sills máficos.

A baixa capacidade de troca de cátions (CTC) resulta dos baixos valores de bases trocáveis ( $< 1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ), indicando a dominância de argilominerais de baixa atividade (Caulinita). Observam-se maiores valores em superfície pela presença da MO, tendendo a decrescer acentuadamente em profundidade. A variabilidade na CTC e SB, relaciona-se com a dinâmica do carbono orgânico, sendo fortemente dependente da erosão. A baixa capacidade de troca de cátions (CTC) resulta dos baixos valores de bases trocáveis ( $< 1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ), indicando a dominância de argilominerais de baixa atividade (Caulinita). Observam-se maiores valores em superfície pela presença da Matéria Orgânica do Solo (MOS), tendendo a decrescer acentuadamente em profundidade. A variabilidade na CTC e SB, relaciona-se com o teor de MOS, que é maior na superfície (tabela 4).

**Tabela 4 - Teores de Matéria Orgânica do Solo (MOS) nos três ecossistemas estudados.**

<b>Ecossistema</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>MOS (%)</b>
<b>SV</b>	0-20	0,81
<b>FOA</b>	0-20	1,41
<b>FOE</b>	0-20	3,43
<b>SV</b>	20-40	0,35
<b>FOA</b>	20-40	0,88
<b>FOE</b>	20-40	1,45

**OBS:** SV: Savana Gramíneo Lenhosa; FOA: Floresta Ombrófila Aberta; FOE: Floresta Ombrófila Densa.

**Fonte:** autoria própria.

De acordo com pesquisas realizadas em Roraima, os teores de MOS nos horizontes subsuperficiais de Argissolos e Latossolos dificilmente ultrapassa os 2 % (Seadi, 2022; Vale Júnior e Schaefer, 2010; Santos *et al.*, 2018). Contudo, no horizonte superficial (0 a 20 cm) ocorre outra dinâmica. O teor de MOS dessa camada está diretamente relacionado com o tipo de cobertura vegetal. Neste sentido, justifica-se as maiores porcentagens de MOS no horizonte superficial na Floresta Ombrófila Densa em comparação com os outros dois ecossistemas conforme observa-se na tabela 04. A savana, por apresentar uma vegetação que incorpora menor quantidade de biomassa vegetal, apresenta valores muito baixos de MOS. Entender essa dinâmica é muito importante, pois muitos agricultores associam que os solos de mata possuem fertilidade superior, fazendo com que ocorram mais aberturas de áreas mediante derrubada da floresta para empreendimentos de pecuária e agricultura. Contudo, não há instrução suficiente a esses produtores rurais sobre essa dinâmica da matéria orgânica do solo, o que faz com que muitas áreas percam sua fertilidade em poucos anos de uso.

Quanto às propriedades físicas (tabela 5), observou-se que todos os solos apresentaram mudança textural abrupta entre o horizonte superficial e o horizonte subsuperficial.

**Tabela 5 - Propriedades físicas do solo nos três ecossistemas estudados.**

Ecossist.	Prof. (cm)	Areia	----- % -----		DS (g.cm <sup>3</sup> )	RT	Sil/Arg
			Silte	Argila			
SV	0-20	78,2	11,0	10,8	1,55		
FOA	0-20	65,6	14,1	20,3	1,59		
FOE	0-20	66,0	13,0	21,0	1,28		
SV	20-40	67,0	10,6	22,4	1,66	2,07	0,47
FOA	20-40	42,5	22,1	35,4	1,64	1,74	0,62
FOE	20-40	53,0	10,0	37,0	1,38	1,76	0,24

**OBS:** DS: Densidade do Solo; RT: Relação textural; Sil/Arg: Relação Silte Argila.

**Fonte:** autoria própria.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018), a classe dos Argissolos possui uma característica chave para a sua identificação. É a mudança textural abrupta, que ocorre no horizonte diagnóstico B textural (Bt). A mudança textural abrupta consiste num considerável aumento no teor de argila dentro de uma pequena distância na zona de transição entre o horizonte A ou E, e o horizonte subjacente B. Grande aumento de argila total do horizonte A para o B, o suficiente para caracterizar uma mudança textural abrupta ou incremento de argila total do horizonte A para B, dentro de uma seção de controle definida em função da espessura do horizonte A, suficiente para que a relação textural B/A satisfaça uma das alternativas seguintes: a) nos solos com mais de 40 % de argila no horizonte A, relação maior que 1,50; b) nos solos com 15 a 40 % de argila no

horizonte A, relação maior que 1,70; c) nos solos com menos de 15 % de argila no horizonte A, relação maior que 1,80. A textura mais arenosa em superfície é descrita como uma característica do Argissolo, que ocorre devido à iluviação da argila para subsuperfície do solo (Santos *et al.*, 2018).

