



GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS EMPRESARIAIS E DE GESTÃO CORPORATIVA E DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO E DE REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO - GEC

OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTOS ATRAVÉS DE INTELIGÊNCIA DE DADOS

CIDINEY JOSE DA SILVA(1); MARCELO GUIMARÃES DOS SANTOS(2); THIAGO SOUSA GUIMARÃES PEIXOTO(3)
FURNAS-CENTRAIS ELETRICAS S.A.(1)

RESUMO

O SEB requer investimentos da ordem de R\$ 450 bilhões até 2029. Deste valor, estima-se que a parcela investida em sobressalentes chegue até 5% da destinada à aquisição de equipamentos. Esses itens, adquiridos juntamente com os equipamentos, representam um custo de capital na fase do investimento e também custos operacionais na manutenção de estoques. Neste trabalho é demonstrado que a utilização de Inteligência de Dados possibilita encontrar alternativas capazes de otimizar os custos com peças sobressalentes em empreendimentos do setor elétrico. A análise dos dados históricos desses sobressalentes auxilia na tomada de decisões sobre a parcela de investimentos nesses itens.

PALAVRAS-CHAVE Otimização, Investimentos, Inteligência de Dados, Sobressalentes.

1.0 INTRODUÇÃO

Devido à natureza dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, os empreendimentos desse setor demandam investimentos vultosos. Parte considerável desses investimentos são devidos à aquisição dos equipamentos de extra alta tensão (EAT) que entrarão na operação e seus itens sobressalentes correspondentes: disjuntores, seccionadores, transformadores, reatores, bancos de capacitores e outros.

Sobressalentes são todas as peças, partes, componentes ou mesmo unidades inteiras de equipamentos que são adquiridos com a finalidade de ficarem disponíveis como reserva em estoque para uso quando da necessidade de manutenção de um equipamento principal. Essa manutenção pode ser programada ou emergencial. O objetivo dessa aquisição é duplo: manter os níveis de confiabilidade e disponibilidade do sistema elétrico e também evitar as perdas financeiras decorrentes das falhas na prestação do serviço de Geração, Transmissão ou Distribuição de energia elétrica. No caso da Transmissão, as principais perdas financeiras decorrem da Parcela Variável por Indisponibilidade (PVI) e multas aplicáveis conforme a regulação vigente (1).

Dessa forma, ao se realizar um investimento envolvendo equipamentos EAT, parte do capital será dispendido em itens que necessariamente permanecerão em estoque – muitas vezes, por longos períodos de tempo.

Historicamente, desde antes da formação do Sistema Interligado Nacional (SIN), o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) se pautou pela confiabilidade e expansão. Isso era amparado por modelos de remuneração e tarifas que viabilizaram o crescimento desse sistema até ao ponto de se tornar um dos maiores sistemas interligados do mundo. Portanto, não era necessariamente problemático dispendir com liberalidade em itens sobressalentes pois a) estava-se garantindo a confiabilidade do sistema e b) a concessionária era remunerada a partir de tarifa proporcional de acordo com o investimento feito (2).

Com o avanço das políticas de universalização, da interligação do sistema e da regulação (2)(3), um novo cenário se impôs às transmissoras: elas devem continuar a prestação do serviço público de transmissão de energia elétrica com excelência já reconhecida, mas são remuneradas pela Receita Anual Permitida (RAP), que é calculada pelo Regulador (4). Isso ensejou, por um lado, a manutenção e melhoria dos níveis de serviço para que se evitem a PVI e multas e, por outro, maior eficiência financeira dos investimentos de forma que a RAP os remunere adequadamente.

2.0 INTELIGÊNCIA DE DADOS

As empresas dispõem de um imenso acervo de dados que podem servir de base factual para tomada de decisões estratégicas. Tais dados se tornam úteis desde que sejam devidamente coletados, tratados, estruturados e

interpretados. Essas ações possibilitam a análise de processos e a tomada de decisões baseadas em Inteligência de Dados, o que pode significar em vantagem competitiva para essas empresas.

