


**APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE SELF HEALING NO CENÁRIO ELÉTRICO  
BRASILEIRO (REVIEW)**

**APPLICATION OF SELF-HEALING SYSTEMS IN THE BRAZILIAN  
ELECTRICAL SCENARIO (REVIEW)**

**APLICACIÓN DE SISTEMAS DE AUTORREPARACIÓN EN EL ESCENARIO  
ELÉCTRICO BRASILEÑO (REVIEW)**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-195>

**Data de submissão:** 17/10/2025

**Data de publicação:** 17/11/2025

**Nikolas Ramos Bernardes**

Graduado

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: nikolas.r.bernardes@unesp.br

**Matheus Barbosa de Santana**

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: matheus.b.santana@unesp.br

**Muriel Ramos de Oliveira**

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: muriel.r.oliveira@unesp.br

**Carlos Toshiyuki Hiranobe**

Doutor

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: carlos.hiranobe@unesp.br

**Flávio Camargo Cabrera**

Doutor

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: fc.cabrera@unesp.br

**Enzo Nozaki Cardoso**

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: nozaki.cardoso@unesp.br

**Renivaldo José dos Santos**

Doutor

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: renivaldo.santos@unesp.br

**Vicente Teixeira Bonelli**

Graduado

Instituição: Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: vicente.bonelli@goatinnovation.com.br

**José Francisco Resende da Silva**

Doutor

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: jose.resende@unesp.br

## RESUMO

Com o aumento da demanda elétrica mundial, presenciada nos últimos anos, o setor elétrico vem sofrendo mudanças significativas na sua estrutura e na sua operação, principalmente com aspectos que envolvam a automação e otimização de processos dentro do setor, de forma que aumentem a qualidade e a segurança de entrega de energia elétrica do sistema. Desta necessidade a aplicação do conceito de Smart Grids ganha importância dentro deste contexto, com projetos e pesquisas de implementações de medidas inteligentes que possam melhorar a operação do sistema elétrico. Um dos métodos utilizados em projetos de smart grid é o Self-healing, que se baseia em um método que amplia a capacidade da rede de energia detectar e remediar falhas e erros automaticamente, sem a necessidade de interferência humana, com a utilização de equipamentos interconectados dentro do sistema que se comunicam, como no caso dos sensores IOT (Internet das Coisas), esse tipo de método aumenta a confiabilidade do sistema evitando diversas adversidades. No setor elétrico brasileiro, a implementação de conceitos de smart grid e implementações de self-healing ainda estão em fase inicial, com principalmente financiamentos de P&Ds (Pesquisa e Desenvolvimento) que estudam a inserção de componentes inteligentes e estudam sua relação com a melhoria na operação.

**Palavras-chave:** Smart Grid. Self-healing. Setor Elétrico Brasileiro.

## ABSTRACT

With the increase in global electricity demand witnessed in recent years, the electricity sector has undergone significant changes in its structure and operation, mainly with aspects involving the automation and optimization of processes within the sector, in order to increase the quality and security of electricity delivery in the system. This need highlights the importance of the Smart Grid concept, with projects and research into the implementation of intelligent measures that can improve the operation of the electrical system. One of the methods used in smart grid projects is Self-healing, which is based on a method that expands the capacity of the power grid to detect and remedy faults and errors automatically, without the need for human intervention, using interconnected equipment within the system that communicate, such as IoT (Internet of Things) sensors. This type of method increases the reliability of the system, avoiding various adversities. In the Brazilian electricity sector, the implementation of smart grid concepts and self-healing systems is still in its initial phase, primarily funded by R&D (Research and Development) projects studying the integration of intelligent components and their relationship to operational improvements.

**Keywords:** Smart Grid. Self-healing. Brazilian Electricity Sector.

## RESUMEN

Ante el aumento de la demanda mundial de electricidad observado en los últimos años, el sector eléctrico ha experimentado cambios significativos en su estructura y operación, principalmente en aspectos relacionados con la automatización y optimización de procesos, con el fin de incrementar la

calidad y seguridad del suministro eléctrico. Esta necesidad resalta la importancia del concepto de Red Inteligente (Smart Grid), con proyectos e investigaciones para la implementación de medidas inteligentes que mejoren el funcionamiento del sistema eléctrico. Uno de los métodos empleados en los proyectos de redes inteligentes es la autorreparación, que se basa en un método que amplía la capacidad de la red eléctrica para detectar y corregir fallas y errores automáticamente, sin necesidad de intervención humana, mediante el uso de equipos interconectados que se comunican entre sí, como sensores IoT (Internet de las Cosas). Este método incrementa la confiabilidad del sistema, evitando diversas adversidades. En el sector eléctrico brasileño, la implementación de conceptos de redes inteligentes y sistemas de autorreparación se encuentra aún en su fase inicial, financiada principalmente por proyectos de I+D (Investigación y Desarrollo) que estudian la integración de componentes inteligentes y su relación con las mejoras operativas.

**Palabras clave:** Smart Grid. Self-healing. Sector Eléctrico Brasileño.

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica aplicada aparece pela primeira vez na história no ano de 1837 no setor de comunicações, com o telégrafo e o telefone elétrico, alguns anos depois, em 1882, Thomas Edison constrói as primeiras usinas geradoras de corrente elétrica contínua, as quais alimentaram os sistemas de iluminação elétricos do período, quatro anos depois, George Westinghouse faz a primeira transmissão de corrente alternada, essas pesquisas abriram as portas para a disseminação da energia elétrica, hoje presente nas casas de 91% do globo e 99% dos lares Brasileiros [1].

O desenvolvimento da energia elétrica representa o desejo humano por melhor qualidade de vida, ela que disponibiliza hoje a cozinhar e preservar os alimentos, carregar os equipamentos elétricos domésticos que substituem o trabalho manual, abastece equipamento que controlam a temperatura e umidade como o ar-condicionado, movimenta as indústrias de produção em massa, torna o dia mais longo ao iluminar a noite, dentre outros.

Para a geração da energia elétrica foram elaboradas diversas técnicas, sendo as mais conhecidas a geração hidrelétrica, termelétrica, eólica, solar, nuclear, por biomassa, maremotriz e geotérmica, todas se baseiam no princípio da conservação de energia, lei da física essa que dita que formas de energia diferentes podem ser transformadas em outras, como o calor produzido da queima de combustíveis fósseis em uma caldeira pode ser transfigurado em energia elétrica, para então eletrizar um aparelho e esse por mais um processo de conversão, liberar energia na forma de som.

Todas as formas de geração pressupõem do mesmo princípio e com o mesmo fim, no entanto tão importante quanto a geração estão as fases de transmissão e distribuição, sendo essas duas últimas amplamente pesquisadas na modernidade para o aprimoramento da rede elétrica, ou seja, no desenvolvimento de linhas de transmissão com menores perdas, redes automatizadas que identificam furtos, melhores tecnologias para evitar apagões e possíveis danos à rede, e ainda, unindo todos os exemplos anteriores, a auto regeneração da rede.

Uma área tecnológica que está se expandindo vagarosamente, usada para o desenvolvimento das redes elétricas, é a das *smart grids*, termo originário do inglês traduzido como redes inteligentes, essa classe de tecnologia engloba uma grande diversidade de capacidades, partindo de sensores e controladores de rede para até equipamentos com habilidade de tomada de decisões para desligamentos ou desvio da rede elétrica.

De acordo com DA SILVA (2018, Yan (2013) e Xi (2012)), “rede inteligente” se refere a um avanço geracional na rede elétrica, nela os setores de transmissão, distribuição e medição da energia elétrica recebem avanços em segurança, confiabilidade, eficiência, monitoramento e um melhor

controle, por meio de avançados sistemas computacionais e sistemas de comunicações bidirecionais entre concessionárias e consumidores.

Todas as áreas de ação humana envolvem energia elétrica hoje, o que gera certa dependência como nos equipamentos hospitalares, carros elétricos para transporte, e indústrias com equipamentos elétricos, quedas na rede podem ocasionar a perda de trabalho, queima de equipamentos, complicações médicas, dentre outros, portanto minimizar quedas energéticas e acelerar o processo de recuperação da rede são essenciais. Diversas questões provocam os problemas mencionados, com os principais sendo equipamentos desatualizados para as necessidades, seja em capacidade ou proteção, e o fator humano, pode levar semanas até um problema ser reportado, uma equipe ser manejada para envio, uma análise da situação ser realizada e por fim a problemática ser solucionada. Uma forma de acelerar esse processo é a automação com sensores inteligentes e equipamentos capazes de decisões.

Uma pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) afirma que as *smart grids* tornam os serviços ligados a venda de energia elétrica mais eficientes por menores custos, melhorando a consciência sobre a rede elétrica por meio de uma detecção mais benéfica, capaz de responder mais eficientemente à possíveis problemas, além de um consumo mais controlado, maiores automações e dinamicidade dos protocolos de operação [5]. Já a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) por meio de uma análise técnica anunciou que o investimento inicial para instalação e uso das redes inteligentes seria compensado pela resolução das perdas técnicas e comerciais [6].

O conceito de self-healing é relativamente simples, apesar de ser composto de complexas tecnologias, self-healing em tradução livre pode ser compreendida como regeneração independente ou auto recuperação das redes de distribuição, concepção de uma rede elétrica que se autorrecupere com menor ou sem ação humana [7].

A utilização do self-healing tem sua validade em dois pontos principais, o primeiro é aplicável para o comportamento comum da rede, no caso, o self-healing é uma ferramenta para otimizar operações na rede e eliminar problemas ocultos. Sua outra justificativa consiste em se recuperar de uma queda/falha na rede elétrica o mais rápido possível, com possibilidade de ação sobre problemas internos e externos, para isso diversas decisões podem ser tomadas como minimizar a área afetada, desconectar da rede principal a área da rede com problemas, e redirecionar um sistema danificado, e conseqüentemente desconectado, a utilizar de energia produzida autonomamente da fornecedora ou da carga de baterias [8].