Segundo Santana *et al.* (2006), as mensurações de propriedades físicas do solo devem estar intimamente correlacionadas com a textura do solo, esses autores verificaram que os maiores teores de areia correspondiam aos maiores valores para densidade em um Argissolo na Bahia, pois a areia não forma agregados da mesma maneira que a argila, com isso tende a se compactar mais (Santana *et al.*, 2006).

A relação silte/argila é tida como um indicativo do grau de intemperização do solo, sendo que valores abaixo de 0,6 são atribuídos a solos altamente intemperizados (Santos *et al.*, 2018). O valor de 0,62 obtido na Floresta Ombrófila Aberta pode ser um indicativo de que este Argissolo Amarelo seja mais jovem que o Argissolo dos outros ecossistemas, o que poderia explicar suas melhores características químicas. Contudo, são necessários estudos mais específicos para se obter tal constatação.

A análise da textura do solo é muito importante por justificar os padrões de comportamento na dinâmica da água no solo, na densidade e porosidade do solo. Muitos estudos de solo envolvem apenas as camadas até 20 cm e podemos ver aqui neste trabalho que ocorrem mudanças significativas na textura ao longo do perfil do solo. Do ponto de vista da física do solo, essas informações são importantes no planejamento de sistemas de irrigação, pois o aumento de argila no horizonte Bt provoca alterações na dinâmica de infiltração da água. Essa mudança textural abrupta associada aos relevos suave ondulado a ondulado (típicos de Argissolos) tornam essa classe de solos mais susceptíveis à erosão (Cruz, 2017).

A textura também tem influência direta na química do solo, pois a quantidade e tipo de argila presente no solo afetam as reações de adsorção e troca de nutrientes (Cruz, 2017). A mineralogia da argila é essencialmente caulínica, seguida de minerais como *goethita* e *gibbsita*. As condições de clima, material de origem ainda com relativa concentração em sílica, pobreza em ferro e meio extremamente ácido, verificadas na área do estudo, criam condições para formação de caulinita de boa cristalinidade, essa mineralogia reflete a natureza poligenética dos solos e a imposição dos fatores de formação (Seadi, 2022).

Quanto à Densidade do Solo (DS), pode-se observar que na FOE os valores mais baixos estão correlacionados também com valores mais elevados de MOS. Isso se deve à influência da deposição de biomassa vegetal sobre o solo. Ao estudar um Argissolo Vermelho Amarelo sob floresta de transição e sob pastagem em Roraima, Souza (2010) também constatou que a DS em área floresta foi menor que a da pastagem até os 10 cm. Este autor encontrou valores de 1,26, 1,74 e 1,75 g.cm<sup>-3</sup> para a floresta nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm respectivamente.

A DS é a propriedade mais importante na aeração do solo e dinâmica de água. Ela representa a massa de solo presente por unidade de volume. Logo, se um solo tem mais massa de solo em 1 cm<sup>3</sup> ele terá maior densidade, menor porosidade

e apresentará maior resistência à penetração das raízes (Cruz, 2017). Essa é uma informação especialmente importante para o planejamento da mecanização do solo. Se um dado ambiente possui um solo coeso antes mesmo do plantio é muito importante que não ocorram atividades mecanizadas em excesso. A atividade pecuária mal manejada também é um fator de adensamento do solo, principalmente quando não há sistema de rotação de pastagens e controle da unidade de animais permitida por hectare (Cruz, 2017).

Resultados obtidos por Lima *et al.* (2005), apontaram elevados valores de DS, 1,6 g.cm<sup>-3</sup> em média, em Latossolo Vermelho-Amarelo sob efeito intenso de tráfego de máquinas em Piracicaba-SP. A densidade do solo pode ser um atributo importante na identificação da presença de coesão do solo conforme foi observado por Santana *et al.* (2006). Estes autores observaram aumento significativo da DS nas profundidades coesas de Latossolo Amarelo (LA) e de Argissolo Amarelo (PA) ambos sob cultivo de citros na Bahia, encontrando valores de 1,43 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte Ap e 1,71 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte AB do LA, e 1,46 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte Ap aumentando para 1,62 g.cm<sup>-3</sup> no Bt do PA.