Por atuar em um mercado regulado, concessionárias de Transmissão do SEB dispõem de informações e dados armazenados em seus Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (*Enterprise Resource Planning* - ERP) quanto às suas Unidades de Cadastro (UC), que correspondem aos equipamentos instalados e disponibilizados ao SIN, e as correspondentes Unidades de Adição e Retirada (UAR), ou seja, os sobressalentes. Também são controlados todos os marcos importantes do ciclo de vida do projeto: entrega à operação comercial, plano de manutenção programada, movimentações em estoque e substituição de partes, dentre outras. Isso significa que dados históricos e informações necessárias para treinamento de algoritmos de aprendizado de máquina, criação indicadores de desempenho, realização de análises estatísticas e outras técnicas de análise, já estão disponíveis. Esses dados devem ser devidamente tratados e analisados para que a partir daí seja possível a realização de processos de tomada de decisão com base factual.

2.1 Aprendizado de Máquina

Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) (AdM) é um campo da Inteligência Computacional que viabiliza computadores imitarem aprendizado para realizar inferências e fazer classificações a partir de algoritmos de treinamento. Os computadores podem aprender a partir de modelos que serão treinados por esses algoritmos. Cada modelo possui um grande conjunto de parâmetros e o aprendizado consiste no ajuste desses parâmetros por um procedimento apropriado – um algoritmo de treinamento. Os modelos diferem-se entre si pelos parâmetros que possuem e como são utilizados para o cálculo das saídas. A FIGURA 1 apresenta uma possível organização das subáreas da Inteligência Computacional, apesar de não ser exaustiva.

Podem-se destacar os modelos de Redes Neurais Artificiais (RNA), Sistemas Nebulosos (SN) e as Árvores de Decisão (AdD), dentre outros.

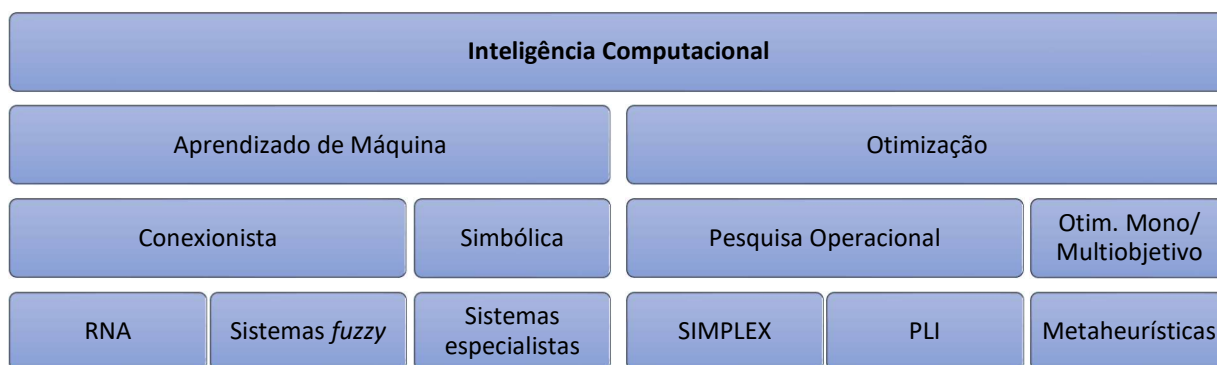


FIGURA 1: Hierarquização de vários campos da Inteligência computacional.

A escolha do modelo e do algoritmo de treinamento apropriado depende das características do processo ou fenômeno que se busca modelar por AdM.

2.1.1 Redes Neurais Artificiais

A partir dos trabalhos de Frank Rosenblatt (5) concebeu-se a unidade fundamental de uma RNA: o *perceptron*. Esse ente modela o funcionamento de um simples neurônio (v. FIGURA 2). Considera-se que a sinapse de saída de um neurônio seja ativada a partir de uma função não linear sobre as sinapses de entrada. Por exemplo, um perceptron mais simples com duas entradas e uma saída pode ser ajustado para funcionar como qualquer porta lógica.

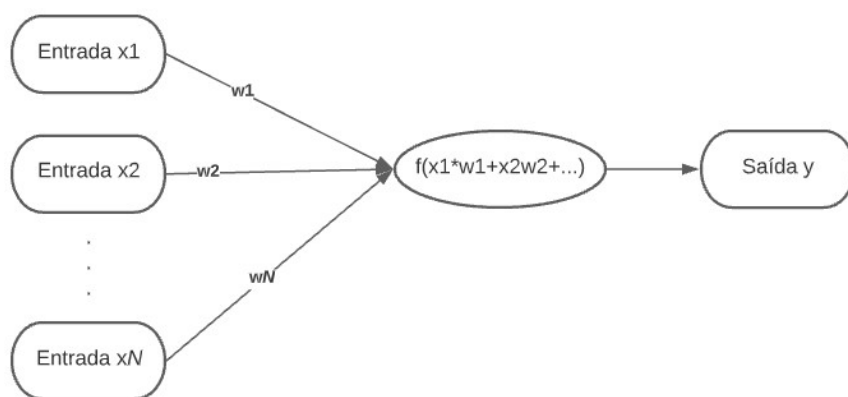


FIGURA 2: Estrutura básica de um perceptron.

