

## **QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO PRÁTICO NA UNIDADE II DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

Etienne Biasotto<sup>1</sup>; Gabriel Flores Aquino<sup>2</sup>.

UFGD<sup>1</sup>  
etiennebiasotto@ufgd.edu.br<sup>1</sup>  
UFGD<sup>2</sup>  
gabrielgf@gmail.com<sup>2</sup>

**RESUMO** - O trabalho apresenta um estudo sobre qualidade da energia elétrica no campus da Universidade Federal da Grande Dourados, por meio de medições nos quadros de energia elétrica de edifícios que compreendem as faculdades e blocos de salas de aula visando detectar a presença de desequilíbrios de tensão na rede elétrica, aferir possíveis defasagens em valores de tensão e se estes se encontram de acordo com as normas vigentes hoje no Brasil, analisar também o possível impacto nos equipamentos elétricos presentes nestas edificações, realizou-se também uma análise deste impacto em valores monetários, ou seja, possível prejuízo financeiro para a instituição. E por fim propor melhorias e adequações técnicas possíveis para a mitigação deste problema nas edificações da universidade. O estudo revela que hoje a UFGD atende os parâmetros exigidos pela legislação vigente, entretanto alguns edifícios apresentam elevados fatores de desequilíbrio de tensão podendo causar a redução da vida útil de alguns equipamentos. Para o cálculo dos fatores de desequilíbrio de tensão foi utilizado os métodos NEMA, IEEE e CIGRÉ.

**Palavras-chave:** Qualidade da energia elétrica, desequilíbrio de tensão, universidade pública e taxa de depreciação.

**ABSTRACT** – The present work carries out a study on electric power quality in the campus of the Federal University of Grande Dourados, by means of measurements in the electric power frames of buildings that comprise the faculties and blocks of classrooms in order to detect the presence of voltage imbalances and if these are in accordance with current norms in Brazil, to analyze also the possible impact on the electrical equipments present in these buildings, an analysis of this impact was also carried out in monetary values, or financial loss to the institution. And finally, to propose improvements and technical adjustments possible for the mitigation of this problem in the university buildings. The study reveals that today the UFGD meets the parameters required by current legislation, however some buildings have high voltage unbalance factors, which may reduce the useful life

of some equipment. For the calculation of voltage unbalance factors, the NEMA, IEEE and CIGRÉ methods were used.

**Keywords:** Electric power quality, voltage imbalance, public university and depreciation rate.

## 1 INTRODUÇÃO

No período compreendido entre 1820 e 1880 surgem as primeiras máquinas elétricas, dispositivos que abriram caminho para os atuais aparelhos elétricos que conhecemos hoje, criados por cientistas como Antoine-Hypolliti Pixii, Marcel Deprèz e Jakob Einstein [1].

Uma diversidade de componentes integram agora equipamentos eletroeletrônicos, como tiristores, transistores, entre outros semicondutores e condutores, equipamentos cada vez mais sensíveis às variações na forma de onda da tensão fornecida, principalmente os que possuem controles baseados em microprocessadores e dispositivos eletrônicos [2].

A qualidade da energia elétrica, hoje um ramo da engenharia elétrica, é responsável por analisar anomalias na rede elétrica que fogem de padrões estabelecidos por órgãos reguladores e podem danificar ou até mesmo reduzir a vida útil de aparelhos. Desequilíbrios de tensão em motores de indução, por exemplo, provocam, além da diminuição de desempenho da máquina, o aumento de sua temperatura de trabalho e,

por consequência, diminuição da sua vida útil. Um pequeno desequilíbrio de tensão, da ordem de 2%, pode acarretar desequilíbrios de corrente da ordem de 15% e elevação de temperatura de 30°C [3].

Hoje as universidades brasileiras contam com grandes parques tecnológicos, sempre em expansão. Nada mais são que uma concentração geográfica de empresas, incubadoras de negócios, centros de pesquisa e laboratórios que criam um ambiente favorável à inovação tecnológica. Desta forma, empresas, universidades e investidores compartilham o mesmo ambiente, gerando benefícios para a comunidade e polos de desenvolvimento social e econômico. Assim, têm-se uma grande quantidade de aparelhos elétricos de variados portes e que requerem uma atenção especial devido ao elevado custo de aquisição, ou seja, se algum tipo de prejuízo pode ser acarretado proveniente da rede elétrica, já é uma preocupação relevante [4].