Barros *et al.* (2009) estudaram a conversão de Savana Natural em plantio florestal de *Acacia mangium* sobre Argissolo Vermelho-Amarelo em Roraima, obtendo valores médios de DS de 1,49 g.cm<sup>-3</sup> na profundidade de 0 a 10 cm numa área natural de savana, verificando aumento da densidade com o aumento da profundidade (1,63 g.cm<sup>-3</sup> na profundidade de 30 a 40 cm).

Em estudo conduzido por Tirloni *et al.* (2012), em sistemas ILP de longa duração (31 anos), sobre Latossolo Amarelo (textura muito argilosa) no estado do Mato Grosso do Sul, observaram que o sistema ILP apresentou aumento da DS (valores variando de 1,14 g cm<sup>-3</sup> a 1,57 g cm<sup>-3</sup> na camada de 0 a 20 cm) comparado a uma floresta nativa (0,94 g.cm<sup>-3</sup> na camada de 0 a 5 cm a 1,26 g cm<sup>-3</sup> na camada de 10 a 20 cm). Contudo, esses autores relataram que esse aumento na densidade não foi suficiente para prejudicar a pastagem de *Urochloa ruziziensis*, mesmo com altas pressões de pastejo (4 U.A. ha<sup>-1</sup>).

Argenton *et al.* (2005) verificaram em Latossolo Vermelho argiloso, que a deficiência na aeração se iniciou com densidade do solo de 1,30 g cm<sup>-3</sup>. Klein (2006), para mesma classe de solo, observou que a densidade limitante foi de 1,33 g cm<sup>-3</sup>. Já Reichert, Reinert e Braidá (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 g cm<sup>-3</sup> para solos argilosos, 1,40 a 1,50 g cm<sup>-3</sup> para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 g cm<sup>-3</sup> para os franco-arenosos. Neves Júnior (2013) associa o valor de 1,80 g cm<sup>-3</sup> como densidade crítica, o qual representa o limite crítico de DS onde o solo não mais apresenta condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas.

Não existe consenso entre os autores sobre o nível crítico da densidade do solo, ou seja, o valor acima do qual o solo é considerado compactado. A densidade varia de acordo com as características do solo, sendo que em solos argilosos variam de 1,0 a 1,45 g cm<sup>-3</sup> para condições de mata e muito compactados, respectivamente e para solos arenosos apresentam densidades variáveis entre 1,25 a 1,70 g cm<sup>-3</sup> respectivamente. Em solos franco-argilosos a argilosos o valor crítico pode ser de

1,55 g cm<sup>-3</sup>. Em Latossolo Roxo, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes acima de 1,2 g cm<sup>-3</sup> (Richart *et al.*, 2005).

É importante destacar que as atividades de agricultura e pecuária, quando bem manejadas, podem preservar ou até melhorar as características químicas e físicas do solo. Nos trabalhos Atributos Físicos de Argissolo Amarelo sob Floresta e Savana Naturais e Cultivados com Pastagem em Roraima (Cruz, 2012) e Influência de Sistemas Integrados de Produção nas Características Físicas e Químicas de um Argissolo (Cruz, 2017), realizados em áreas de savana, floresta ombrófila densa e em floresta ombrófila aberta convertidas em pastagem, foi constatado que áreas bem manejadas ocorreram melhorias significativas na qualidade química e física do solo. Nessas áreas manejadas ocorria o controle da pressão de pastejo, evitavam-se atividades mecanizadas sem necessidade, havia-se o rotacionamento das pastagens e fazia-se a manutenção anual dos pastos.

A porcentagem de agregados é também um indicativo da qualidade física e biológica do solo. Desta forma, submete-se amostras indeformadas de solo a uma agitação em meio aquoso de modo que, agregados grandes que se mantêm estáveis refletem a sua estabilidade (tabela 06).