Ao se juntarem vários perceptrons em uma rede com várias camadas forma-se uma Rede Neural Artificial. Essas RNA são abstrações do funcionamento do próprio cérebro e por isso mesmo possuem propriedades extraordinárias para reconhecimento de padrões, modelagem de funções não lineares, realização de classificações, dentre outras ações (6).

A TABELA 1 lista os principais parâmetros de uma RNA. Alguns parâmetros são ajustados a priori: as quantidades de entradas e saídas e o número de neurônios na rede geralmente são escolhidos antes do treinamento da RNA. Os pesos W são ajustados por algoritmos do tipo *backpropagation* (6).

TABELA 1: Parâmetros de Redes Neurais Artificiais.

Parâmetro	Descrição
Q	Número de neurônios
$W = \{w1, w2, \dots\}$	Conjunto de pesos (<i>weights</i>). Cada peso está associado a um ramo de ligação entre dois neurônios diferentes.
N	Número de entradas
m	Número de saídas
$f(x)$	Função de ativação: as mais comuns são função degrau, gaussiana e trapézio, dentre outras.
b	Viés (<i>bias</i>) a ser adicionado à saída.

2.1.2 Sistemas Nebulosos

Sistemas Nebulosos são modelos baseados nos conjuntos nebulosos (conjuntos *fuzzy*) (7). Um conjunto nebuloso é constituído pela definição de um Universo de Discurso e as Funções de Pertinência ($\mu(x)$). O universo de discurso é composto por variáveis linguísticas: são variáveis como “temperatura” que assumem valores como “quente”, “morno” e “frio”. As funções de pertinência são mapeamento entre os valores “ x ” de grandezas do mundo real (os chamados valores *crisp*) e os valores do Universo de Discurso. Esse mapeamento é feito na forma da expressão de um grau de pertencimento, que é uma escala de valores entre 0 e 1, de um valor x a uma variável linguística M :

$$\mu_M(x): x \rightarrow [0,1]$$

Um número nebuloso é formado pelo par $\{\mu_M(x) \mid x\}$. Um conjunto de números nebulosos possibilita a realização de inferências com maior poder de abstração, uma vez que um mesmo valor x pode ser entendido com maior ou menor grau de pertencimento a diversos valores de variáveis linguísticas. Um vez calculados os valores nebulosos, pode-se proceder com o realização de operações lógicas nesse domínio. Uma grande vantagem dessa abordagem é a facilidade de construir conjuntos de regras do tipo “SE... ENTÃO... SENÃO...”, tal qual acontece com os Sistemas Especialistas (8).

Ao contrário da lógica booleana, as portas lógicas fuzzy não calculam valores absolutamente verdadeiros ou falsos, mas gradações entre esses valores, o que aumenta muito o poder de abstração e torna possível extrair regras, construir sistemas de inferência e de tomadas de decisão de grande complexidade (9).

Após os cálculos feitos no domínio nebuloso, o resultado deve ser reinterpretado de acordo com valores do mundo físico. Isso é feito pelo processo de “defuzzyficação” (7).

A TABELA 2 lista os principais parâmetros de um sistema nebuloso.

TABELA 2: Parâmetros de sistemas nebulosos

Parâmetro	Descrição
U	Universo de discurso e definição dos valores linguísticos.
$\mu_M(x)$	Função de pertinência entre x e um valor linguístico M ($M \subset U$).
-	Regra de defuzzificação a ser adotada.

2.1.3 Árvore de Decisão

Árvore de decisão é a representação em grafo radial das relações de entrada e saída de um sistema inteligente (v. FIGURA 3). A AdD é formada pelos nodos, que são etapas intermediárias entre a entrada e a resposta final do sistema, e os ramos, que são as ligações entre os nodos ou entre nodos e saídas. Cada ramo possui uma regra associada. Se a regra de um ramo se verifica verdadeira, percorre-se esse nodo ativando o próximo nodo ou saída associado.