A regeneração independente de uma rede self-healing se constitui da automação da rede elétrica, isso ocorre por meio de diversos sensores, os quais compartilham dados via banda larga de

fibra ótica com microprocessadores dispersos por toda a estrutura elétrica, os quais utilizam do sistema de operação SCADA (Supervisory control and data acquisition) e métodos de aplicação como os baseados em inteligência artificial, equipamento distribuídos e híbridos. Os microprocessadores são conectados a religadores e chaves seccionadoras, controlando assim a passagem de corrente elétrica, com todos os componentes, subestações e subsistemas conectados a eles, a percepção e resolução de falhas é acelerada e se torna mais confiável. Dessa forma os componentes se tornam agentes inteligentes independentes, capazes de competição e cooperação para uma melhor otimização e eficiência da rede elétrica [7, 9, 10].

## **2 METODOLOGIA**

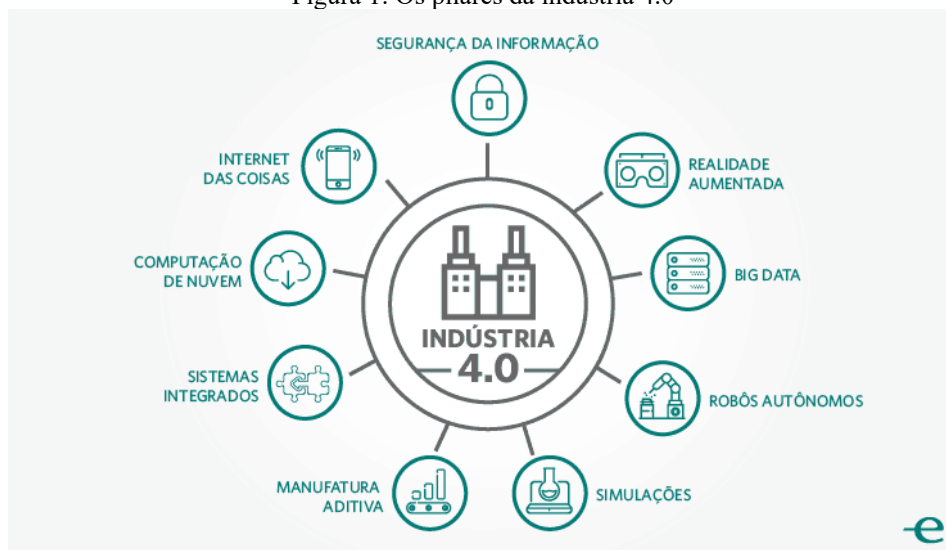
Para ser desenvolvido o estudo foi adotada uma metodologia disposta em duas etapas; na primeira etapa foram adotadas as informações dispostas na literatura para que se tenha uma compreensão mais ampla do tema entendendo melhor as aplicações dos conceitos de Self-Healing dentro dos conceitos de Smart Grids. Para a segunda etapa da metodologia com os conceitos dispostos na literatura será realizada uma análise que visa identificar pontos de falhas da rede de distribuição no sistema elétrico brasileiro, e entender se tais pontos podem ser contornados, sanados ou evitados com as aplicações de conceitos de Self-Healing.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 INDÚSTRIA 4.0**

A indústria 4.0 surge com a proposta da utilização de ferramentas que se conectem com a internet de forma que um equipamento “converse” com outro, dinamizando a produção e aumentando a eficiência de processos. Com as novas demandas, criando novas necessidades que deflagram novos processos e requisitos, dentro do contexto de interligação e conexão de todos os setores [11], o advento dessa transformação digital demonstra sua significância [12]. Com a aplicação de conceitos e ferramentas da indústria 4.0 é possível a execução de processos com monitoramento em tempo real, sistemas autônomos e autoajustáveis, e diversas outras aplicações, proveniente da utilização dos “pilares da indústria 4.0” dispostos na figura abaixo [13].

Figura 1: Os pilares da indústria 4.0



Fonte: Autoria de LWT Sistemas [14]

Os pilares da indústria 4.0 podem estar descritos como [13,15,16,17]:

**Segurança da Informação:** Níveis altos de segurança para os meios de comunicação de forma que se tornem mais confiáveis;

**Internet das Coisas (IoT):** São sistemas que são operados por sensores ligados a internet relacionando serviços, processos, setores com pessoas, de forma mais integrada através da internet, trazendo uma automação para a atividade elaborada e uma acuracidade maior nos dados coletados, além de automaticamente identificarem possíveis falhas e panes no sistema;

**Computação em Nuvem:** Disposições de bases de dados que não estão disponíveis em um ponto físico, mas na internet, otimizando a operação das tecnologias da informação e comunicação (TICs), resultando em mais acessibilidade de automação dentro de uma empresa;

**Sistemas integrados:** Na atualidade muitos sistemas não são interligados, o que dificulta a operacionalização de determinados setores, por não haver um link entre um ponto e outro, dentro do cenário de indústria 4.0, este tópico dispõe sobre a conexão entre os subgrupos do sistema de forma de dinamizar a coleta de dados e a obtenção de resultados;

**Manufatura Aditiva:** Trata-se de um modelo de produção envolvendo as questões de impressões 3D, que geram uma metodologia de produção de produtos exclusivos para os clientes, com tecnologia de executar produtos complexos com alta performance e reduzindo os custos;

**Simulações:** As simulações em 2D e 3D são utilizadas para o entendimento do desenvolvimento do produto, sendo uma ferramenta que pode auxiliar na melhoria do desempenho e na identificação de problemas em produtos, antes de serem produzidos fisicamente. A simulação de



peças ou processos, mapeiam o produto final de forma mais dinâmica e trazem uma redução de custos e de tempo, já que com os testes, o número de protótipos físicos será menor [18].

**Robôs Autônomos:** São ferramentas capazes de resolver problemas complexos e divulgar seus resultados na rede. Sua utilização é marcada pelo conceito de interação homem-computador (IHC) através de interfaces que relacionam as necessidades de resolução propostas pelo lado humano, com a resolução do problema por parte do robô [19].

**Big Data:** trata-se de um termo associado a um processamento de um conjunto de dados muito massivo, que auxiliam na criação de um overview e de análises de processos e mercado para tomada de decisões das empresas [20].

**Realidade Aumentada:** Ferramenta que permite uma experiência entre mundo virtual e os usuários, simulando um ambiente real e realizando algumas funções para aumentar a imersão das pessoas.

Dentro deste conceito, são mencionados os Cyber Physical Systems (CPS), se tratando de dispositivos que possuem uma integração computacional e uma operação física de forma que, um dispositivo, pode interagir com outro, enviando sinais, o que promove eficácia maior na realização das funções. Segundo Baheti (2011), com o estudo e aprimoramento dos CPS, podem ser modelados designs e projetos futuros, com um potencial de acuracidade mais próximo com as tendências atuais. Além de aplicações em aeronaves, gestão de tráfego e redes de energia, sendo a última utilizada com a presença de CPSs através de conectores bidirecionais, com funcionamento dinâmico entre os componentes [21,22].

Com os avanços tecnológicos decorrentes desta nova revolução industrial, associado com as crescentes preocupações ambientais alinhadas com as pautas da agenda ONU 2030 e seus 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) [23], surgem as preocupações do desenvolvimento de um ambiente que alinhasse fatores da indústria 4.0, com sustentabilidade e qualidade de vida, sendo então comentado o conceito de *Smart City* descrito por Alves, Dias e Seixas (2019), como:

“As ‘smart cities’ definem-se como cidades que criam as condições de governança, infraestruturas e tecnologia para produzir inovação social capaz de resolver problemas de crescimento, inclusão, sustentabilidade ambiental e qualidade de vida, através da escuta e do envolvimento dos vários atores locais: cidadãos, governos, universidades, empresas e associações.” [25]

### 3.2 SMART CITIES

As relações criadas entre o desenvolvimento tecnológico e as preocupações ambientais geraram um cenário para o aprimoramento de um projeto amplo de ampliação das cidades, que



envolvesse questões como sustentabilidade, mobilidade urbana, governança e qualidade de vida, envolvidos com ferramentas de alta tecnologia [25].

### 3.2.1 Novos paradigmas econômicos

Com a recente crise econômica mundial decorrente do COVID-19 alguns países intensificaram os investimentos em setores de tecnologia, para evitar uma segunda crise. A China e o Estados Unidos, por exemplo, criaram planos econômicos de investimentos em projetos que envolvem melhorias tecnológicas que resultem uma maior independência do setor industrial, como investimento em áreas da robótica.[26] A China, já possuía uma característica de investimento pesado nesse setor, alcançando em 2016 a venda de mais de 80.000 peças, atingindo o marco de 30% do mercado global [27], como pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 1: Vendas anuais de robôs na China e no Mundo

<i>Year</i>	<i>World (1,000 units)</i>	<i>China (1,000 units)</i>	<i>China's share in the world (%)</i>
1995	69.3	0.0	0.0
2000	98.7	0.4	0.4
2005	120.1	4.5	3.7
2010	120.6	15.0	12.4
2011	166.0	22.6	13.6
2012	159.3	23.0	14.4
2013	178.1	36.6	20.5
2014	220.6	57.1	25.9
2015	253.7	68.6	27.0
2016	294.3	87.0	29.6

Fonte: Hong Chen et al. [27]

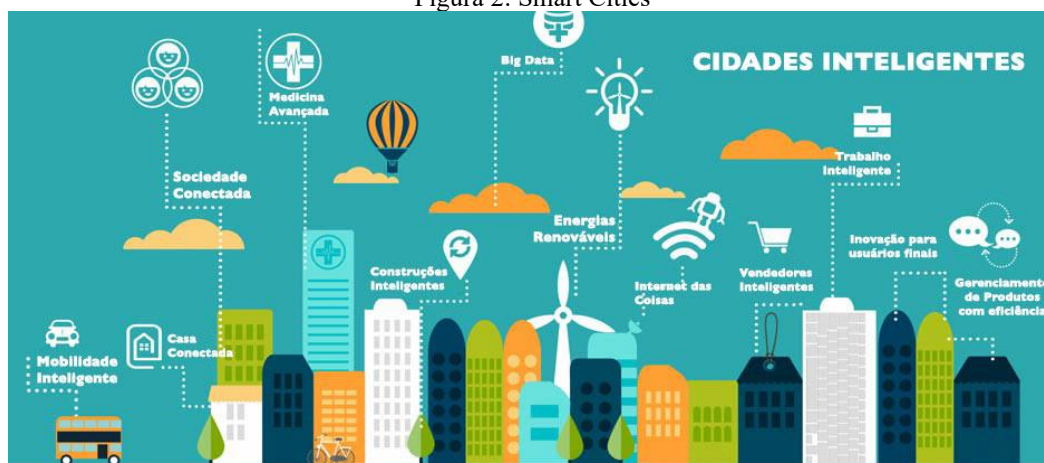
De forma semelhante o Brasil após a pandemia observou a necessidade de uma autonomia industrial em alguns setores críticos como o setor de energia, ressaltando também a preocupação com as mudanças climáticas atuais, sendo necessário um plano de transformação estrutural sustentável, com uma mudança da ação estatal, com fortes incentivos nas áreas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) [28]. Fato esse que vem ganhando seu mérito gradativo no país, já que incentiva o desenvolvimento de inovações que favorecem o avanço tecnológico do mercado, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) possui editais e fortes incentivos nas áreas de pesquisa, com paulatinos avanços regulatórios de acordo com as necessidades do mercado, como recentemente com a Portaria da ANEEL nº 110 de 2024 com alterações nas estruturas de credenciamento de P&Ds [29,30].