**Tabela 6 - Porcentagem de agregados retidos em peneira.**

Ecos-sist.	Prof. (cm)	----- Percentagem retido na peneira (%) -----					
		4-2 mm	2-1 mm	1-0,5mm	0,5-0,25mm	0,25-0,106 mm	<0,106 mm
<b>SV</b>	0-20	47,40	25,23	7,88	7,20	4,44	7,84
<b>FOA</b>	0-20	58,64	15,91	10,56	7,20	2,78	2,11
<b>FOE</b>	0-20	55,60	22,75	6,46	3,93	1,56	9,68
<b>SV</b>	20-40	40,96	22,33	9,04	9,40	6,08	12,17
<b>FOA</b>	20-40	55,00	19,00	11,00	8,00	5,00	2,00
<b>FOE</b>	20-40	51,37	24,92	8,31	5,69	2,46	7,22

**Fonte: autoria própria.**

A formação de agregados é reflexo das interações entre as partículas do solo (areia, silte e argila) com a matéria orgânica, alguns elementos do solo e a atividade de macro e microrganismos do solo. A união desses componentes cria espaços porosos permitindo a infiltração de água e promovendo a sua aeração, criando assim, um ambiente adequado para o desenvolvimento radicular. A hipóxia (diminuição da porcentagem de oxigênio no meio) é frequentemente relacionada ao surgimento de doenças radiculares e às baixas taxas de absorção de nutrientes pelas raízes (Andriolo, 2020). Neste sentido, um solo com boa agregação é aquele que apresenta agregados grandes (4-2 e 2-1 mm). Por outro lado, um solo que tem sua qualidade física comprometida apresentará maior proporção de agregados pequenos. Comumente, o excesso de arações e gradagens provoca a quebra dos agregados do solo, causando assim, problemas com a infiltração da água e erosão do solo (Cruz, 2012; Cruz, 2017).

Estudos realizados com pastagens na Amazônia demonstram que pastagens bem manejadas proporcionam agregação semelhante a áreas de floresta natural (Cruz, 2012; Cruz 2017; Souza, 2010). Diversos autores destacam o efeito positivo das gramíneas na agregação do solo, em decorrência da maior incorporação de matéria orgânica, que atua como um eficiente agente cimentante e altera as ligações entre as partículas do solo (Campos *et al.*, 1995; Silva e Mielniczuk, 1998). Chama-se a atenção também para os valores maiores de alumínio na área natural (SV, FOA e FOE). Este elemento é relacionado na literatura como sendo um agente de agregação (Skopp, 2002) pois atua na floculação da argila. Por outro lado, a calagem também pode atuar na dispersão/floculação da argila nas áreas manejadas.

Sousa Neto *et al.* (2014), avaliaram a distribuição de agregados em sistema ILP e ILPF, adotado pela Embrapa, comparado a uma mata nativa, sobre um Latossolo Amarelo (textura média) no estado do Mato Grosso. Esses autores observaram elevada porcentagem de agregados entre 4 a 8 mm, sendo que nos sistemas ILP e ILPF as porcentagens variaram de 89 a 95 %, e na mata nativa a porcentagem foi de 86 %. Mesmo que os sistemas ILP e ILPF tenham apresentado valores de DS e RP superiores aos da mata nativa, isso não prejudicou a formação de agregados estáveis nesse solo. Os autores associaram essa resposta às pastagens bem manejadas nos sistemas estudados por eles, pois possuem papel fundamental na agregação do solo (Lenka *et al.*, 2012).

No trabalho de Tirloni *et al.* (2012), em sistemas ILP de longa duração (31 anos), em Latossolo Amarelo (textura muito argilosa) no estado do Mato Grosso do Sul, não foram identificadas diferenças estatísticas significativas na porcentagem de agregados maiores que 1 mm entre sistema ILP e mata nativa, cuja média foi de 98 % de agregados dessa classe de diâmetro. Os autores ressaltaram que o ILP sempre teve rotação com espécies diversificadas, sendo elas a soja, aveia, *B. brizantha*, capim Tanzânia, milho e algodão.

O processo de agregação consiste no seguinte: Primeiramente ocorre a união entre as partículas primárias livres e agregadas de tamanho de silte por meio de agentes ligantes persistentes, como matéria orgânica humificada ou complexos com cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos, formando microagregados (20 a 250  $\mu\text{m}$ ). Após isso, esses microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas, resultando em macroagregados (> 250  $\mu\text{m}$ ) (Tisdall e Oades, 1982).

O processo de agregação obedece a uma hierarquia, essa hierarquia existe quando os agregados grandes se desfazem em outros menores e assim sucessivamente até se obtenha somente argila, silte e areia. Os agregados se formariam por meio de uma sequência crescente de agregação, começando com forças microscópicas que aglomeram as partículas de argila, silte e areia. À medida que os agregados aumentam de tamanho, uma sucessão de forças de maior alcance passa a dominar a estabilidade. Em direção ao topo da hierarquia (macroagregados), a densidade do solo diminui e a porosidade aumenta porque além da porosidade interna dos agregados, existe a contribuição dos poros entre agregados. Nesse

conceito de hierarquia, os agregados menores de 20 micrômetros são constituídos por argilominerais, microrganismos e biopolímeros, enquanto agregados entre 20 e 90 micrômetros são formados por um núcleo de lignina cercado por partículas minerais. O núcleo de lignina pode ser decomposto, deixando apenas o espaço poroso no centro dos microagregados. Os agregados maiores que 250 micrômetros são dependentes da ação de hifas e raízes de plantas, sendo, portanto, um bom indicado da atividade biológica do solo (Dexter, 1988).