Desde o ano de 2003, a rede federal de educação superior vem se expandindo rapidamente, em especial, pela interiorização dos *campi* das universidades federais, o que fica claro com o surgimento de novos *campi* e

universidades fora dos grandes centros. O número de municípios atendidos pelas universidades passou de 114 em 2003 para 237 até o final de 2011. Desde o início da expansão, foram criadas 14 novas universidades e mais de 100 novos *campi*, que possibilitaram a ampliação de vagas e a criação de novos cursos de graduação [5].

O REUNI é o Programa do Governo Federal de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais Brasileiras, parte integrante de um conjunto de ações do Governo Federal no Plano de Desenvolvimento de Educação do MEC. Foi instituído pelo Decreto Presidencial 6.096, de 24 de abril de 2007, com o objetivo de dar às instituições condições de expandir o acesso e garantir condições de permanência no Ensino Superior e com a preocupação de garantir a qualidade da graduação da educação pública. A partir do plano apresentado, cada universidade recebe investimentos para a aplicação em ações, como contratação de professores e servidores administrativos; recuperação e construção de instalações físicas; aquisição de equipamentos para laboratórios, salas de aula, bibliotecas, ambientes de professores e órgãos administrativos [6].

No que diz respeito à qualidade da energia elétrica e à importância de seu estudo, pode-se fazer uma analogia entre eletricidade e máquinas elétricas com seres

humanos e água. Uma máquina elétrica necessita de eletricidade para seu funcionamento, entretanto, ela é projetada para que opere em condições pré-estabelecidas de tensão e corrente, o que, se não for atendido, conseqüentemente acarretará em perda de eficiência, sobreaquecimento e até mesmo redução da vida útil. Paralelamente, seres humanos precisam de água para sua sobrevivência, ou, em outras palavras, para seu devido “funcionamento”, mas essa água precisa atender certos parâmetros de pureza (propriedades microbiológicas e físico-químicas), para que se torne potável. Caso contrário, problemas de saúde podem ser desenvolvidos, como leptospirose, disenteria Bacteriana, Esquistossomose, Febre Tifóide, Cólera entre outras [7].

Ou seja, qualquer que seja o “dispositivo” e independentemente do que ele precisa para ser “abastecido”, é fundamental o monitoramento e aperfeiçoamento de parâmetros e índices de qualidade mínimos para o adequado funcionamento dos sistemas, sejam biológicos ou mecânicos, e que estes atendam seus objetivos de maneiras satisfatória.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO**

O fenômeno tratado pelo módulo 8 do Prodist – Procedimentos de Distribuição, elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) – como “desequilíbrio de tensão” é definido matematicamente como a relação da tensão de sequência negativa e da tensão de sequência positiva no ponto de acoplamento comum entre a concessionária e o consumidor – PAC. Contudo, esta definição pode ser aplicada a qualquer ponto de um sistema de potência, sendo a mesma definição apresentada pelas normas IEC e ANSI ou mesmo pelo conjunto das normas IEEE [8].

O desequilíbrio presente em um sistema elétrico trifásico é definido como uma condição em que as três fases que compõem o sistema apresentam valores de tensão em módulo diferentes ou quando a defasagem angular entre as fases é diferente de  $120^\circ$  elétricos, mas é possível existir as duas condições simultaneamente [9]. Na fig. 1 é apresentado um sistema trifásico equilibrado, com os três fasores de mesmo módulo e defasados de  $120^\circ$  cada, enquanto na fig. 2 o sistema demonstrado é desequilibrado, pois seus fasores não apresentam o mesmo módulo e não estão defasados com um ângulo de  $120^\circ$  entre eles.

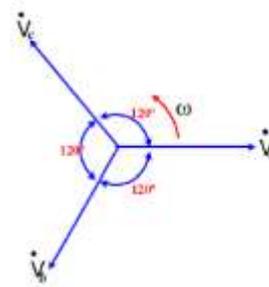


Fig. 1. Tensão trifásica equilibrada [10].

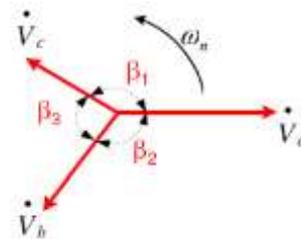


Fig. 2. Tensão trifásica desequilibrada [10].

