

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FÁBIO ANTONIO EGÊA TIEM

CORREÇÃO FATOR DE POTÊNCIA COM GERADOR SÍNCRONO

CASCABEL
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FÁBIO ANTONIO EGÊA TIEM

CORREÇÃO FATOR DE POTÊNCIA COM GERADOR SÍNCRONO

Trabalho apresentado como requisito de conclusão da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz.

Prof. Orientador: Nelson Chetevik de Oliveira.

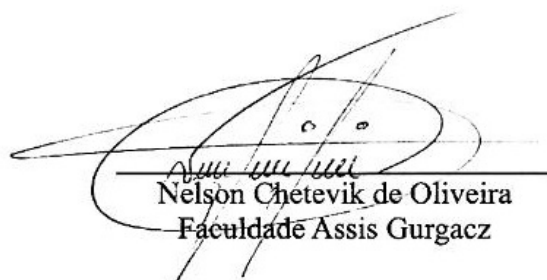
CASCADEL
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FÁBIO ANTONIO EGÊA TIEM

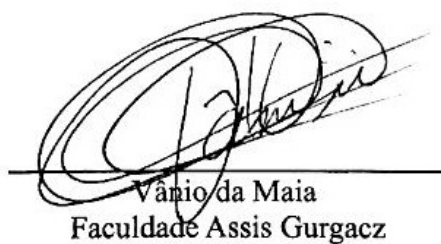
CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA COM GERADOR SÍNCRONO

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Professor Nelson Chetevik de Oliveira.

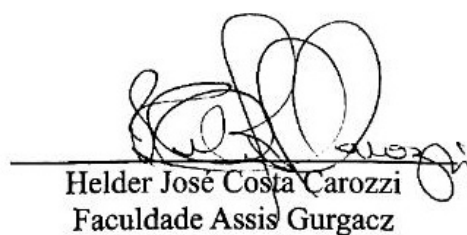
BANCA EXAMINADORA



Nelson Chetevik de Oliveira
Faculdade Assis Gurgacz



Vânio da Maia
Faculdade Assis Gurgacz



Helder José Costa Carozzi
Faculdade Assis Gurgacz

Cascavel, 27 de junho de 2018.

RESUMO

Neste estudo sobre a correção do fator de potência, é explicado sobre a correção simples do fator de potência indutivo, utilizando estruturas compostas de bancos de capacitores, o uso de geração distribuída, onde os consumidores operam usinas de geração de eletricidade em seus sistemas, paralelamente rede elétrica e, também, a possibilidade de utilizar apenas geradores síncronos para realizar a correção do fator de potência. Este último com possíveis vantagens, devido às características dos geradores, pois permitem a variação da potência reativa disponível ao variar sua corrente de excitação, podendo realizar a correção sem a ocorrência de etapas de operação. A opção de utilizar geradores para correção do fator de potência, mostrou-se evidente em um trabalho de campo, ao ler o manual de um gerador, em um serviço de manutenção, o mesmo expunha sobre a possibilidade do ajuste de seu fator de potência através da variação da corrente de excitação. Então, realizando pesquisa sobre o assunto, foi comprovada a possibilidade de gerar potência reativa, capacitiva ou indutiva, de maneira controlada, vislumbrando, desta forma, a correção do fator de potência, em plantas onde há geração distribuída e que esteja operando com reserva de carga, obtendo assim a correção desejada e sem grandes investimentos.

Palavras-chave: Fator de potência. Capacitor. Gerador.

ABSTRACT

In this study about power factor correction, is explained about the common way inductive power factor correction, utilizing capacitor banks composed structures, the use of distributed generation, where consumers operates power plants of electricity generation in their systems, that is parallel connected with the electric grid and, also, the possibility of using just synchronous generators to perform the power factor correction. This last one with possible advantages, due to the generators characteristics, as they allow the available reactive power variation when varying its excitation current, being able to perform the correction without the occurrence of steps during the operation. The option to use generators for power factor correction was evident in a field work, when reading the manual of a generator, in a maintenance service, it explained about the possibility of adjusting its power factor through the excitation current variation. Then, was made a research on the subject, that has proved the possibility of generating reactive power (capacitive or inductive), in a controlled way, thus glimpsing the power factor correction, in plants where there is distributed generation and that is operating with reserve of load, thus being able to do the correction without major investments.