Bissonnais (1996) elencou 4 mecanismos de destruição dos agregados, são eles: 1) Diminuição do rigor no interior dos agregados devido ao aprisionamento de bolhas de ar decorrente do umedecimento súbito do solo; 2) Expansão e contração da argila; 3) Rompimento mecânico pelo impacto das gotas de chuva e 4) Dispersão da argila.

Manter o solo “vivo” significa elevar o fluxo de energia no sistema. Esse fluxo de energia é resultante da atividade de crescimento de raízes e hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimulando a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis. A ocorrência de fluxos de energia reduzidos resulta em nível de organização baixo, em que a estrutura do solo é simples, com predomínio de microagregados. Por outro lado, com elevado fluxo de energia e matéria o nível de organização atingido é mais elevado, ocorrendo agregados maiores e formando grandes e complexas estruturas. Portanto, do ponto de vista agrícola, solos com maior agregação podem ser considerados em estado de ordem superior ao de solos semelhantes com menor agregação (Ferreira, Filho e Ferreira, 2010).

A diversidade da população microbiana pode influenciar consideravelmente a estabilidade de agregados. Melloni *et al.* (2008) compararam os atributos físicos e químicos em solo sob Mata Atlântica, floresta de araucária, florestamento com eucalipto e pastagem (*Urochloa decumbens*) em Minas Gerais. Estes autores observaram um grau de floculação semelhante nas áreas de pastagem e na mata, que foi atribuído à elevada população microbiana do solo.

As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados, decorrentes do uso agrícola indevido, normalmente acarretam restrições ao crescimento radicular, reduzindo a exploração de água e nutrientes pelas culturas. Essas alterações são, muitas vezes, manifestadas pela compactação acentuada, diminuindo a porosidade e a infiltração de água no solo, aumentando o acúmulo de água sobre a superfície e a erosão hídrica (Albuquerque *et al.*, 2003).

As alterações nos atributos físicos de solos com colóides de carga variável, em especial na profundidade superficial mais rica em matéria orgânica, podem ser provocadas por diversos mecanismos como a quebra dos agregados por efeito mecânico causado pelo revolvimento do solo ou pisoteio animal, a perda da matéria orgânica, que é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo e alterações químicas advindas do uso de corretivos e adubos (Westerhof *et al.*, 1999).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ausência de diferenças significativas entre os ecossistemas é uma informação importante do ponto de vista do manejo agrícola, pois muitos agricultores procuram áreas de florestas para cultivo, acreditando que estas possuem maior fertilidade do solo. Como pôde ser visto, as maiores diferenças estão nas camadas mais superficiais do solo, sendo que nos ambientes ocorre uma maior deposição de biomassa sobre o solo, conferindo-lhe uma fertilidade temporária após a derrubada da floresta para o plantio. Com poucos anos de cultivo, as áreas perdem essa matéria orgânica incorporada ao solo e as terras perdem sua capacidade de suporte da produção agrícola, culminando desta forma no abandono das áreas.

- 1) O Argissolos estudados nos três ecossistemas não apresentaram diferenças na sua qualidade química e física no seu horizonte diagnóstico;
- 2) A cobertura vegetal tem influência nas características químicas e físicas até a camada de 20 cm do solo;
- 3) As atividades agrícolas e pecuárias a serem desenvolvidas nestes ambientes não devem levar em consideração a alta fertilidade aparente que os solos de floresta apresentam;
- 4) Qualquer atividade antrópica a ser desenvolvida nos Argissolos deve levar em consideração as características do horizonte B textural, pois apresenta dinâmicas de água, aeração e de troca de nutrientes muito diferentes ao longo do perfil do solo.

## REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, J. L. **Olericultura geral**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência - Editora UFSM, 2020. 96 p.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. **Aplicação de Calcário e Fósforo e Estabilidade da Estrutura de um Solo Ácido**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p. 799-806, 2003.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. **Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, p. 425-435, 2005.