Este horizonte gera um potencial ambiente para investimentos em projetos de smart cities.

### 3.2.2 A implementação de projetos de Smart Cities

Smart Cities são conceitos que envolvem as ferramentas de indústria 4.0, sendo aplicadas em um grande projeto de pretensão de solução dos principais problemas observados em cidades atuais. De acordo com a ONU, no ano de 2030, por volta de dois terços da população mundial estarão alocadas em áreas urbanas [31]. O que cria uma necessidade de ampliação dos produtos e serviços oferecidos na cidade, além do aumento da qualidade de vida da população. Para a construção de uma cidade inteligente é necessário que os setores sejam interligados através da internet, desta forma aspectos de energia se relacionam com saúde, infraestrutura, comunicação, aplicando o pilar de integração de sistemas da indústria 4.0. A figura abaixo apresenta um ponto os pontos de interconexão em uma cidade inteligente:

Figura 2: Smart Cities



Fonte: Gabriel Paula Soares Gomes de Souza [32]

Segundo Cohen (2015) o conceito de Smart Cities é dividido em três estágios de acordo com o grau de avanço de medidas inteligentes dentro dos setores da cidade [25,33]:

**Smart City 1.0 (Technology Driven):** Focada na construção e usos das TICs, ocorrendo por parte muitas vezes das empresas, a International Business Machines (IBM) direciona seus investimentos no desenvolvimento de TICs para inserção destas no mercado, são medidas que auxiliam a entrada de equipamentos da revolução digital rapidamente nos produtos e serviços. O projeto “PlanIT Valley” [34] surge com essa proposta, através de um planejamento de iniciativa privada de transformação da cidade de Porto em Portugal em uma Cidade Inteligente, utilizando um software da companhia “Living PlanIT” para criar um modelo de cidade planejada, utilizando o “Urban Operating System” (UOS) para a criação do planejamento da cidade.

**Smart City 2.0 (Technology Enabled, City-Led):** Nesta fase as ferramentas inteligentes já começam a serem aplicadas em situações e áreas mais abrangentes, com uma influência maior das

instituições públicas. A IBM desenvolveu um projeto com o uso de sensores inteligentes para detecção de deslizamentos de terra em favelas no Rio de Janeiro. Cidades com um forte número de projetos que se encontram neste estágio são Viena e Barcelona, sendo a segunda responsáveis por mais de cem projetos envolvendo cidades inteligentes [33].

**Smart City 3.0 (Citizen Co-creation):** Com esta etapa os cidadãos assumem um papel de participação maior e conscientemente se posicionam com os pontos centrais com os projetos de inovação e de melhoria de qualidade de vida na cidade [25].

Com o investimento em projetos desta natureza uma cidade pode passar de um estágio para o outro, deste conceito surge a ISO 37122:2019 aborda e define normas e diretrizes sobre indicadores métricos de desempenho em cidades inteligentes, como melhorias na qualidade de vida, infraestrutura urbana, aspectos ambientais e implantação de TICs [35]. Um ponto que deve ser destacado é que existem diferentes indicadores que podem ser adotados no processo de planejamento da cidade, Para Cunha (2016) os pontos críticos que definem uma smart city estão centrados em: Saúde, Segurança e Educação [36]. Já para Tezza em sua pesquisa da “Análise de indicadores para cidades inteligentes” de 2024 apontou que não existia um indicador chave presentes em seis dimensões de classificação de acordo com 35 artigos analisados [37], que podem ser observados na tabela abaixo:

Tabela 2: Dimensões exploradas

Dimensão	Conceito
Mobilidade inteligente	Implementação da sustentabilidade e acessibilidade na mobilidade urbana, utilizando tecnologias como sistemas integrados.
Economia inteligente	Uma economia voltada para o espírito inovador e empreendedorismo.
População inteligente	População qualificada, criativa e participativa nas decisões públicas.
Sustentabilidade inteligente	Investimentos em proteção ambiental, gestão sustentável de recursos municipais e poluição mínima.
Governança inteligente	Participação nas decisões públicas, oferta de serviços sociais e governança transparente.
Vida inteligente	Qualidade de vida com segurança, cultura, moradia, coesão social e saúde para a população.

Fonte: Editado de Rafael Tezza e colaboradores [37]

Dessa forma, sem uma metodologia clara definida os países acabam investindo de forma a suprir suas necessidades locais, de modo que projetos de smart city podem ser encontrados em crescimento no mundo todo.

Na Europa em 2010 a União Europeia lançou o Plano estratégico chamado de “European Initiative on Smart Cities” destinando focos de atuação relacionados à produção de energia com foco em renováveis, transportes e edifícios. A Alemanha desenvolveu o plano estratégico “Smart City Berlin” definindo critérios de expansão urbana com definições de estudos de implementação de TICs nos setores de serviços da cidade, com fortes influências de investimentos na automação do setor elétrico [38]. Países como China, Holanda, Itália, Grécia, Suécia e Espanha também definiram fortes diretrizes nos ramos do setor elétrico [39,40].

Em Portugal, além do desenvolvimento do projeto PlanIT Valley, diversas cidades apresentam projetos em andamento como forma de redução dos custos de serviços do sistema elétrico como nas cidades de Matosinhos com a implantação de sistemas de gestão ambiental em tempo real, ou na cidade de Cascais com o projeto de gestão de resíduos. Além disso, entre 2016 e 2017 foi registrado um crescimento de 0,85% do fornecimento de energia elétrica para os consumidores, decorrentes do aumento do uso de veículos elétricos (VEs) [25,36,41].

O país tem forte investimento em projetos individuais em municípios isolados, mas possui um projeto mais amplo associado ao incentivo do uso de VEs o Mobi.E, com veículos podendo chegar a até 21 anos de vida, tendo isenções em algumas cobranças de uso, o que cria um ambiente mais favorável para compra, bem como negociações com os fornecedores e com possibilidades de investimentos em placas fotovoltaicas, podendo estarem na modalidade off-grid [41].

Na Índia os planos de implantação da primeira cidade totalmente integrada e ligada com a operacionalização de TICs em Lavazza, são estudados a pouco mais de 10 anos, segundo a pesquisa de Ramaswamy, ainda existem grandes passos a serem dados para conectar os sistemas 4.0 isolados na cidade [42].

Uma pesquisa realizada em 2019 por Kadiri Kabir e colaboradores, decorre sobre a intenção da Nigéria de atender a população através de planos que envolvam implementações de projetos smart, com a construção de grandes centros com alta tecnologia e com serviços de qualidade. No entanto segundo o mesmo grupo de pesquisadores, apesar da meta traçada o país ainda se encontra distante de uma incorporação de projetos assim mediante ao suprimento de serviços básicos para grande parte da população e para contornar essa situação seria necessária uma ampliação na interligação no ramo político, com definições de planos que fossem seguidos por agentes do estado de todos os pontos da pirâmide política [43].

No caso do Brasil o grande foco de smart cities estão em setores nichados, como o setor de energia elétrica. Um grande ponto que tem favorecido o desenvolvimento de projetos para cidades inteligentes são os avanços de projetos de iniciativa privada de implantação de TICs muitas das vezes,

como com câmeras de reconhecimento facial, uso de drones em determinados processos. Cidades como o Rio de Janeiro, Curitiba e São Paulo, são destaque em projetos smart, desenvolvidos por Parcerias Público-Privada (PPP) [25,45,46].