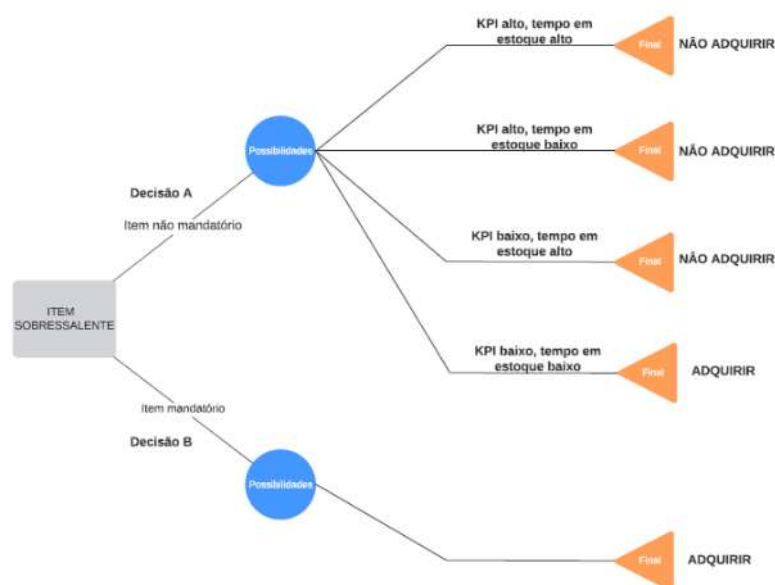


FIGURA 3: Exemplo de árvore de decisão.

Árvores de Decisão oferecem a vantagem de permitir melhor compreensão do comportamento do sistema inteligente por permitir observar as explicações que levaram às respostas obtidas. A possibilidade de explicar o racional de um sistema inteligente permite que tal sistema seja mais facilmente auditável. Isso é desejável ao se considerar aspectos da Ética envolvendo a Inteligência Computacional (10). Sistemas inteligentes como as RNA são do tipo “caixa preta”, por se tratarem de funções não lineares com milhares de parâmetros, o que inviabiliza a extração imediata de regras do mesmo.

3.0 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Busca-se desenvolver a avaliação de riscos para tomada da decisão de adquirir determinados sobressalentes na etapa de investimento inicial de um empreendimento. Os sobressalentes cuja utilização acontece apenas tardiamente no ciclo de vida dos ativos deveriam ser deixados para aquisição posterior. Com isso procura-se diminuir os custos de capital e evitar o acúmulo de grandes estoques por períodos prolongados, de forma a aumentar a eficiência dos empreendimentos.

A aquisição de sobressalentes representa um custo importante no início dos empreendimentos atuais no SEB: os percentuais dispendidos em estão em *ranges* que vão desde <1% até 40% do valor do fornecimento relativos a cada tipo de equipamentos EAT. Uma parcela expressiva desses sobressalentes fica armazenada por longos períodos incorrendo em custos de estoques e, quando não utilizados dentro de sua vida útil regulatória, tornam-se ativos depreciados e sem a remuneração da RAP

A metodologia aqui desenvolvida visa adequar o montante previsto a título de sobressalentes nos Planos de Negócios, equilibrando-se riscos operacionais do sistema elétrico e os riscos financeiros relacionados à sua aquisição otimizada.

No âmbito do programa Inova Furnas, foi desenvolvida a metodologia e uma ferramenta que fornece suporte para antever o momento adequado de utilização de cada sobressalente de interesse, orientando o melhor momento de sua aquisição (*Just in Time* - JiT) bem como reduzindo os custos com estoques. Essa ferramenta também será capaz de fornecer subsídio para justificar a alienação de itens com grande tempo de armazenamento em estoque.

3.1 Objetivos e Metas

É importante que objetivos e metas específicos de cada empresa devem ser estabelecidos para que seja possível a avaliação do desempenho da metodologia adotada. Os ganhos de eficiência serão então estimados a partir da otimização desses valores devido à execução da metodologia.