Um sistema trifásico senoidal não equilibrado pode ser decomposto em três sistemas equilibrados, cada um com três fasores. Esses três sistemas equilibrados, resultantes da decomposição definida como teorema de Fortescue, são denominados como: componente de sequência positiva, componente de sequência negativa e componente de sequência zero. Para um sistema equilibrado só existe a componente de sequência positiva, um sistema é considerado desequilibrado ou assimétrico se apresentar pelo menos duas componentes definidas pelo teorema de Fortescue [12].

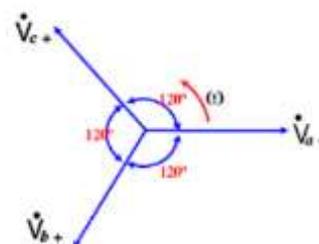


Fig. 3. Componente de sequência positiva [10].

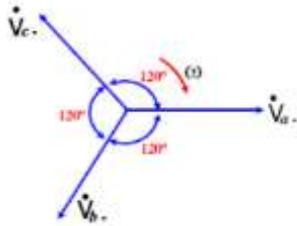


Fig. 4. Componente de sequência negativa [10].

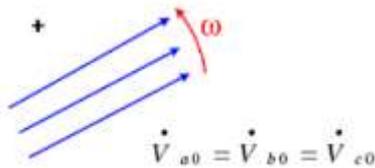


Fig. 5. Componente de sequência zero [10].

## 2.2 CAUSA DOS DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

Pode-se destacar como principal causa de desequilíbrios em sistemas trifásicos, nas correntes, e, em consequência, nas tensões, a má distribuição de cargas monofásicas [13].

Desequilíbrios em um sistema de “n” fases podem ser resultantes da combinação de cargas monofásicas e trifásicas no mesmo sistema de distribuição. Tanto podem ocorrer por uma má distribuição das cargas monofásicas no sistema elétrico trifásico como também pela característica das impedâncias das linhas de transmissão e distribuição, ressaltando que o posicionamento dos condutores podem influenciar na indutância própria e indutância mútua, contribuindo para um maior desequilíbrio de tensão no final da linha [9].

Mesmo equipamentos trifásicos

podem apresentar algum grau de desequilíbrio individual, o que pode contribuir para o aumento do desequilíbrio global de uma rede ou sistema elétrico. Um exemplo de equipamento desequilibrado é um motor com a impedância desbalanceada, devido ao aumento de aquecimento não homogêneo do estator. Anomalias encontradas no sistema são também causas importantes de desequilíbrios e podem representar níveis de até 5%. Entre elas, destacam-se as falhas na isolação de equipamentos, aberturas de condutores ou a abertura de fusíveis em uma das fases de um banco de capacitores [13].

## 2.3 CONSEQUÊNCIAS DOS DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

A alimentação de equipamentos através de tensão trifásica desequilibrada traz prejuízos. Como exemplo, tem-se a degradação da potência útil disponibilizada nos processos de conversão eletromecânica, redução da vida útil de equipamentos e a operação inadequada de equipamentos e sistemas.

Os desequilíbrios de tensão e corrente possuem impacto direto nos custos operacionais dos equipamentos e do sistema elétrico e podem trazer enormes prejuízos financeiros quando a análise engloba o aumento das perdas, as possíveis

interrupções de processos e a queima de equipamentos [12].

Com a presença da componente de sequência negativa, que possui sequência de fase inversa à sequência positiva, tem-se a deformação do campo magnético girante, criando um torque pulsante nos motores de indução trifásico, assim, há a produção de esforços mecânicos axiais e radiais sobre o eixo resultando em: vibrações, ruídos, batimentos, desgastes e aquecimento excessivo dos mancais, em consequência do surgimento de correntes parasitas no sistema eixo-mancais-terra [12].