BARBOSA, R. I.; MELO, V. F. **Roraima: Homem, ambiente e ecologia**. Boa Vista: FEMACT, 2010. 644 p.

BARROS, L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. R.; MOURÃO, M. **Perdas de Solo e Água em Plantio de Acacia mangium Wild em Savana de Roraima, Norte da Amazônia**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 33, p. 235 – 475, 2009.

BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. DE A. **Desmatamento no sul do estado de Roraima: padrões de distribuição em função de projetos de assentamento do INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210)**. Acta Amazonica, v. 42, p. 196-2014, 2012.

BISSONNAIS, Y. le. **Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology**. European Journal of soil science, v. 47, n. 4, p. 425-437, 1996.

BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA. 21. Tumucumaque, NA. 20 Roraima e NA. 21**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1975.

BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO V. F.; UCHÔA, S. C. P. **Gênese, Química e Mineralogia de Solos Derivados de Sedimentos Pliopleistocênicos e de Rochas Vulcânicas Básicas em Roraima, Norte Amazônico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, p. 299-312, 2011.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. **Estabilidade Estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico Após Sete Anos de Rotação de Culturas e Sistemas de Manejo do Solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 19, p. 121-126, 1995.

CRUZ, D. L. S. **Atributos físicos de Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais e cultivados com pastagem em Roraima**. Boa Vista, 2012. 94 p. : il. Orientador: José Frutuoso do Vale Júnior. Universidade Federal de Roraima. Dissertação (mestrado).

CRUZ, D. L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, P. L. S.; CRUZ, A. B. S.; NASCIMENTO, P. P. R. R. **Atributos físico-hídricos de um Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, p. 307-314, 2014.

CRUZ, D. L. S. **Influência de sistemas integrados de produção nas características físicas e químicas de um Argissolo**. Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2017. (Tese de Doutorado).

DEXTER, A.R. **Advances in characterization of soil structure**. Soils & Tillage Research, v. 11, p. 199-238, 1988.

DEL NEGRO, G.; VETTORI, L. **Análise espectrográfica quantitativa pelo método da chama**. Rio de Janeiro: Instituto de Química Agrícola, 1938. 44 p. (IQA. Boletim Técnico, 3).

EMBRAPA. **Guia de Campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Roraima**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 206 p.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. **Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

HOLANDA, J. L. R.; MARMOS, J. L.; MANSINI, M. A. **Geodiversidade do estado de Roraima** / Organização [de] Janólfta Lêda Rocha Holanda, José Luiz Marmos [e] Maria Adelaide Mansini Maia. – Manaus: CPRM, 2014. 252 p.

INPE IN de PE, Embrapa AO. **Terra Class Sumário Executivo: Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia**. 2014.

IMAZON. **Sistema de Alerta de Desmatamento, 2024**. Disponível em: <https://amazon.org.br/publicacoes/faq-sad/>. Acesso em: 05/03/2024.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New York: Prentice Hall, 1958. 498 p.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregates**. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. *Methods of soil analysis. Part I*. Madison, American Society of Agronomy, p.499-510. (Agronomy Series, 9), 1965.

KLEIN, V. A. **Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 5, p. 26-32, 2006.

LENKA, N. K.; CHOUDHURY, P. R.; SUDHISHRI, S.; DASS, A.; PATNAIK, U. S. **Soil aggregation, carbon build up and root zone soil moisture in degraded sloping lands under selected agroforestry based rehabilitation systems in eastern India**. *Agricultural Ecosystem Environment*, v. 150, p. 54-62, 2012.

LIN, C.; COLEMAN, N. T. **The measurement of exchangeable aluminium in soil and clays**. *Soil Science Society of America Proceedings*, v. 29, p. 374-378, 1965.

LIMA, H. V de; SILVA, A. P. de; ROMERO, R. E.; JACOMINE, P. K. T. **Comportamento físico de um Argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v. 29 n.1. pág. 33- 40jan/fev. 2005(a).

MAIA, M. A. M; MARMOS, J. L. **Geodiversidade do estado do Amazonas** / Organização Maria Adelaide Mansini Maia [e] José Luiz Marmos. — Manaus : CPRM, 2010. 275 p.

MARBUTT, C. F., MANIFOLD, C. B. **The soils of the Amazon basin in relation to their agricultural assistential**. *Geographical Review*, n. 16, p. 414-442, 1926.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub>**. Raleigh: North Carolina Soil Testing Division, 1953, 195 p.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. DE. **Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 1039 1050, 2006.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. **Avaliação da Qualidade de Solos sob Diferentes Coberturas Florestais e de Pastagem no sul de Minas Gerais**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.