Através do Plano Estratégico 2020-2035 (11), a Eletrobras busca tornar-se inovadora, de energia limpa, reconhecida pela excelência e sustentabilidade. O caminho para essa transformação estratégica está pautado, dentre outros pilares, pela Gestão Ativa de Riscos, Organização Digital, Criação de Valor e Capacidade de Investimento. O projeto Sobressalentes desenvolvido no âmbito de FURNAS busca contribuir com cada um desses pilares ao criar uma solução baseada em Inteligência de Dados para dimensionar adequadamente investimentos em sobressalentes de equipamentos, esperando-se daí redução de custos de capital. Essa solução também será capaz de fornecer subsídios para prever o melhor momento para aquisição desses itens sobressalentes atendendo à manutenção regular dos ativos em um regime aproximadamente JiT. A partir disso, espera-se contribuir para manter ou melhorar os índices de disponibilidade dos ativos ao passo em que custos operacionais devido a estoques são reduzidos.

3.2 Premissas e Restrições

Uma premissa essencial a essa metodologia é a existência de um banco de dados minimamente consistente de aquisições e consumo de itens sobressalentes, consideradas quantidades, valores monetários, locais de alocação. Também deve ser possível criar processo para aquisição de sobressalentes em momentos apropriados durante a manutenção no ciclo de vida dos ativos sem aumento dos custos.

Devem ser mantidas algumas reservas críticas de sobressalentes para não afetar negativamente índices de disponibilidade dos ativos. Os bancos de dados devem ser atualizados em períodos compatíveis com os tempos de aquisição e consumo dos itens sobressalentes.

Deve-se ter atenção aos principais riscos de um projeto de implementação dessa metodologia. Deve-se agir preventivamente para se evitar dificuldades de contratação de fornecimento de sobressalentes a custos viáveis no futuro de utilização desses itens. Pode-se fazer necessário estruturar novos bancos de dados ou corrigir bancos de dados existente. Outra possibilidade é a necessidade de realizar inventários ou auditorias dos estoques. Por fim, mudanças no ambiente regulatório no que tange à confiabilidade e disponibilidade dos ativos podem limitar a ação de postergação de aquisição dos sobressalentes.

3.3 Benefícios

A partir do conhecimento dos momentos mais apropriados à aquisição de itens sobressalentes, torna-se possível avaliar qual o conjunto mínimo necessário a ser adquirido no momento do investimento inicial. Com isso minimiza-se os custos dos investimentos com sobressalentes, sem prejuízo da disponibilidade do ativo, aprimorando a excelência operacional. Menores quantidades de itens sobressalentes em estoque e aquisições JiT implicam na diminuição dos custos relacionados ao armazenamento de sobressalentes por longos períodos, obtendo-se assim melhores resultados operacionais.

4.0 RESULTADOS

O sistema de auxílio à tomada de decisão para aquisição de sobressalentes foi implementado utilizando-se o MS Excel e MS Power BI, no qual os algoritmos foram implementados em R. Os dados foram coletados no SAP nas bases de dados de ativos imobilizados e de movimentações de estoque. A FIGURA 4 exibe o aspecto geral do Portal Sobressalentes, que foi desenvolvido para auxílio à tomada de decisão de aquisição de sobressalentes em FURNAS.