Tabela 1: Efeitos do desequilíbrio de tensão na temperatura de motores [12]

Fator de Desequilíbrio de Tensão (%)	Corrente de Sequência Negativa I <sub>2</sub> (%)	Elevação de Temperatura (°C)
0,0	0	0
2,0	15	5
3,5	27	15
5,0	38	30

Tabela 2: Redução da vida útil em função da elevação da temperatura [12]

Elevação da temperatura (°C)	Tempo de vida útil (anos)	Redução da vida útil (%)
0	20	0
1	18,46	7,7
2	17,04	14,8
3	15,73	21,4
4	14,54	27,3
5	13,43	32,8
6	12,42	37,9
7	11,49	42,5

8	10,63	46,8
9	9,84	50,8
10	9,11	54,4
15	6,24	68,8
20	4,31	78,4

### 3 METODOLOGIA

Após a realização da pesquisa bibliográfica a respeito dos métodos para o cálculo dos desequilíbrios de tensão, utilizados no Brasil e no exterior, foram realizadas visitas em alguns prédios da universidade, primeiro para identificar cargas que pudessem sofrer desgastes, mal funcionamento e redução da vida útil e, também, para a realizar a aquisição dos dados de tensão e corrente das três fases do sistema. A escolha dos prédios se deu pela existência de multimedidores digitais fixados nas portas dos quadros de distribuição.

Posteriormente, foram realizados os cálculos dos desequilíbrios com o intuito de verificar se estes estavam dentro dos limites estabelecidos pelas normas, além de realizar uma análise econômica considerando a taxa de depreciação das máquinas.

#### 3.1 MÉTODO NEMA

Esta norma, a NEMA – MG1 – 14.34, da “National Electrical Manufacturers Association of USA” faz uso do máximo desvio das tensões em relação à tensão média e da média aritmética dos módulos das tensões trifásicas para expressar o fator

desequilíbrio de tensão. Para isso, toma-se como referência as tensões de linha [12]. Define o fator de desequilíbrio de tensão, ou fator “K”, como sendo a razão entre o máximo desvio das tensões de linha em relação ao seu valor médio, e este mesmo valor médio, ou seja, o método analisa o desvio das tensões de linha em relação valor médio delas:

$$FD\% = \frac{\Delta V}{V_m} \quad (1)$$

Na formula acima,  $FD\%$  é o fator de desequilíbrio,  $\Delta V$  é o máximo desvio das tensões de linha em relação à tensão média e  $V_m$  é a tensão média.

### 3.2 MÉTODO IEEE

Uma relação que expressa a maior diferença entre as tensões medidas e o somatório destas é utilizada pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) para expressar o grau de desequilíbrio [12].

$$FD\% = \frac{3(V_{\max} - V_{\min})}{V_a + V_b + V_c} \times 100 \quad (2)$$

Nesta formula, leia-se:  $FD\%$ : Fator de desequilíbrio,  $V_a$ : módulo da tensão na fase A,  $V_b$ : módulo da tensão na fase B,  $V_c$ : módulo da tensão na fase C,  $V_{\max}$ : maior módulo da tensão de fase e  $V_{\min}$ : menor módulo da tensão de fase.

### 3.3 MÉTODO DAS COMPONENTES SIMÉTRICAS

O método das componentes simétricas quantifica o fator “K”, ou o fator de desequilíbrio de tensão, através da decomposição das tensões de fase em três sequências equilibradas, as sequências positiva, negativa e zero. A sequência positiva é representada por três fasores equilibrados com sequência de fases ABC; a sequência negativa, por três fasores equilibrados com sequência ACB; e a sequência zero, por três fasores paralelos entre si. Em um sistema equilibrado, só existe uma componente de sequência, a sequência positiva ou a negativa, dependendo da ordem com que o sistema foi composto. A presença de desequilíbrio em uma ou mais fases de um sistema com sequência de fases positivas se traduz no surgimento de sequências negativas e zero. Dessa forma, o fator de desequilíbrio é definido pela razão entre os módulos das sequências negativa e positiva, ambas da frequência fundamental [10]:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100 \quad (3)$$

Na fórmula acima, leia-se  $FD\%$ : Fator de desequilíbrio,  $V_-$ : a magnitude da tensão de sequência negativa e  $V_+$ : magnitude da tensão eficaz de sequência positiva.

### 3.4 MÉTODO CIGRÉ

O CIGRÉ (Congress Internationale des Grand Réseaux Électriques a Haute Tension) utiliza uma grandeza fundamental que correlaciona as tensões fase-fase.

$$FD\% = 100 \times \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6B}}{1 + \sqrt{3 - 6B}}} \quad (4)$$

$$B = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (5)$$

Sendo,  $V_{ab}$ : Magnitude da tensão fase-fase eficaz de linha, fase A e B,  $V_{bc}$ : Magnitude da tensão fase-fase eficaz de linha, fase B e C e  $V_{ca}$ : Magnitude da tensão fase-fase eficaz de linha, fase C e A.