NEVES JÚNIOR, A. F. **Qualidade Física de solos com Horizonte Antrópicos (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central.** Piracicaba – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, 2008. 93p. (Tese de Doutorado).

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** Ciência Ambiental, v. 27, p. 29-48, 2003.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. **Compactação do solo: causas e efeitos.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010, 26 p.

RODRIGUES, T. E. **Solos da Amazônia.** In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: SBCS/UFV, p. 19-60, 1995.

SALIMON, C.I. **Respiração do Solo Sob Florestas e Pastagens na Amazônia Sul-Ocidental, Acre.** Piracicaba, 2003. 97p. (Tese de Doutorado)

SALIMON, C.I.; WADT, P.G.S.; MELO, A.W.F.; **Dinâmica do Carbono na Conversão de Florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudeste da Amazônia.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.

SANTANA, M. B.; SILVA SOUZA, L. da; DUARTE SOUZA, L.; FONTES, L. E. F. **Atributos Físicos do Solo e Distribuição do Sistema Radicular de Citros como Indicadores de Horizontes Coesos em Dois Solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, p. 1-12, 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 531.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J.; ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013b. 100 p.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. **Sistemas de Cultivo e Características do Solo Afetando a Estabilidade de Agregados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 22, p. 311-317, 1998.

SOUZA, M. I. L. **Qualidade Físico-Hídrica de um Argissolo Vermelho Amarelo sob Agroecossistema e Floresta Natural em Roraima.** Boa Vista – Universidade Federal de Roraima, 2010, 91 p (Dissertação de Mestrado).

SOUZA NETO, E. L. D.; ANDRIOLI, I.; ALMEIDA, R. G. D.; MACEDO, M. C. M.; LAL, R. **Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, p. 608-618, 2014.

SEADI. Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) - **Diagnóstico dos Recursos Naturais / Alexandre Almir Ferreira Rivas**. Boa Vista-RR: Editor Técnico Instituto PIATAM. Governo do Estado de Roraima, 2022, 1.143 f.

TYNER, E. H. **The use of sodium metaphosphate for mechanical analysis of soils**. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 4, p. 106 - 113, 1963.

TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; BERGAMIN, A. C.; SOUZA, L. C. F. D. **Physical properties and particle-size fractions of soil organic matter in crop-livestock integration**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 1299-1310, 2012.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and waterstable aggregates in soil**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 33, n.2, p. 141-163, 1982.

UHLAND, R. E. **Rapid method for determining soil moisture**. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 15 p. 391-393, 1951.

VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos Sob Savanas de Roraima: gêneses, classificação e relação e relações ambientais**. Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010. 219p.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. **An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method**. Soil science, v. 37, p. 29 38, 1934.

WESTERHOF, R.; BUURMAN, P.; van GRIETHUYSEN, C.; AYARZA, M.; VILELA, L.; ZECH, W. **Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil**. Geoderma, v. 90, p. 277-290, 1999.

## **Regina Negri Pagani**

Bolsista Produtividade PQ2 - CNPq, é docente permanente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da UTFPR, Paraná; vice-líder do Grupo de Pesquisa Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT), e pesquisadora colaboradora associada na Unidade de Investigação Governança, Competitividade e Políticas Públicas (GOVCOPP) no grupo de Competitividade, Inovação e Sustentabilidade (CIS) da Universidade de Aveiro, Portugal. Desenvolvedora da metodologia de revisão sistemática de literatura, Methodi Ordinatio, é Doutora em Engenharia de Produção (UTFPR) com período sanduíche na Université de Technologie de Compiègne - Sorbonne Universités; Mestre em Engenharia de Produção (UTFPR); Especialista em Gestão Industrial (CEFET); Bacharel em Administração de Empresas (UEM); proficiente na Língua Inglesa pela Universidade de Miami (EUA). Foi professora colaboradora na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), professora visitante na Université de Technologie de Troyes (UTT), França. Seus interesse de pesquisa são Transferência de Tecnologia e Cidades Inteligentes com temas correlatos em Desenvolvimento Sustentável e Gestão da Inovação e Tecnologia.