Segundo Reia e Cruz (2023) os principais “players” desse sistema são [46]:

**Setor Privado:** Através de projetos que busquem a implementação de TICs no dia a dia da cidade, empresas como a IBM e Engie investem nesse setor;

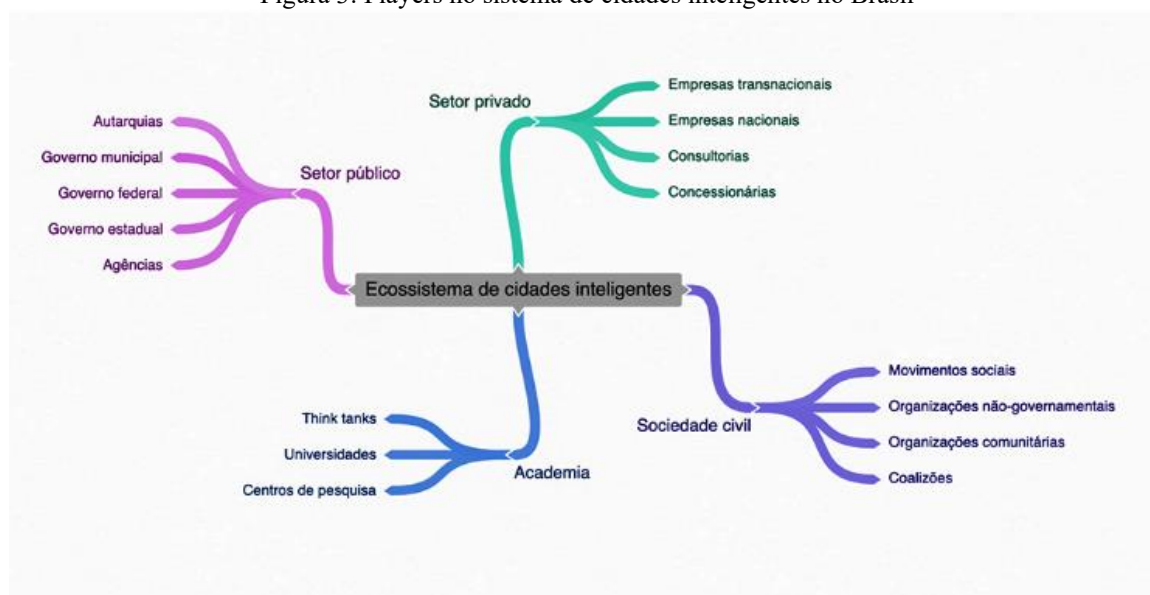
**Setor Público:** Com o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a inserção desses projetos e para a gestão de todos os projetos e da cidade;

**Sociedade Civil:** Todas as organizações não governamentais sem fins lucrativos, como ONGs, movimentos sociais e outros, responsáveis pela divulgação e movimentação das necessidades da população;

**Acadêmia:** São as universidades e grupos de pesquisa, são peças muito importantes para o desenvolvimento de pesquisas com cunho inovador ou otimizador.

A figura 3 esquematiza sobre a disposição dos principais players dentro do setor de implantação de projetos smart em cidades.

Figura 3: Players no sistema de cidades inteligentes no Brasil



Fonte: Jess Reia e Luã Cruz [46]

Com a interconexão dessas áreas o crescimento deixaria de ser algo vertical que está associado aos projetos isolados como os observados no Brasil, Portugal, China e passa a ter um avanço horizontal, mais robusto estabelecendo ligações com os demais setores e serviços para o que se chama de Wired Cities como ocorre em Madrid [25,36].

### 3.2.3 Mobilidade urbana

De acordo com a ONU no Relatório Mundial das Cidades de 2022, cerca de duas a cada três pessoas estarão morando em cidades até 2050 [48]. Desse modo surge uma grande problemática de contingenciamento de recursos e complexidade de gestão de uma cidade. Como apontado em pesquisas como a pesquisa de Tezza (2024), ou apontado pela ISO 37122:2019 [37,35] um importante indicador que demonstra o quanto uma cidade é inteligente a respeito de sua mobilidade urbana. Dessa forma, a utilização de tecnologias 4.0 referentes a projetos smart auxiliam no controle e monitoramento da mobilidade urbana, com o que é conhecido como smart mobility, podendo promover diversos benefícios para contornar as problemáticas urbanas [49,50]. Uma das grandes problemáticas pontuadas em grandes centros urbanos está associada com a complexidade de logística referente ao tráfego de automóveis, Antunes, Romeiro e Sigrist (2017) concluem em seu trabalho que analise a qualidade de ônibus na cidade de Santos, apontando uma defasagem na qualidade, com falta de qualidade no atendimento, falta de comunicação e diversos outros fatores que comprometem a qualidade do serviço prestado. Essa pesquisa é só um reflexo de um problema de várias cidades [51].

Em Portugal a forma de contornar foi através do Mobi-e, com a criação de um cenário mais propício à implementação de VEs [25, 41]. No Brasil a preocupação com questões de mobilidade urbana vem crescendo gradualmente, com forte influência por parte de ações do governo, como Lei nº 14.849 incluindo o tema de mobilidade urbana nos estudos prévios de impacto de vizinhança [52], tanto com Lei nº 14.850 discorrendo a necessidade junto a Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) de definições de padrões de qualidade do ar que devem ser seguidos/alcançados [53].

Já para Moraes (2018), sua pesquisa com o título de "Algoritmo inteligente para geração de rotas em smart cities", discorrem da adoção de uma metodologia de aplicação que otimizam o sistema de tráfego das rotas em centros urbanos, através dos conceitos de machine learning diferentes trajetos em cenários diferentes, que eram simulados em três situações, sem congestionamento, com 50% de congestionamento nas vias e com 75% de congestionamento, utilizando como variáveis o tempo de viagem a distância que será percorrida e quantos semáforos vão ser pegos na viagem. A metodologia envolvia utilização do Multiobjective Evolutionary Algorithm (MOEA), onde com dados de entrada o sistema calculava uma melhor rota envolvendo não somente os aspectos de otimização simples mas de interesses de rotas, onde foram obtidos resultados mais eficientes que de aplicativos atuais, por lidar com múltiplos objetivos enquanto ocorria o processamento das informações [54]. Mas não somente nesta pesquisa existem pesquisas envolvendo as Redes Neurais Artificiais (RNA), aplicadas em mobilidade urbana, como o uso do modelo backpropagation em aplicações smart para melhorar as escolhas de rotas em sistemas IoT [55].

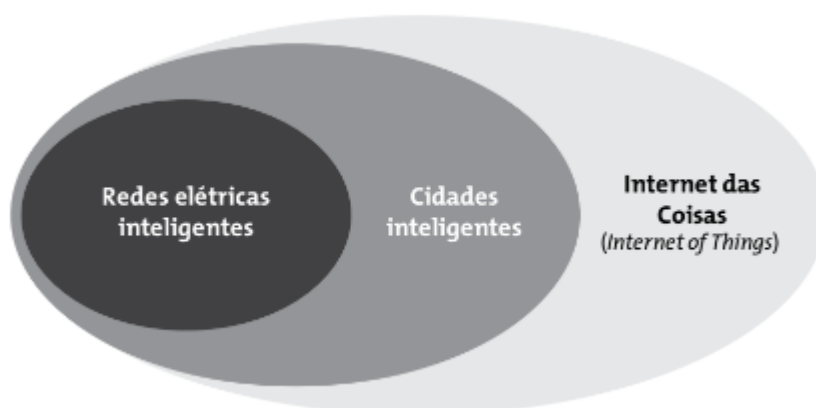


Entretanto, apesar do aumento de trabalhos e estudos neste setor, ainda são relativamente poucos e envolvendo mais situações causais de aplicações de smart mobility, do que grandes projetos de planejamento das cidades, que devem ser envolvidos com uma parceria dos interesses da população, setor público e privado [56,57].

### 3.2.4 Smart Grid

Smart Grid é um conceito definido que se enquadra dentro do conceito de Smart City, que pode ser definido como uma operacionalização de equipamentos IoT com planejamento urbano. Como representado na ilustração do BNDES [58]:

Figura 4: Das redes elétricas inteligentes à Internet das Coisas



Fonte: Ricardo Rivera e colaboradores [58]

Para Amin e Wollenberg (2005) o conceito de smart grid é uma vertente que ampliou o sistema de aplicação de redes de energia elétrica, de forma instantânea, sendo mais eficiente que com a utilização do sistema SCADA em pontos de controles centrais que tinham limitações de aplicações. Os dados passaram a ser controlados em tempo real, o que otimiza a operação da rede e facilitava a identificação de erros. A sub vertente conhecida como “Computing Grid” que mesclam poder computacional e energia elétrica, de forma que o ambiente de operação realiza emissões de sinais em cada componente oferecendo melhorias automáticas, o que barateia o custo e torna o sistema mais eficiente e confiável [59].

O contexto atual do setor elétrico demonstra indicadores antigos sendo trocados por novos indicadores chamados de “Drivers de Mudanças”. Para operacionalizar esses drivers são necessárias mudanças grandes dentro do paradigma de redes de energia, as redes convencionais são limitadas em questões de gestão, operação, manutenção e aspectos de qualidade referente ao fluxo de potência. A difusão de um novo paradigma com as smart grids, que amplificam a comunicação dentro do sistema

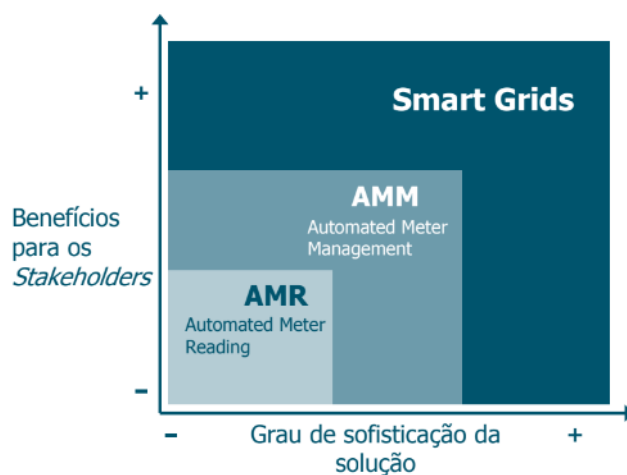


elétrico, não somente entre os colaboradores responsáveis, mas também de um equipamento com o outro, evitam cenários que não eram previstos no paradigma anterior e ampliam as capacidades de operação da rede. Seguindo parâmetros como [60]:

- Abordagem centrada ao consumidor: entendendo veementemente as principais carências e demandas dos consumidores;
- Abertura do mercado: com uma concorrência mais ampla, com negociações de tarifas e compra e venda de energia;
- Modelagem do tipo de consumo de cada agente do sistema;
- Aumento da seguridade do sistema: através da diversificação de fontes de geração, incluindo MMGD.