### 3.5 MÉTODO PARA CÁLCULO DO DESEQUILÍBRIO DAS CORRENTES

De acordo com Nunes [14], podemos utilizar a seguinte fórmula para calcular o desequilíbrio presente entre as correntes de um sistema.

$$D = \frac{I_{afastada} - I_m}{I_m} \times 100 \quad (6)$$

Sendo,  $D$ : Desequilíbrio em porcentagem entre as correntes,  $I_{afastada}$ : Corrente com valor mais afastado do valor médio e  $I_{média}$ : Corrente media.

### 3.6 PARÂMETROS DO DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

A agência estatal brasileira que regula o setor, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece uma série de parâmetros, valores máximos e mínimos, que então definem padrões para a qualidade da energia e que as concessionárias devem seguir. Esses parâmetros são apresentados por meio do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) [15].

No caso do Brasil, é utilizado mais de um método combinado, que é apresentado no PRODIST. O fator de desequilíbrio de tensão pode ser obtido pelo método das componentes simétricas, pela equação (3) ou alternativamente pelo método CIGRÉ utilizando as equações (4) e (5).

Na tabela 3, são apresentados os limites de fator de desequilíbrio de tensão de acordo com o PRODIST.

Tabela 3: Limites para os desequilíbrios de tensão estabelecidos pelo prodist [15]

Indicador	Tensão nominal	
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$
FD 95%	3,0%	2,0%

Na tabela 4, são apresentados os limites de fator de desequilíbrio de tensão para diferentes normas utilizadas em diversos países.

Tabela 4: Limites permissíveis para os desequilíbrios de tensão em diferentes normas [15]

Norma	Limite
NEMA MGI 14-34	2%
ANSI C.84.1.1989	3%
IEEE Orange Book – 446/1995	2,5%
GTCP/GCPS – ELETROBRÁS	1,5% e 2%
ONS e ANEEL	2%

### 3.7 TAXA DE DEPRECIAÇÃO DE MÁQUINAS

A taxa de depreciação de máquinas é um parâmetro da contabilidade muito utilizado por gestores, que influi diretamente nos lucros da uma empresa. No caso de uma instituição pública como uma universidade, isso pode impactar no orçamento, exigindo mais recursos ou obrigando-a a realocar recursos, o que certamente é desvantajoso para a instituição, para o governo e para o contribuinte.

A taxa de depreciação é o quanto em dinheiro um determinado equipamento perde de valor ao longo do tempo, podendo ser essa perda devida ao desgaste ou pela obsolescência. Com a obsolescência, há a necessidade de reposição do ativo, e com a taxa, é possível prever este tipo de gasto no futuro [16].

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas medições em diversos edifícios do campus da Universidade Federal da Grande Dourados, entre eles, blocos de sala de aula e faculdades de diferentes cursos de graduação. A aquisição dos dados foi realizada através das medições realizadas pelos multimedidores fixados nos quadros gerais de cada edifício. Ressalta-se que alguns quadros estavam localizados em locais em que o acesso era restrito e isso impediu uma maior abrangência da análise.

Alguns blocos mais novos, no intuito de atender o manual de etiquetagem de prédios públicos [17], possuem quadros de força, quadros de luz e quadros para ar-condicionados, dessa forma, cita-se o Bloco D, que nos permitiu uma análise separada das informações. São apresentados, nas tabelas 5 e 6, os valores de tensão de linha e de fase aferidos respectivamente:

Tabela 5 - Valores de tensão de linha aferidos

LOCAL	RS (V)	ST (V)	TR (V)
Bloco A	200	201	200
Bloco C	199	201	200
Bloco D	217,6	218,3	217,6
FCH	210	215	215
FACE	210	211	211
FACET	217	214	216
FCBA	222	227	225
Bloco D (ar)	217,5	217,9	216,8
Bloco D (luz)	217,2	217,7	216,7

Tabela 6 - Valores de tensão de fase aferidos

LOCAL	R (V)	S (V)	T (V)
Bloco D	125,1	125,9	126,0

Bloco D (ar)	125,1	126,0	125,7
Bloco D (luz)	124,8	126,0	125,4
FACET	123	125	118

Seguem, na tabela 7, os valores de corrente aferidos nos blocos:

Tabela 7 - Valores de corrente nas fases a,b & c aferidos.