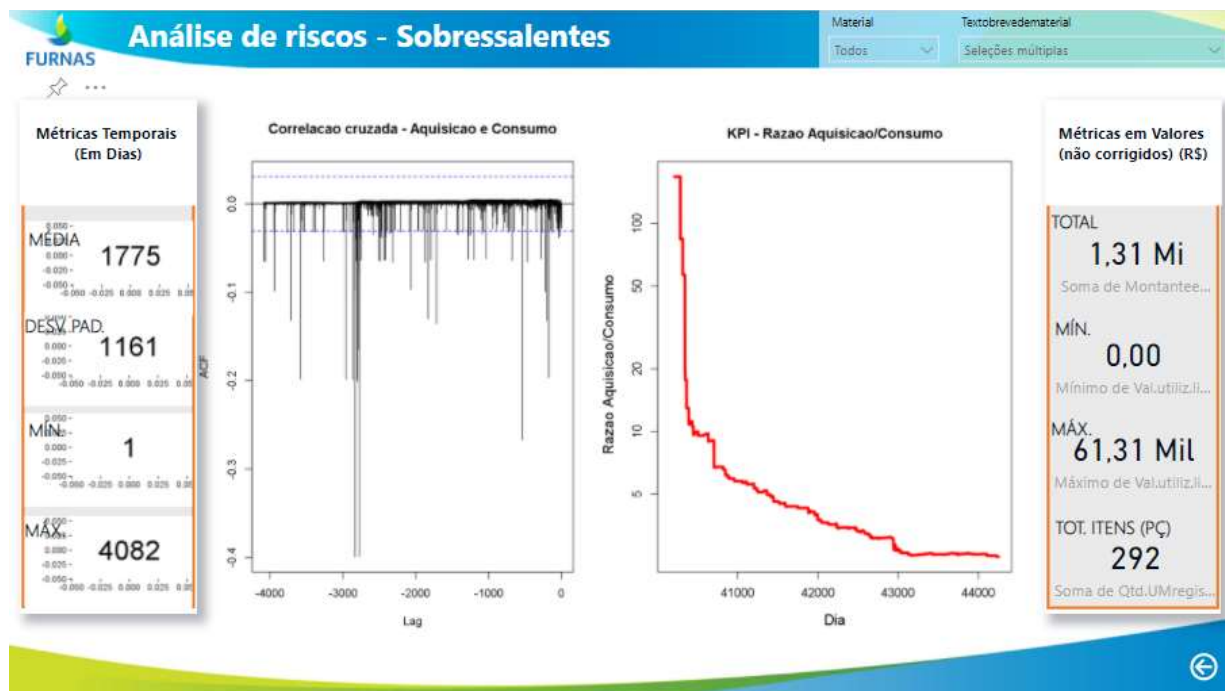


FIGURA 4: Portal Sobressalentes – Eletrobras FURNAS.

Esse portal possui quatro telas contendo os filtros de pesquisa, análise de risco, séries temporais relacionadas e histograma de tempo parado em estoque. Um sistema de apoio à tomada de decisão de quais itens sobressalentes adquirir é alimentado com as informações da análise de risco exibida pelo Portal Sobressalentes a partir da pesquisa feita. Até o momento da redação deste artigo, vinte e oito engenheiros já haviam sido treinados para utilização dessa ferramenta, que se encontra em sua versão 1.0.

Na tela principal são exibidas métricas de tempo e financeiras para um grupo de itens sobressalentes pesquisados no campo "Material". O KPI Razão Aquisição/Consumo é a métrica mais importante no quadro. Ele é calculado no instante de tempo t como:

$$KPI_t = \frac{\sum_{-\infty}^t \#Adquiridos}{\sum_{-\infty}^t \#Consumidos}$$

A partir da curva KPI_t possível avaliar como tem se comportado o consumo desses sobressalentes ao longo do tempo. A situação ideal é $KPI=1$ para qualquer instante, o que significaria que todo sobressalente adquirido estaria sendo consumido com tempo de permanência nulo em estoque – um JiT perfeito.

A FIGURA 5 evidencia com um *breakdown* dos percentuais de um fornecimento de um equipamento (as siglas utilizadas são do Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico). Observa-se que para esse fornecimento em particular seria possível reduzir o investimento inicial em quase 3%, diminuindo as necessidades de capital para executá-lo com a mesma eficiência técnica.

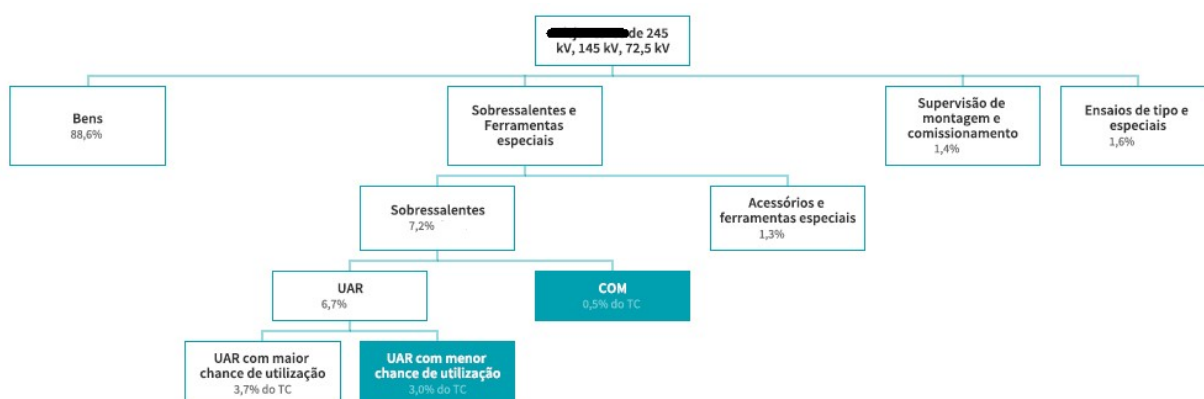


FIGURA 5: Breakdown dos componentes do custo de uma Unidade de Cadastro.