Com a aplicação dessas diretrizes o sistema teria uma operação muito mais centrada na qualidade e eficiência. As redes inteligentes desdobram-se em grandes avanços com a gestão de energia e gestão da rede, viabilizando mais e enxugando os gastos de Operação e Manutenção (O&M). Sobre um estudo mais aprofundado as redes podem ser divididas em três subgrupos dependendo da necessidade dos stakeholders e do grau de sofisticação dos métodos usados, representados na figura abaixo:

Figura 5: Relação de Benefícios X Grau de sofisticação



Fonte: Antônio Aires Messias [60]

**Smart Metering & Gestão Energética:** Estão associados a conceitos de implementação residencial, para o controle próprio de gastos energéticos e reduções de perdas, associados a AMR [61];

**Microprodução e geração distribuída:** Usam os conceitos de AMM, sendo uma forma de criar uma condição de abastecimento local proveniente de fontes renováveis;

**Smart Grid:** É o estágio mais avançado e sofisticado, envolve melhorias na qualidade da energia e eficiência do fornecimento, gestão e controle da rede.

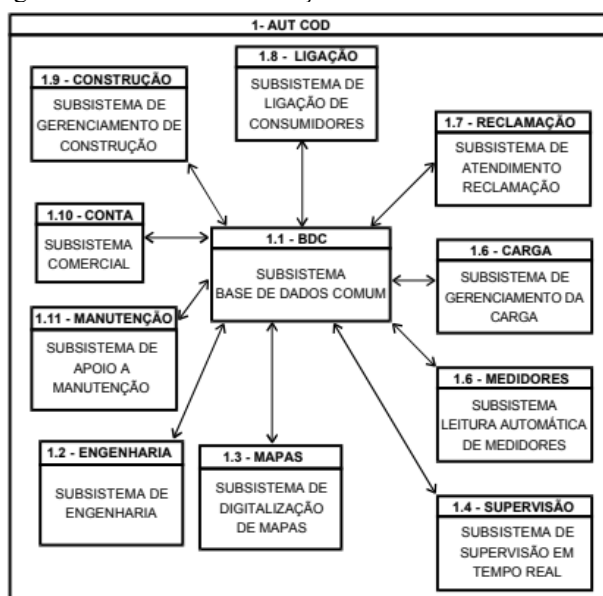
### 3.2.5 Smart Grid no Brasil

Por volta dos anos 2000 o Brasil passou por um processo de reestruturação do setor elétrico referentes às novas demandas vigentes. Para Jardini (1999) e Sauer (2002) as grandes mudanças do setor envolviam principalmente a abertura do mercado de energia, para entrada de novas empresas tanto para geração quanto para compra e venda de energia elétrica, que necessitava uma alteração da estrutura das redes e do setor [62,63].

Para Sauer, uma mudança de paradigmas do setor elétrico deve-se ter o apoio das empresas, universidades e dos projetos de P&D e entidades governamentais, e tudo isso pode ser alcançado através de um incentivo regulatório dentro deste setor [63].

Nesta época a proposta de reestruturação focou em uma forte automação das redes de distribuição (RDs) principalmente. Os sistemas de proteção, por exemplo, eram formados por relés mecânicos, que convertem energia elétrica em mecânica, sendo trocados por relés eletrônicos, que possuíam mais eficiência que enviavam sinais localmente para os disjuntores na identificação de uma anormalidade, de forma que o disjuntor abrisse o circuito resolvendo o problema. O sistema de informação de uma rede de distribuição (RD) era composto por onze subsectores que o formavam, com aspectos envolvendo desde estudos, a apontamentos de reclamações, gestão e operação, como mostra a figura da pesquisa de Jardini [62]:

Figura 6: Sistema de informação de RDs no Brasil em 1999



Fonte: José Antonio Jardini [62]

No contexto de Distribuição um dos grandes desafios vislumbrados em adversidades no setor são os contatos externos, com vegetação, que podem causar uma interrupção na rede, um dos métodos utilizados hoje são as redes de distribuição compactas, o grande problema destas redes convencionais é a necessidade de interferência humana quando este tipo de adversidades ocorre. Por volta dos anos 2000 uma implementação para contornar essa ocorrência eram as implantações de redes elétricas de distribuição no modelo compacto, no qual possuíam um revestimento de material que suportava um contato maior e favorecia a segurança de entrega de energia [64]. Essas novas necessidades exprimem uma vertente em desenvolvimento associada a otimização do sistema, como apresentado por Jardini (1999) com os aspectos de automação [62,65].

Sobre esse contexto os estudos de smart grid acabam sendo abordados como forma de implementação para criação de um sistema mais dinâmico de operar e com mais segurança nas entregas de energia. No Brasil, os projetos de Smart Grid são isolados e envolvem questões mais direcionadas à solução de um problema específico. Muitos projetos encontrados no Brasil estão vinculados com as questões de iluminação pública, com seus incentivos bem associados com o setor público como nas publicações das Resoluções Normativas (RENs) nº 414/2010; 479/2012 e 1.000/2021 estabelecendo critérios de operação de equipamentos e sistemas de iluminação pública, discutindo questões acerca das transferências dos ativos para as distribuidoras. Mas a responsabilidade de manutenção dos critérios fica a cargo dos órgãos públicos (Prefeitura, Governo do Estado) [25, 66, 67, 68].

Em um estudo publicado na Singeurb 2019 sobre a realização de um sistema de iluminação pública inteligente com o auxílio de sensores IoT demonstraram que o BNDES em 2017 estudava e apontava que tal medida era uma porta de entrada promissora para migrar para uma consolidação de projetos amplos de smart grids e posteriormente medidas de smart cities, pois além dos aspectos de redução de custos e identificação de falhas, o monitoramento ocorreria sem uma intervenção humana e de forma automática, com muito mais precisão e velocidade na prestação do serviço [69]. Para utilização dessas tecnologias no sistema são necessárias a adoção dos sistemas de comunicação dos quais podem ser citados três. O *SIGFOX* trata-se de um sistema de comunicação que opera em uma frequência de 920 MHz possuindo um alcance de comunicação que pode variar de 3-50 km dependendo se a comunicação de informações for feita em zonas rurais ou na cidade, utilizada na topologia estrela, funcionando como uma operadora IoT com transporte baixo de dados, ganhando muito destaque em países da Europa. O *LoraWAN* operado em redes com muitos dispositivos e poucos controladores, operando em faixas de frequências que podem variar de 109-915 MHz, com o alcance de 3-15 km também dependendo do local de operação. E a Tecnologia *ZigBee* tem aplicações com o

alcance menor atuando como um veículo de automação de uma empresa ou residência [70,71]. Alguns projetos realizados na Eletropaulo e na CPFL utilizando essas ferramentas com aplicações em redes inteligentes apresentando diversos pontos de melhoria e otimização de aspectos de comunicação da rede, de modo que o sistema se interconecta melhorando o desempenho do sistema [72].

Nas questões de Smart Grids em focos de fontes de energia o uso de IoT agregam em fatores como acessibilidade de operacionalização, como com o trabalho “Plataforma IOT para Supervisão de Usina Fotovoltaica e Automação Predial com Validação no Ministério da Defesa do Brasil”, com o desenvolvimento de um sistema otimizado, com o auxílio de microcontroladores que coletavam as informações referentes a Usina fotovoltaica (UFV), e eram armazenados na nuvem em um sistema SCADA, de forma que poderiam ser acessados de qualquer lugar, inclusive pelo celular [73]. A presença de projetos pilotos abordando temas como Smart energy, intimamente relacionados com os ODS ganham mais destaque, como em 2023 com de Araujo com estudos propostos para implementação de projetos de energia fotovoltaica no estado de Tocantins, envolvendo diferentes cenários de estudo, desde aplicações em microgrids até em entregas de energia provenientes de redes de distribuição, envolvendo os interesses de implantação de SGs, para um escoamento mais eficiente de energia na região [74].

No âmbito dos projetos de P&D aprovados pela ANEEL tem um foco grande nas medidas de AMR, como ilustrada na figura 5 e como disposto por exemplo no despacho da ANEEL nº 3.317/2022 referentes às fabricações e implantações de smart meter (medidores inteligentes) monofásicos a Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A. e sua parte relacionada, a Gridspertise Latam S.A. [75].

### **3.2.6 Smart Grid em outros países**

Segundo uma pesquisa de 2007 realizada pela IBM [76] e apontada no relatório de Smart Grid do grupo de pesquisa do Ministério de Minas e Energia (MME) [71] entrevistando empresas e consumidores em países com implementação já iniciadas de smart grids como EUA, Alemanha, Japão, Inglaterra, Austrália e Holanda. Na Itália tem projetos de smart grid nas redes de distribuição com a implantação de smart meters em linhas de baixa tensão, além de estruturas regulatórias para criar um cenário de mais inserção de projetos nessa área. A Suécia possui investimentos massivos em AMM, já a Holanda apresenta projetos pilotos. Portugal mantém em andamento as fases do projeto InovGrid criados principalmente para suprir as necessidades decorrentes da crescente de VEs no país. Espanha, Alemanha e Grécia estão investindo em questões de GD e microrredes [39,71].

Na China as políticas de inserção de SG tem uma facilidade devido a existência de apenas duas companhias responsáveis no país, favorecendo a implantação de projetos desta natureza. Dentro do ramo de distribuição são implantados sistemas que automatizam as redes geographic information system (GIS), que dinamizam a operação das redes. Entretanto, sobre o aspecto de restabelecimento das redes após uma adversidade, não existe muito avanço, mesmo com a decorrência de projetos de P&D nesta área. Apesar deste ponto existem programas e projetos que gradualmente auxiliam a propagação de conceitos desta natureza dentro do país, como a Shanghai Expo de 2010, expondo e apresentando projetos referentes a engenharia, dando espaço para o estudo de conceitos de smart grids [40].

Segundo Colak (2014) a Turquia apoia a tendência mundial de projetos smart nos setores de energia, com um forte alimento no seu programa “Natural Resources Strategic 82010-2014)” juntamente com o Ministério de Energia turco. Com foco no aumento de fontes energéticas para o suprimento nacional, além de fortes iniciativas de P&D com investimentos do Conselho de Pesquisa Científica e Tecnológica da Turquia (TUBITAK) e o Operador do Sistema de Transporte de Energia Elétrica (TEIAS) [77].