LOCAL	R (A)	S (A)	T (A)
Bloco D	1,502	0,905	0,382
Bloco D (ar)	0,370	0,992	0,574
Bloco D (luz)	0,855	0,593	1,533
FACET	1,17	1,49	1,27

Para análise, foram calculados fatores de desequilíbrio de tensão por três métodos diferentes, com o intuito de obter uma análise qualitativa e quantitativa mais refinada, sendo estes: CIGRÉ, NEMA e IEEE. Utilizando as fórmulas [1], [2], [4] e [5] se obteve os seguintes resultados apresentados na tabela 8:

Tabela 8 - Fatores de desequilíbrio de tensão calculados

LOCAL	CIGRÉ (%)	NEMA (%)	IEEE (%)
Bloco A	0,33	0,33	-
Bloco C	0,57	0,50	-
Bloco D	0,45	0,45	0,71
FCH	1,55	0,78	-
FACE	0,31	0,31	-
FACET	1,57	1,36	4,94
FCBA	1,29	1,18	-
Bloco D (ar)	0,29	0,27	0,71
Bloco D (luz)	0,26	0,23	0,95

O método NEMA apresenta o menor valor, seguido pelo CIGRÉ, que, ainda assim, é bastante próximo e, por fim, o método IEEE apresentou o maior fator de desequilíbrio.

Atualmente no Brasil, é utilizado o método CIGRÉ, presente no módulo 8 do PRODIST, dessa forma, este método será usado como base para análises e conclusões, e os demais métodos servirão como agregadores para a análise, que possibilitarão demonstrar como é esta análise mediante outros métodos utilizados em países diferentes.

A Faculdade das Ciências Exatas e Tecnológicas (FACET) apresentou os maiores valores de fator de desequilíbrio de tensão e ultrapassou o limite pelo método IEEE, com valor de 4,94%, mas está dentro da faixa de valores permitidos pelos fatores calculados pelos métodos CIGRÉ e NEMA, com valores respectivamente de 1,57% e 1,36%, estabelecidos pelas normas vigentes de até 2%, levando em conta o tipo e finalidade da edificação. Valores próximos de 2% podem ser encarados como preocupantes se analisarmos quais equipamentos eletroeletrônicos estão instalados no edifício.

Para os cálculos de taxa de depreciação, serão utilizados os equipamentos presentes no edifício da Faculdade de Engenharia, uma vez que lá também ficam os laboratórios do curso de

engenharia de energia, o que nos permite estimar a presença destes equipamentos em outros edifícios que abrigam outras faculdades também com laboratórios e, por sua vez, abrigam equipamentos semelhantes.

Foram analisados quatro motores elétricos de marcas diferentes presentes no edifício e então calculadas as respectivas taxas de depreciação. São apresentados na tabela 9 valores em reais e quantidades de cada motor:

Tabela 9 - Equipamentos analisados [18].

Máquina	Tipo	Tempo de vida médio (anos)	Quantidade	Valor (R\$)
A	Weg w22 plus 7,5 cv	17,1	03	2.560,00
B	Vog e v112 7,5 cv	17,1	01	1.996,00
C	Dancor cam-w6 2 cv	12,9	01	921,19
D	Weg w22 plus 1,5 cv	12,9	01	1.200,00
Total				11.897,19

Nas tabelas 10, 11, 12 e 13 são apresentadas as taxas de depreciação para

cada aparelho com a respectiva redução da vida útil.

Tabela 10 - Taxa de depreciação da máquina

A.

Valor(€)	Redução da vida útil (%)	Vida útil (anos)	Taxa de depreciação por ano (R\$)
2.560,00	0	17,10	149,70
	7,7	15,78	162,19
	14,8	14,56	175,71
	21,4	13,44	190,46
	27,3	12,43	205,92
	32,8	11,49	222,77

Tabela 11 - Taxa de depreciação da máquina

B.

Valor (€)	Redução da vida útil (%)	Vida útil (anos)	Taxa de depreciação por ano (R\$)
1.996,00	0	17,10	116,72
	7,7	15,78	126,46
	14,8	14,56	137,00
	21,4	13,44	148,50
	27,3	12,43	160,55
	32,8	11,49	173,69

Tabela 12 - Taxa de depreciação da máquina

C.

Valor (€)	Redução da vida útil (%)	Vida útil (anos)	Taxa de depreciação por ano (R\$)
921,19	0	12,90	71,41
	7,7	11,90	77,36
	14,8	10,99	83,81
	21,4	10,13	90,85
	27,3	9,37	98,22
	32,8	8,66	106,26

Tabela 13 - Taxa de depreciação da máquina

D.