# A

acessibilidade 90, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119,  
120, 121, 122, 123, 124, 125  
amarelos 147  
amazônicos 147, 148  
argissolos 147  
avanços 12, 13, 17, 21, 24, 76, 95

# B

biodeterioração 127, 139, 144  
biofilme 127, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145  
brasileira 29, 42, 43, 46, 47, 49, 54, 58, 60  
brasileiras 28, 29, 43, 47

# C

características 15, 33, 95, 129, 139, 142, 147, 148,  
149, 152, 153, 155, 156, 157, 160, 161  
cidade 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90,  
91, 92, 93, 94, 95, 96  
cidades 19, 21, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88,  
89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102,  
104, 105, 106, 107, 108, 109  
cinemática 65, 66, 67, 71, 73, 76  
concreto 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135,  
136, 139, 143, 144, 145, 146  
corrosão 127, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136,  
137, 138, 139, 140, 143, 144, 145, 146

# D

deficiência 87, 95, 112, 113, 115, 117, 118, 119, 120,  
122, 123, 124, 125, 126  
desigualdade 79, 80, 84, 86, 87, 88, 92, 96  
direito 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90,  
91, 92, 94, 95, 96  
direitos 80, 85, 87, 88, 89, 91, 95, 99, 100, 104, 107,

108, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122,  
123, 124, 126  
distribuída 23, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56,  
58, 60, 61, 62

## E

ecossistemas 147, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 160  
elétrico 12, 13, 14, 24, 33, 34, 36, 46, 47, 49, 50, 51,  
54, 57, 58, 59, 60, 61, 62  
energética 20, 21, 23, 24, 29, 37, 42, 43, 46, 47, 48,  
49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 60, 61, 62  
energia 12, 13, 14, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,  
30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45,  
46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59,  
60, 61, 62, 63, 64  
estatuto 97  
exclusão 79, 80, 81, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 91, 92, 93,  
96  
expansão 12, 14, 20, 21, 23, 24, 31, 45, 47, 53, 58,  
82, 88, 102, 136, 148

## F

financeiros 28, 29, 38, 41, 42, 43  
fotovoltaica 20, 28, 29, 30, 36, 40, 43, 44, 45, 46, 47,  
49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60, 61, 63  
fotovoltaico 28, 34, 35, 36, 37, 38, 42, 43, 44, 55, 56,  
57, 61, 64  
fundamentais 53, 61, 73, 80, 87, 95, 96, 107, 108,  
112, 113, 115, 116, 119, 120, 121, 122, 124, 126

## G

geração 12, 15, 20, 23, 29, 31, 36, 37, 41, 42, 46, 47,  
48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62,  
64

# I

inclusão 80, 85, 88, 89, 90, 91, 93, 98, 100, 102, 108, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126  
indicadores 28, 29, 41, 42, 43  
inteligentes 18, 19, 50, 89, 90, 95, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 122, 123, 124, 125, 126

# M

matriz 20, 29, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 58, 59, 60, 61  
médias 82, 83, 85, 87, 90, 92, 93, 94, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107  
mercado 12, 14, 17, 23, 82, 84, 86, 88, 94, 103, 109, 117, 122  
metabolismo 127  
microbiano 127, 141  
modelagem 65, 67, 69, 73

# P

participativo 83, 84, 89, 93, 97, 98, 105, 108  
pessoa 31, 79, 84, 93, 98, 107, 108, 112, 113, 114, 116, 117, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126  
planejamento 38, 55, 61, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 96

# R

regional 79, 80, 82, 83, 84, 88, 92  
residências 28, 29, 30, 31, 32, 33, 42, 43, 48, 55, 58, 62  
robótica 18, 65, 66, 73

# S

- setor 12, 13, 14, 24, 45, 47, 50, 52, 53, 55, 58, 59, 60, 62
- sistema 12, 14, 24, 28, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 67, 69, 87, 114, 128, 129, 156, 158, 159
- social 30, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 96
- solar 23, 28, 29, 30, 31, 35, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64
- solo 56, 86, 91, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 147, 148, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 163
- sustentabilidade 23, 24, 29, 30, 43, 46, 47, 49, 54, 58, 60, 62, 79, 83, 90, 91, 92, 93, 97, 98, 99, 102, 103, 104, 105

# T

- tecnologia 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 24, 25, 27, 29, 42, 43, 46, 47, 49, 56, 66, 114, 115, 116, 119, 123, 125, 126
- tecnológico 12, 24, 115
- tecnológicos 12, 17, 21, 76, 124, 144
- transformação 27, 47, 50, 61, 65, 68, 69, 70, 71, 72

# U

- urbana 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 111
- urbanização 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 95, 96
- urbano 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96





**AYA EDITORA**  
**2025**