5.0 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve o objetivo de discutir a importância da utilização de Inteligência de Dados em situações práticas para os negócios das empresas do Setor Elétrico Brasileiro. Por limitações de espaço, foram apresentadas apenas algumas possibilidades de técnicas de modelagem e análise de dados, bem como as características principais dessas técnicas. Também foi exibido o *case* de desenvolvimento em FURNAS de ferramenta para análise de risco com base factual e suporte à tomada de decisão de aquisição de sobressalentes. Suportado e acelerado pelo Programa Inova Furnas, a implantação dessa metodologia tem sido um fator de mudança cultural e um diferencial competitivo para FURNAS em seus investimentos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa no. 846, de 11/06/2019. Brasil.
- (2) LORENZO, H. C. O Setor Elétrico Brasileiro: Passado e Futuro; PERSPECTIVAS. Brasil. 2002.
- (3) SANTOS, R. R., MERCEDES, S. S., SAUER, I. L. A reestruturação do setor elétrico brasileiro e a universalização do acesso ao serviço de energia elétrica; REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIA.
- (4) PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei no. 12.783, de 11 de janeiro de 2013. Brasil.
- (5) ROSEBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. 1958.
- (6) BRAGA, A. P., CARVALHO, A., LUDERMIR, T. B. Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações. LTC. 2007.
- (7) ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. Information and Control 8, 338-353, 1965
- (8) DE SIQUEIRA, I. P. Development and Application of Expert Systems for Diagnosing Faults on Protection Equipment. Doble. 1989.
- (9) SADAIE, H. J., GUIMARÃES, F. G., SILVA, C. J., LEE, M. H., ESLAMI, T. Short-term load forecasting method based on fuzzy time series, seasonality and long memory process. International Journal of Approximate Reasoning, v. 83, p. 196-217, 2017.
- (10) LIAO, S. M., Ethics of Artificial Intelligence, New York: Oxford University Press. 2020.
- (11) ELETROBRAS. 2020-2035 – A transformação estratégica da Eletrobras. <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Plano-Estrategico.aspx>. Visto em 24/09/2021.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) CIDINEY JOSÉ DA SILVA Doutor e Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica - UFMG. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais, com certificado em Controle de Processos. Possui experiência consolidada no ensino superior em Engenharia Elétrica nas áreas de Qualidade da Energia, Instrumentação, Máquinas Elétricas e Transmissão de Sinais. Engenheiro atuante em projetos de expansão e melhoria do Sistema Interligado Nacional em empreendimentos em usinas hidroelétricas, eólicas e subestações da Rede Básica e em sistemas CCAT.

(2) MARCELO GUIMARÃES DOS SANTOS Graduado em Engenheiro Eletricista pela Universidade Gama Filho na modalidade Eletrotécnica, MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas. Possui experiência na gestão de projetos na área de transmissão de energia atuando como gestor de projeto. Como gerente de divisão atuou na Divisão de Engenharia de Equipamentos e Linhas de transmissão, como gerente de departamento atuou no Departamento de Projetos Eletromecânicos de Subestações e Equipamentos e atualmente gerente do Departamento de Sistemas e Equipamentos Eletromecânicos de Geração. Como engenheiro e gerente atuando em projetos de expansão e melhoria do SIN nos projetos de usinas hidroelétricas e subestações da Rede Básica.

(3) THIAGO SOUSA GUIMARÃES PEIXOTO Mestre em Inovação e Propriedade Intelectual (INPI), Pós-graduado em Dinâmica dos Grupos (SBDG), Especialista em Análise Transacional (UNAT-Brasil) e Bacharel em Ciência da Computação (UFRJ). É membro regular do comitê de Fomento em Inovação e líder técnico na ANPEI. Júri no Desafio de Inovação Inclusiva do MIT e tutor do Hackbrasil - Harvard. Professor nas áreas de Psicologia, Direito, Gestão e Tecnologia. Fundador e sócio da Startup JUSTIFY. Na Eletrobras-Furnas criou o Inova Furnas e a Olimpíada Nacional de Inovação. Gerente de Desenvolvimento Humano e Inovação, líder em Ecossistemas de Inovação e representante técnico no MIT REAP Cohort 8.