Valor (\$)	Redução da vida útil (%)	Vida útil (anos)	Taxa de depreciação por ano (R\$)
1.200,00	0	12,90	93,02
	7,7	11,90	100,78
	14,8	10,99	109,18
	21,4	10,13	118,35
	27,3	9,37	128,06
	32,8	8,66	138,56

Na tabela 14 é apresentado o gasto total em reposição de equipamentos projetado para diferentes quantidades de anos.

Tabela 14 - Projeção de gastos por reposição de equipamentos.

Presença de desequilíbrio de tensão gerando aumento de temperatura (°C)	Projeção em anos	Gasto com reposição de máquinas (R\$)
0	10	0,00
1	20	11.797,19
2	30	23.594,38
3	40	25.715,57
4	50	49.309,95
5	60	61.107,14

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos fatores de desequilíbrio de tensão mostram claramente que os edifícios da universidade estão dentro das normas permitidas para níveis de desequilíbrio de tensão, o que já era esperado. A análise em mais de um método é coerente com a literatura, dando pequenas

diferenças proporcionais já esperadas, inerentes a cada método.

Entretanto, alguns edifícios apresentaram fatores de desequilíbrio maiores que 1,5%, ou seja, equipamentos elétricos presentes nestes edifícios podem chegar a perder vinte por cento ou mais de sua vida útil, o que acarreta em gastos em prazos cada vez menores, e, se escalarmos isso para uma cidade universitária com dezenas de edifícios e muitos desses com dez ou mais motores com características semelhantes, traduz-se em cifras consideráveis de dinheiro.

Um estudo ainda mais detalhado pode ser desenvolvido com o mapeamento das edificações que possuem equipamentos elétricos trifásicos e com uma catalogação de todos estes equipamentos para, assim, ter-se uma real dimensão dos custos que a instituição tem por desequilíbrios de tensão existentes, mesmo que ainda dentro dos limites vigentes na legislação.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARCHIORO, G. (2015). *Museu Virtual Sobre as Primeiras Máquinas Elétricas*. Acesso em 03 de Agosto de 2017, disponível em UFRGS: <https://www.ufrgs.br/blogdabc/museu-virtual-sobre-as-primeiras/>
- [2] GONDIM, I. N., & OLIVEIRA, J. C. (s/d). *Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios de Qualidade da Energia com Enfoque ao Ressarcimento de*