No EUA um bom exemplo de projeto amplo de aplicação, foi no Projeto Boulder, Colorado, com a instalação de mais de 15.000 medidores inteligentes e construção de linhas de fibra óptica desenvolvido pela Xcel Energy. Entretanto, os custos estimados para o projeto acabaram se excedendo, gerando a problemática de aumento nas tarifas locais para cobrir as despesas de instalação de de O&M. A cidade de Boulder foi um exemplo de que um projeto acelerado e com foco vertical, pode acabar sendo mais caro e resultar em consequências que prejudicam a curto prazo os consumidores. Lugares como no Texas onde o livre mercado é mais amplo para os consumidores a concorrência entre as empresas geram um cenário de constante evolução sobre esta questão, com aplicações de ferramentas de ZigBee, automação na GD solar, controle de iluminação entre outros [78].

### 3.3 SELF-HEALING

Os conceitos de Self-healing estão atrelados aos aspectos de O&M de uma smart grid, no qual seu sistema opera com informações coletadas em tempo real e tomadas de decisões da rede de forma autônoma, incluindo modelagens e sensoriamentos inteligentes. O conceito possui inúmeras definições, mas podem ser definidas como a capacidade da rede de identificar falhas e corrigi-las, adotando outros alimentadores ou isolando componentes do sistema. Essas problemáticas da rede

estão bem associadas aos distúrbios da rede, que impactam a qualidade de energia elétrica em fluxo na linha, dos quais podem ser citados [79,80]:

**Flickers ou Cintilação:** Ruídos ocasionados pela modulação da magnitude da frequência de operação, que afetam principalmente lâmpadas fluorescentes;

**Noise ou Ruídos:** Distorção da tensão de baixa amplitude que fica sobreposta ao comportamento de tensão nominal;

**Swell ou Elevação:** Aumento momentâneo do valor da tensão nominal, podendo ser causado, por exemplo, uma desconexão de uma grande carga;

**Sag ou Afundamento:** Diminuição momentânea do valor da tensão nominal, pode ser causado pela partida de um motor de alta potência;

**Harmônicas:** São distorções que criam frequências múltiplas não lineares por cima da frequência fundamental, podem ser causados por cargas não lineares, por inversores de frequências ou por fontes chaveadas, são necessários implantações de filtros harmônicos para resolução do seu problema;

**Spike ou Surtos de tensão:** São aumentos nos valores de tensão em intervalos extremamente curtos, são causados por descargas elétricas, ou por acionamentos de geradores de muita carga;

**Transitório oscilatório:** São oscilações com alta frequência sobrepostas na faixa de tensão nominal, que temporariamente distorcem a onda de tensão, são ocasionados muitas vezes pelo acionamento de bancos de capacitores;

**Outage ou Interrupção:** É o distúrbio que acarreta no encerramento de fornecimento de entrega de energia elétrica, são causados por principalmente descargas atmosféricas, podem prejudicar muito as questões de qualidade de energia de um ponto de consumo.

Esses distúrbios são contabilizados com base em indicadores de qualidade de energia, que descrevem o comportamento da entrega de energia elétrica no local estudado. Os principais indicadores de qualidade são a Frequência Equivalente de Corte (FEC) e a Duração Equivalente de Corte (DEC). Sendo o primeiro índice associado à quantidade de vezes que houve interrupções no sistema e o segundo é contabilizado como o tempo médio que o sistema ficou desativado [79,80].

Uma Smart Grid com Self-Healing atua evitando a ocorrência desses distúrbios, bem como com a diminuição do DEC e FEC, através da adoção de componentes e medidas, alinhadas em três objetivos principais; Operação de um sistema seguro, tolerante a falhas e panes decorrentes e um sistema resiliente que se adapte a cada situação submetida [81]. Um dos componentes utilizados para o aprimoramento do monitoramento das redes são as Unidades de Medição Fasorial (PMU) que dão um passo no monitoramento das mensurações de tensão, já que ao contrário dos medidores

convencionais os PMUs medem os valores em tempo real, sendo sincronizadas com GPS que direcionam suas informações para subestação em tempo real, dinamizando a etapa de medição e evitando estimativas [82].

O ONS entre 2005 e 2006 desenvolveu um estudo para implantação de fasores de desempenho dinâmico, os PMUs e como eles influenciaram o SIN, com captação de informações em tempo real, na segunda versão do projeto, de forma que fosse estudados dentro do Ministério de Minas e Energia (MME) e no projeto ESTAL (Energy Sector Technical Assistance Loan), sendo firmados uma parceria com empresas de consultoria que apontaram, um overview dos ganhos econômicos no SIN da implantação desta medição fasorial, demonstrando a necessidade de implantação de medidores deste tipo [83]. Dessa forma, em 2016 um grupo de pesquisadores desenvolveu um PMU de baixo custo para monitoramento do sistema elétrico, com o desenvolvimento de um microcontrolador e um conversor A/D seguindo as normas da IEEE, ao final da pesquisa foi alcançado o desempenho estipulado dentro da norma, dando abertura para outras pesquisas sobre o tema [84].

Para implantação de self-healing vem sendo estudada com forte influência de estudos utilizando as redes neurais artificiais como métodos principalmente na identificação de falhas, com vertentes associadas a recomposição de rede através da diminuição das perdas por efeito Joule (Que compõe as perdas técnicas do sistema), através de um balanceamento de carga de uma linha sobrecarregada para uma linha com mais folga de demanda. Já para as questões relacionadas aos distúrbios da rede elétrica algumas das principais medidas são:

- Os sensores e indicadores de corrente de falta: São sensores que medem continuamente se os valores de tensão e corrente da linha estão dentro dos níveis estipulados e os valores coletados são enviados diretamente para a central de dados. Em casos de violações nos valores o equipamento pode ser desligado, de forma manual, pelo delay de envio de informações do equipamento, ou quando o sensor detecta retorno de tensão na linha [85, 86];
- Religadores Automáticos: Os religadores são dotados de microprocessadores que auxiliam na tomada de decisões da rede, que favorecem casos de adversidades transitórias com potencial para prejudicar a operação da rede e funcionamento do sistema. Em casos que a rede sente uma sobretensão no sistema, o religador identifica o distúrbio, em seguida ele suspende o fornecimento de energia elétrica através de um ponto que fica NF (Normalmente Fechado), que abrirá o sistema para uma derivação de baixíssima impedância, resolvendo o problema transitório. Abaixo é possível observar a figura 7 sendo uma demonstração de um religador automático [85, 86, 87].



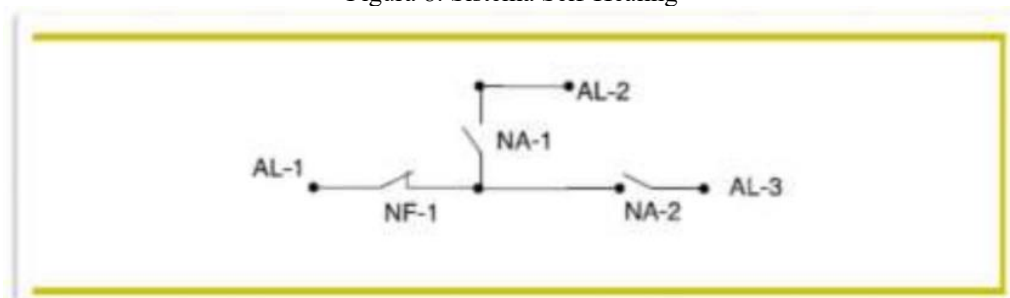
Figura 7: Religador Automático



Fonte: Clodoaldo de Borba Lambiase [87]

- Chaves Seccionadoras: As chaves seccionadoras operam em ocasiões que através da operação coordenada da rede e do posicionamento dos alimentadores de distribuição, para um fornecimento de energia para um ponto de consumidores que estava sem receber energia elétrica, através de uma que passa da condição NA (Normalmente Aberto), para NF. A adoção desses tipos de componentes auxilia na diminuição do DEC do sistema. Na figuras 8, pode ser observado o funcionamento das chaves seccionadoras para o abastecimento de zonas afetadas.

Figura 8: Sistema Self-Healing



Fonte: Jeferson Turatti Pramio [88]

Através de pesquisas e estudos como, os de Xiang (2011), Oualmakran (2012), Pramio (2014), Campos (2019) e diversas outras pesquisas apontam que a inserção de sistemas de self-healing devem vir acompanhados de algoritmos inteligentes, microprocessadores autônomos e equipamentos com alta performance e dinamismo de operação.

#### 4 CONCLUSÃO

Conforme disposto ao longo do artigo, as tecnologias da indústria 4.0 tendem a receber uma atenção e investimentos cada vez maiores, devido a sua alta tecnologia e sua eficiência de operação, criando uma autonomia de processo que facilite tomadas de decisões rápidas dentro dos processos, essa proposta visa o crescimento de Wired Cities, com informação e conexão associadas a todos os serviços. Essa tendência atrelada com as preocupações ambientais decorrentes das mudanças climáticas reflete na criação de projetos de Wired Cities com viés de sustentabilidade e governança social, projetos de cidades inteligentes autónomas. Em países como Estados Unidos, Japão e países da Europa como Portugal, esse processo já vem sendo incentivado através de PPPs (Parcerias Público Privadas), no Brasil, os estágios de formação de uma Smart City ainda são iniciais, decorrente da dificuldade de soluções de problemas de necessidades básicas da população em algumas regiões do país. Entretanto, cidades como São Paulo e Curitiba apresentam graus mais elevados de inserção nestes conceitos, embora ainda sejam consideradas smart cities 1.0, associadas à produção e aplicação das TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação).

Com o aumento da demanda energética mundial e com os impactos socioambientais causados na crise de 2020/2021 referente à pandemia, os setores de energia sofreram uma transformação digital que resultou na introdução de aspectos de redes inteligentes, associados ao planejamento de uma cidade inteligente. Smart Grids são exploradas de diversas formas em cada país. A criação de uma rede autônoma e inteligente ganha destaque, com a utilização das ferramentas de comunicação com de operação IoT, como o LORAWAN, que amplificam os resultados de comunicação e coletam resultados em tempo real. A aplicação de Self-Healing nas smart grids no mundo todo ainda está em estágio inicial, com aplicações mais pontuais através de componentes de direcionamento inteligente do fluxo de potência, mecanismos de segurança que auxiliam em casos de anormalidade nos níveis de corrente e tensão e principalmente no Brasil para reconfiguração rápida e segura após um evento de interrupção de energia, reduzindo o impacto de falta de energia para os clientes.