- consumidores. Acesso em 09 de Agosto de 2017, disponível em SEER UFU: [www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/download/4109/3058](http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/download/4109/3058)
- [3]KAGAN, N., GOUVÊA, M. R., & TAHAN, C. M. (s/d). *Análise de Desequilíbrio em Redes de Baixa Tensão*. Acesso em 10 de Agosto de 2017, disponível em MFAP: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081215140241-T164.PDF>
- [4]G1. (Julho de 2017). *Unifor Inaugura Parque Tecnológico*. Acesso em 04 de Agosto de 2017, disponível em G1: <http://g1.globo.com/ceara/especial-publicitario/unifor/ensinando-e-aprendendo/noticia/2017/07/unifor-inaugura-parque-tecnologico.html>
- [5]MEC, M. d. (2010). *Expansão*. Acesso em 04 de Agosto de 2017, disponível em REUNI: <http://reuni.mec.gov.br/expansao>
- [6]REUNI UFSCAR. (2012). *REUNI*. Acesso em 01 de Agosto de 2017, disponível em UFSCAR: < <http://www.reuni.ufscar.br/o-que-e-reuni>
- [7]EOS. (s/d). *5 consequências da falta de saneamento básico*. Acesso em 26 de Abril de 2019, disponível em EOS Organização e sistemas: <https://www.eosconsultores.com.br/5-consequencias-da-falta-de-saneamento-basico/>
- [8]BORN, J. (2012). *Desequilíbrio (desbalanceamento) de tensão*. Acesso em 02 de Agosto de 2017, disponível em Eletromax: [http://www.eletromax.com.br/index.asp?InCdSecao=5&InCdEditoria=0&InCdMateria=150&Desequil%EDbrio+\(desbalanceamento\)+de+tens%E3o](http://www.eletromax.com.br/index.asp?InCdSecao=5&InCdEditoria=0&InCdMateria=150&Desequil%EDbrio+(desbalanceamento)+de+tens%E3o)
- [9]BIASOTTO, E. (2012). *Metodologia para o desenvolvimento de um novo padrão estrutural e elétrico de cruzeta para redes de 15 kV*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. doi:10.11606/T.18.2012.tde-31072012-115445. Recuperado em 2019-06-26, de [www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br).
- [10]SAMESIMA, M. I., & REZENDE, P. O. (2007). *Efeitos do desequilíbrio de tensões de suprimentos nos motores de indução trifásico*. Acesso em 01 de Agosto de 2017, disponível em SEER: <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/4473/11857>
- [11]PHD ONLINE. (s/d). *Diferença entre energia monofásica e trifásica*. Acesso em 23 de Abril de 2019, disponível em PhD Online: <http://www.phdonline.com.br/informacoes-importantes/diferenca-entre-energia-monofasica-e-trifasica/>
- [12]TEODORO, R. G. (2005). *Metodologia para Compensação de Desequilíbrios em Redes Elétricas*. Acesso em 05 de Agosto de 2017, disponível em FEIS UNESP: [https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/141-dissertacao\\_ricardo\\_gouveia\\_teodoro.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/141-dissertacao_ricardo_gouveia_teodoro.pdf)
- [13]ROCHA, J. E. (2016). *Qualidade da Energia da Elétrica*. Acesso em 04 de Agosto de 2017, disponível em UTFPR: [http://paginapessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/qualidade-da-energia-eletrica/Qualidade%20da%20Energia%20Eletrica%20\\_%20Apostila.pdf/at\\_download/file](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/qualidade-da-energia-eletrica/Qualidade%20da%20Energia%20Eletrica%20_%20Apostila.pdf/at_download/file)
- [14]NUNES, E. J. (Maio de 2009). *Redução do Desequilíbrio de Correntes em Alimentadores de Distribuição*. Acesso em 27 de Maio de 2019, disponível em VI Congresso Brasileiro de Regulação: [www.workoutenergy.com.br/abar/cbr/Trab1107.pdf](http://www.workoutenergy.com.br/abar/cbr/Trab1107.pdf)
- [15]ANEEL, A. N. (27 de Janeiro de 2016). *PRODIST - Módulo 8*. Acesso em 10 de Agosto de 2017, disponível em ANEEL: <http://www.aneel.gov.br/modulo-8>
- [16]ARRUDA M. P., DANTAS, C. B., PAIVA, A. C. N. e PAULO, E.(2012). *Depreciação no Serviço Público: Reconhecimento e Evidenciação nas Demonstrações*

*Contábeis dos Estados e Municípios Brasileiros*. Acesso em 21 de Junho de 2019, disponível em Repositório Institucional UFRN:

<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21254>

[17]BRASIL (2010). *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas*. Acesso em 25 de Junho de 2019, disponível em PBE edifica: [http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010\\_RTQ\\_Def\\_Edificacoes-C\\_rev01.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf)

[18]AGOSTINHO F. R., ROCCA, G. A. D., FERREIRA F. C. S. E STEFENON S. F.. (2016). *Estudo sobre a viabilidade financeira na atualização tecnológica de uma planta fabril: Utilização de motores elétricos de alta eficiência e iluminação LED*. Acesso em 20 de Junho de 2019, disponível em Resvista Espacios: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n12/a17v38n12p05.pdf>



**Gabriel Flores Aquino** nasceu na cidade de Dourados, no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, em 03 de novembro de 1995. Atualmente é acadêmico do curso de Engenharia de Energia na Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados (FAEN/UFGD). Seus campos de interesse são energias renováveis, recursos naturais e energéticos, qualidade da energia elétrica, energia nuclear e inovação nas práticas de ensino voltadas para engenharia.

## 7 BIOGRAFIAS



**Etienne Biasotto** nasceu em Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, em 23 de janeiro de 1980. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Araraquara (UNIARA), obteve os títulos de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) em 2009 e 2012, respectivamente. Obteve o título de Especialista em Gestão de Hospitais Universitários pelo Instituto Sirio Libanês de Ensino e Pesquisa (IEP) em 2014. Atualmente é professor adjunto e diretor da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados (FAEN/UFGD). Dentre as áreas de interesse destacam-se a proteção de sistemas elétricos de potência, qualidade da energia elétrica e técnicas de inteligência artificial.