De forma geral, a aplicação de self-healing dependerá de uma interação íntima de parceria pública com interesses de empresas privadas na melhoria da entrega de energia elétrica. Além disso com o advento de um planejamento mais complexo de cidades inteligentes com aplicações em redes de energia projetos com vertentes de auto reconfiguração, mesmo assim estas prospecções não indicam estar alinhadas a um planejamento mundial de curto prazo.

## REFERÊNCIAS

- [1] FARIAS, L. M.; SELKITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato*, [S. l.], v. 12, n. 17, p. 07–16, 2013. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/164>. Acesso em: 1 abr. 2024.
- [2] Xi, F., Satyajayant, M., Guoliang, X., Dejun, Y. (2012) Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.14, nº4, pp. 944-980.
- [3] Yan, Y., Qian, Y., Sharif, H., Tipper, D. (2013). A survey on smart grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.15, nº1, pp. 5-20.
- [4] DA SILVA, Ivan Nunes; FLAUZINO, Rogério Andrade; SPATTI, Danilo Hernane; LIBONI, Luisa Helena Bartocci; DA SILVA, Alexandre Augusto; PICCHI, Daniel da Costa; DA SILVA, José Francisco Resende. *Redes Inteligentes de Distribuição de Energia Elétrica*. 1. ed. [S. l.]: Artliber, 2018. ISBN 978-85-88098-82-4.
- [5] CABELLO, Andrea Felipe. *Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: a necessidade de uma avaliação adequada de custos e benefícios*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, [s.l.], ed.19, 5 de Maio de 2012. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/radar/temasradar/ciencia-tecnologia-2/14454-redes-eletricas-inteligentes-no-brasil-a-necessidade-de-uma-avaliacao-adequada-de-custos-e-beneficios?highlight=WyJyYWRhciIsIldyYWRhciJd>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- [6] ABRADÉE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Projeto Estratégico de P&D: redes elétricas inteligentes. Brasília, 14-15 dez. 2011. Disponível em: <https://abradee.org.br/programas-de-pd/>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- [7] PRAMIO, Jeferson Turatti. Estudo sobre Self Healing: conceitos, metodologias e aplicações em redes de distribuição de energia elétrica. 2014. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- [8] ÇINAR, Mehmet; KAYGUSUZ, Asım. Self-Healing In Smart Grid: A Review. *BEU Journal of Science*, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/610853>. Acesso em: 21 abr. 2024.
- [9] GOES, Edson Aparecido et al. Aplicação de redes neurais na identificação de setores em curto circuito nos sistemas de distribuição de energia elétrica. In: *Brazilian Conference on Dynamics*. 9., 2010. São Paulo. Disponível em: [www.sbmec.org.br/trabalhos/PDF/energy/68004.pdf](http://www.sbmec.org.br/trabalhos/PDF/energy/68004.pdf). Acesso em: 21 abr. 2024.
- [10] MIRZAEI, M. et al. Review of fault location methods for distribution power System. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, v. 3, n. 3, p. 2670-2676, 2009. Disponível em: <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2009/2670-2676.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2024.
- [11] PEREZ, Carlota. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge journal of economics*, v. 34, n. 1, p. 185-202, 2010. <https://doi.org/10.1093/cje/bep051>. Acesso em: 10 abr. 2024.

- [12] SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018. Acesso em: 10 abr. 2024.
- [13] SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. As revoluções industriais até a indústria 4.0. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. Acesso em: 18 fev. 2024
- [14] 10 Pilares da indústria 4.0 - A importância de cada tecnologia. (s.d.). LWT Sistemas. <https://www.lwtsistemas.com.br/2018/06/04/10-pilares-da-industria-4-0/>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- [15] SILVEIRA, Cristiano Bertulucci; LOPES, Guilherme Cano. O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo. Recuperado de <https://www.muraki.org.br/o-que-e-industria-4-0-e-como-ela-vai-impactar-o-mundo/#:~:text=%C3>, v. 89, 2017.
- [16] RÜßMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston consulting group, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.
- [17] FALCÃO, Ana Carolina Rodrigues de Arruda. Sistematização dos Pilares da Indústria 4.0: uma análise utilizando revisão bibliográfica sistemática. 2019.
- [18] ANSYS. Complete Systems Modeling and Simulation for Complex Product Development..., p. 1-9. 2015. Acesso em: 30 abr. 2024.
- [19] BARBOSA, Simone; SILVA, Bruno. Interação humano-computador. Elsevier Brasil, 2010. Acessado dia 23 de Jan. de 2024.
- [20] SILVA, Michael Vinicius; FARINA, Renata Mirella; FLORIAN, Fabiana. BIG DATA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO NAS EMPRESAS. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 3, n. 12, p. e3122427, 2022. DOI: 10.47820/recima21.v3i12.2427. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/2427>. Acesso em: 30 abr. 2024.
- [21] BAHETI, Radhakisan; GILL, Helen. Cyber-physical systems. The impact of control technology, v. 12, n. 1, p. 161-166, 2011. Acesso em: 22 mar. 2024.
- [22] RAJHANS, Akshay et al. An architectural approach to the design and analysis of cyber-physical systems. Electronic Communications of the EASST, v. 21, 2009. <https://doi.org/10.14279/tuj.eceasst.21.286>. Acesso em: 22 mar. 2024.
- [23] ONU BRASIL, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br>. Acesso em: 12 dez. 2023.
- [24] LAITON-BONADIEZ, Camilo et al. Industry 4.0 technologies applied to the rail transportation industry: a systematic review. Sensors, v. 22, n. 7, p. 2491, 2022. Acesso em: 12 de fev. 2024
- [25] ALVES, Maria Abadia; DIAS, Ricardo Cunha; SEIXAS, Paulo Castro. Smart Cities no Brasil e em Portugal: o estado da arte. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, p. e20190061, 2019. Acesso em: 12 de fev. 2024

- [26] NUCHERA, ANTONIO HIDALGO; ZARAGÜETA, ALEJANDRO LEGARDA. CHINA Y ESTADOS UNIDOS: DOS MODELOS DE POLÍTICA INDUSTRIAL Y UN MISMO OBJETIVO. Acesso em: 02 de abr. 2024
- [27] CHENG, Hong et al. The rise of robots in China. *Journal of Economic Perspectives*, v. 33, n. 2, p. 71-88, 2019. 07 fev. 2024.
- [28] GADELHA, Carlos Augusto Grabois; TEMPORÃO, José Gomes. Desenvolvimento, Inovação e Saúde: a perspectiva teórica e política do Complexo Econômico-Industrial da Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 23, p. 1891-1902, 2018. Acesso em: 12 abr. 2024.
- [29] ANEEL. Guia de Comunicação dos Programas de PDI e EE ANEEL, 2024. Disponível em: [https://git.aneel.gov.br/publico/centralconteudo/-/raw/main/Assuntos/PDI/Guia\\_de\\_comunica%C3%A7%C3%A3o\\_dos\\_Programas\\_de\\_PDI\\_e\\_EE.pdf](https://git.aneel.gov.br/publico/centralconteudo/-/raw/main/Assuntos/PDI/Guia_de_comunica%C3%A7%C3%A3o_dos_Programas_de_PDI_e_EE.pdf). Acesso em: 01 mai. 2024.
- [30] ANEEL. Portaria nº 110, de 15 de abril de 2024. Brasília, DF: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt2024110.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2024.
- [31] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Rio+20: O futuro que queremos. Fatos sobre as cidades. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/cidades.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2024.
- [32] DE SOUZA, Gabriel Paula Soares Gomes. Cidades Inteligentes: o futuro é agora! PET Eng Civil Ufpr. <https://petcivil.blogspot.com/2019/07/cidades-inteligentes-o-futuro-e-agora.html>. 2019. Acesso em 01 mai. 2024.
- [33] Cohen, B. (2015) The 3 generations of Smart Cities: inside the development of the technology driven city. Recuperado em 20 fevereiro de 2019, de <https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities> Acesso em: 19 fev. 2024
- [34] Smart City Strategy: PlanIT Valley (Portugal). (2015, 26 de janeiro). URENIO | Intelligent Cities – Smart Cities – Innovation Ecosystems - Smart City Ontology - Applications - Projects. <https://urenio.org/2015/01/26/smart-city-strategy-planit-valley-portugal/>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- [35] International Organization for Standardization (ISO). ISO 37122:2019: Sustainable development in communities - Indicator for Smart Cities. <https://www.iso.org/standard/69050.html>. 2019. Acesso em 30 de abr. 2024.
- [36] CUNHA, Maria Alexandra et al. Smart cities: transformação digital de cidades. 2016. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/7dfc19b9-1dc8-48c7-8792-ffe092bfd59f>. 02 fev. 2024.
- [37] TEZZA, Rafael; HOCHSTEINER, Pedro; KIELING, Ana Paula. ANÁLISE DE INDICADORES PARA CIDADES INTELIGENTES: uma revisão sistemática e proposta de agenda de pesquisa. *P2P E INOVAÇÃO*, v. 10, n. 2, 2024. 13 jan. 2024.

- [38] CAMPOS, Ronaldo. Concepção política das cidades inteligentes: a experiência smart city Berlin. Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais, v. 6, n. 1, p. 154-174, 2017. 07 mai. 2024.
- [39] MESSIAS, António Aires. Redes Inteligentes de Energia–Smart Grids. Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Electrotécnica, 2009. 27 abr. 2024.
- [40] YUAN, Jiahai et al. Smart grids in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 37, p. 896-906, 2014. Acesso em: 20 nov. 2023.
- [41] PEREIRA, Ana Laura Soeiro. Mobilidade elétrica, o futuro de Portugal?. 2018. Dissertação de Mestrado. Acesso em: 23 mar. 2024.
- [42] RAMASWAMY, R.; MADAKAM, S. The state of art: Smart cities in India: A literature review report. International Journal of Innovative Research and Development, v. 2, n. 12, p. 115-119, 2013. Acesso em 30 abr. 2024.
- [43] KABIR, Kadiri et al. Smart cities implementation: Challenges in Nigeria. In: CIB World Building Congress 2019 Hong Kong SAR, China 17–21 June 2019. 2019. Acesso em 11 abr. 2024.
- [44] RACKWITZ, Maike; VAN DONINCK, Dries. The coordination of smart cities: insights from a cross-case analysis on the implementation of smart city strategies. In: Collaborating for Digital Transformation. Edward Elgar Publishing, 2024. p. 103-123. Acesso em 23 mar. 2024.
- [45] CASTRO, Richard Henrique Moura. Cidades inteligentes e políticas públicas. Encontro Nacional de Ensino e Pesquisa do Campo de Públicas. v. 5, 2024. Disponível em: <https://anepecp.org/ojs/index.php/br/article/view/576>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- [46] REIA, Jess; CRUZ, Luã. Cidades inteligentes no Brasil: conexões entre poder corporativo, direitos e engajamento cívico. Cadernos Metrópole, v. 25, p. 467-490, 2023.
- [47] HALEGOUA, Germaine. Smart cities. MIT press, 2020.
- [48] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU-Habitat: A população mundial será 68% urbana até 2050. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>.
- [49] BIYIK, Can et al. Smart mobility adoption: A review of the literature. Journal of open innovation: Technology, Market, and Complexity, v. 7, n. 2, p. 146, 2021.
- [50] ANDRADE, Josiane Nascimento et al. O conceito de smart cities aliado à mobilidade urbana. Revista Hum@ nae, v. 10, n. 1, 2016.
- [51] ANTUNES, Mileny Gomes; ROMEIRO, Tamires Inauê Ogatta; SIGRIST, Vanina Carrara. Avaliação da qualidade do serviço de transporte público de ônibus na cidade de Santos. Refas-Revista Fatec Zona Sul, v. 3, n. 2, p. 18-39, 2017.



- [52] Brasil. Lei nº 14.849, de 9 de abril de 2024. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2023-2026/2024/Lei/L14849.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14849.htm). Acesso em: 06 mai. 2024
- [53] Agência Senado. Lei nº 14.850. 2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/05/06/lula-sanciona-com-vetos-politica-nacional-de-qualidade-do-ar#:~:text=A%20Lei%2014.850%2F24%20prev%C3%AA,invent%C3%A1rio%20nacional%20de%20emiss%C3%B5es%20atmosf%C3%A9ricas>. Acesso em: 06 mai. 2024.
- [54] MORAIS, Renê Douglas Nobre de et al. Algoritmo inteligente para geração de rotas em smart cities. 2018. Acesso em 03 mai. 2024.
- [55] SÁ, Joiner et al. Redes Neurais Artificiais Aplicada na Mobilidade Urbana de um Smart Campus. In: Trabalho apresentado no XI Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação-ENCOM. 2021. Acesso em 30 abr. 2024.
- [56] STROPARO, Telma Regina. SMART CITIES, MOBILIDADE URBANA E ENVELHECIMENTO HUMANO EM TEMPOS DE PANDEMIA: EXCLUSÃO E ISOLAMENTO. Boletim de Conjuntura (BOCA), Boa Vista, v. 5, n. 14, p. 102–109, 2021. DOI: 10.5281/zenodo.4515117. Disponível em: <https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/215>. Acesso em: 7 maio. 2024. Acesso em 30 abr. 2024.
- [57] LUCCHESI, Shanna Trichês et al. A mobilidade urbana brasileira inclui ações em prol da smart mobility em seu planejamento? Uma avaliação qualitativa dos termos de smart mobility nos planos de mobilidade. In: XXXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET. Balneário: ANPET. 2019. p. 449-460. Acesso em 15 abr. 2024.
- [58] RIVERA, Ricardo; ESPOSITO, Alexandre Siciliano; TEIXEIRA, Ingrid. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 40, p. 43-83, dez. 2013.
- [59] AMIN, S. Massoud; WOLLENBERG, Bruce F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. IEEE power and energy magazine, v. 3, n. 5, p. 34-41, 2005.
- [60] MESSIAS, António Aires. Redes Inteligentes de Energia–Smart Grids. Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Electrotécnica, 2009.
- [61] LI, Wei-xuan; WANG, Xin-yi. Notice of Retraction: The Research of AMR in Smart Meter. In: 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. IEEE, 2010. p. 1-4.
- [62] JARDINI, José Antonio. Sistemas elétricos de potência: automação. Escola Politécnica, 1999. Acesso em: 29 abr. 2024
- [63] SAUER, Ildo et al. Um novo modelo para o setor elétrico brasileiro. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. Acesso em: 29 abr. 2024.



- [64] VELASCO, Giuliana Del Nero; LIMA, Ana Maria Liner Pereira; COUTO, Hilton Thadeu Zarate do. Análise comparativa dos custos de diferentes redes de distribuição de energia elétrica no contexto da arborização urbana. Revista Árvore, v. 30, p. 679-686, 2006.
- [65] DIAS, Bruno Henriques. Modelo de análise de riscos aplicado ao sistema elétrico brasileiro. 2006. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- [66] Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010: ANEEL. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2024.
- [67] Resolução Normativa nº 479, de 23 de agosto de 2012: ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Resolução Normativa nº 479, de 23 de agosto de 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.html>. Acesso em: 02 mai. 2024.
- [68] Resolução Normativa nº 1.000, de 6 de dezembro de 2021: ANEEL. Estabelece as condições gerais para aplicação da modalidade de tarifa binômia. Resolução Normativa nº 1.000, de 6 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2024.
- [69] MUSE, Larissa; SOUZA, Ana; FONSECA, Wellington. Gestão Urbana Integrada para Cidades Inteligentes através da Infraestrutura de Iluminação Pública com a implantação da Internet das Coisas (IoT). 191-197. 10.5151/singeurb2019-29. 2019. Acesso em 27 abr. 2024.
- [70] PRADA, Jadson Augusto Simões et al. Rede Smart Grid: tecnologias de comunicação. 2023.
- [71] DE SMART GRID, Relatório. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. Ministério de Minas e Energia, 2011.
- [72] SILVA, Flavio Eduardo Soares. LoRaWAN para comunicações de redes elétricas inteligentes em áreas suburbanas e rurais. 2019.
- [73] DE MIRANDA LEITE, Liomar et al. Plataforma IOT para Supervisão de Usina Fotovoltaica e Automação Predial com Validação no Ministério da Defesa do Brasil. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, n. E61, p. 150-163, 2023.
- [74] DE ARAUJO, Rogério Rodrigues Lima et al. Smart Energy: a produção de energia fotovoltaica no Estado do Tocantins, Brasil. 2023.
- [75] Despacho nº 3.317, de 18 de novembro de 2022: ANEEL. Titularidade da SFF, as competências. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp20223317ti.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2024.
- [76] VALOCCHI, Michael et al. Plugging in the consumer. IBM Institute for Business Value, 2007.
- [77] COLAK, Ilhami et al. Smart grid opportunities and applications in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 33, p. 344-352, 2014.

- [78] FERREIRA, Maria Carolina Avelar Fadul. Perspectivas e Desafios para a Implantação das Smarts Grids: um estudo de caso dos EUA, Portugal e Brasil. 2010.
- [79] MEHL, Ewaldo LM. Qualidade da energia elétrica. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ-UFPR, p. 21, 2012.
- [80] LOPEZ, Ricardo Aldabó. Qualidade na Energia Elétrica: Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções. São Paulo: Artliber, 2013.
- [81] ÇINAR, Mehmet; KAYGUSUZ, Asım. Self-healing in smart grid: a review. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, v. 7, n. 2, p. 492-503, 2018.
- [82] CAIRO, Ignasi et al. Equipos para medidas precisas de fase en tension corriente para redes inteligentes. Automatica e Instrumentación, n. 451, p. 87-90, 2013.
- [83] ARAUJO, C. S. et al. Utilização de fasores no sistema interligado nacional. VII SIMPASE, Rio de Janeiro, 2009.
- [84] GRANDO, Flavio Lori et al. Uma PMU com Arquitetura de Baixo Custo para o Monitoramento do Sistema Elétrico. 2016.
- [85] ARAÚJO, Thalles Belarmino Resende. ESTUDO SOBRE SELF HEALING: metodologia de aplicação em redes de distribuição de energia elétrica. 2016.
- [86] JÚNIOR, AGRA; CARNEIRO, José Edson. Análise dos impactos do self healing nos indicadores de qualidade do fornecimento de energia elétrica. 2022.
- [87] LAMBIASE, Clodoaldo de Borba. Aplicação de self healing em sistemas elétricos. 2012.
- [88] PRAMIO, Jeferson Turatti. Estudo sobre Self Healing: conceitos, metodologias e aplicações em redes de distribuição de energia elétrica. 2014.
- [89] TORRES, Bruno Silva; FERREIRA, Lucas Roberto; AOKI, Alexandre Rasi. Distributed intelligent system for self-healing in smart grids. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 33, n. 5, p. 2394-2403, 2018.
- [90] XIANG, Gao; XIN, Ai. The application of self-healing technology in smart grid. In: 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. 2011.
- [91] OUALMAKRAN, Youssef; MELENDEZ, Joaquim; HERRAIZ, Sergio. Self-healing for smart grids: Problem formulation and considerations. In: 2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe). IEEE, 2012. p. 1-6.
- [92] CAMPOS, Rodrigo Martínez et al. Self-healing of electric distribution networks: A review. In: 2018 7th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC). IEEE, 2018. p. 63-70.

[93] WERNER, Deborah; CASTRO, Richard Henrique Moura. Cidades inteligentes e políticas públicas: considerações a partir da análise do contrato de iluminação pública na cidade do Rio de Janeiro. Enepcp, 2023.