Keywords: Power factor. Capacitor. Generator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Formas de onda reação à um: (a) resistor; (b) capacitor; e (c) indutor. . .	11
Figura 2	Forma construtiva de um capacitor visando reduzir tamanho.	16
Figura 3	Unidades capacitiva monofásica e modulo de capacitores trifásico. . . .	17
Figura 4	Esquema demonstrativo simplificado de um gerador CA monofásico. . .	18
Figura 5	Distribuição da tensão induzida no enrolamento de um gerador síncrono.	18
Figura 6	Esquema unifilar de conexão entre uma usina e a rede pública.	20
Figura 7	Esquema de ligação para sincronismo entre fontes geradoras.	21
Figura 8	Placa controle excitação GMG2.	24
Figura 9	Multimedidores (esquerda GMG2 e a direita GMG1).	24
Figura 10	Grupo motor gerador 1.	27
Figura 11	Grupo motor gerador 2.	27
Figura 12	Comportamento da frequência antes do acoplamento.	31
Figura 13	Comportamento da potência ativa antes do acoplamento.	31
Figura 14	Comportamento da potência reativa antes do acoplamento.	32
Figura 15	Comportamento da potência aparente antes do acoplamento.	33
Figura 16	Comportamento somatório das correntes de fase antes do acoplamento. .	33
Figura 17	Comportamento da tensão média de fase-neutro antes do acoplamento. .	34
Figura 18	Comportamento do fator de potência antes do acoplamento.	35
Figura 19	Comportamento da frequência durante o acoplamento.	36
Figura 20	Comportamento da potência ativa durante o acoplamento.	37
Figura 21	Comportamento da potência reativa durante o acoplamento.	37
Figura 22	Comportamento da potência aparente durante o acoplamento.	38
Figura 23	Comportamento do somatório das correntes de fase durante o acoplamento.	39
Figura 24	Comportamento da tensão média de fase-neutro durante o acoplamento.	39
Figura 25	Comportamento do fator de potência durante o acoplamento.	40
Figura 26	Comportamento da frequência após o acoplamento.	41
Figura 27	Comportamento da potência ativa após o acoplamento.	41
Figura 28	Comportamento da potência reativa após o acoplamento.	42
Figura 29	Comportamento da potência aparente após o acoplamento.	43
Figura 30	Comportamento do somatório das correntes de fase após o acoplamento.	43
Figura 31	Comportamento da tensão média de fase-neutro após o acoplamento. . .	44
Figura 32	Comportamento do fator de potência após o acoplamento.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação de materiais e custo para o projeto.	25
Tabela 2	Relação de cargas do aviário.	26
Tabela 3	Características multimedidor MB5-3121.	28
Tabela 4	Características transformadores de corrente.	28
Tabela 5	Características Conversor RS485 para USB.	29

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CA	- Corrente Alternada
CC	- Corrente contínua
W	- Watts
V	- Volts
A	- <i>Ampère</i>
ϕ	- Phi (deslocamento angular entre tensão e corrente)
P	- Potência ativa
E	- Tensão
I	- Corrente
Q	- Potência reativa
S	- Potência aparente
VA _r	- Volt Ampère Reativo
VA	- Volt Ampère
FP	- Fator de Potência
R	- Resistência
Z	- Impedância
Ω	- Ohm
LED	- Light Emitting Diode
USCA	- Unidade de Supervisão em Corrente Alternada
GMG1	- Grupo Motor Gerador 1
GMG2	- Grupo Motor Gerador 2
CV	- Cavalo Vapor
Hz	- Hertz (ciclos por segundo)
RS485	- Recommended Standard 485 (Padrão de comunicação serial)
MODBUS	- Protocolo de comunicação serial
IEC	- International Electrotechnical Commission
°C	- Graus Celsius
m	- Metro
In	- Corrente Nominal
USB 2.0	- Universal Serial Bus versão 2.0
bps	- bits por segundo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO.	10
1.1.1	Objetivos específicos	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	TIPOS DE CARGAS.	11
2.2	POTÊNCIA ELÉTRICA CA.	12
2.3	FATOR DE POTÊNCIA	13
2.3.1	Causas e consequências do baixo fator de potência	14
2.4	LEGISLAÇÃO RELATIVA AO FATOR DE POTÊNCIA	15
2.5	FORMAS USUAIS DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA	15
2.5.1	Capacitores.	16
2.6	GERADOR	17
2.7	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	19
2.7.1	Conexão de geração distribuída à rede pública	19
3	MÉTODOS E MATERIAIS	23
3.1	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.	23
3.2	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.	23
3.3	CUSTOS	25
3.4	EQUIPAMENTOS.	25
3.4.1	Cargas de teste	25
3.4.2	Grupos motores geradores	26
3.4.3	Instrumentos	28
4	RESULTADOS.	30
4.1	ANTES DO ACOPLAMENTO.	30
4.1.1	Frequência	30
4.1.2	Potência ativa	31
4.1.3	Potência reativa	32
4.1.4	Potência aparente	32
4.1.5	Somatório das correntes de fase.	33
4.1.6	Tensão média de fase-neutro	34
4.1.7	Fator de potência	34
4.2	DURANTE O ACOPLAMENTO	35
4.2.1	Frequência	35
4.2.2	Potência ativa	36
4.2.3	Potência reativa	37
4.2.4	Potência aparente	38
4.2.5	Somatório das correntes de fase.	38

4.2.6	Tensão média de fase-neutro	39
4.2.7	Fator de potência	40
4.3	APÓS O ACOPLAMENTO	40
4.3.1	Frequência	40
4.3.2	Potência ativa	41
4.3.3	Potência reativa	42
4.3.4	Potência aparente	42
4.3.5	Somatório das correntes de fase.	43
4.3.6	Tensão média de fase-neutro	44
4.3.7	Fator de potência	44
5	DISCUSSÃO.	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer da passagem de décadas, os sistemas elétricos têm mostrado notável evolução, disponibilizando inúmeras facilidades, contudo é facilmente percebida a atual dependência na qual nos encontramos, com relação à eletricidade. Praticamente toda e qualquer atividade que se propõe a realizar, necessita de eletricidade ou em algum momento se utilizou dela para torná-la possível.

Para garantir a disponibilidade e viabilidade econômica dos sistemas elétricos, é interessante buscar formas para seu melhor aproveitamento. Assim, a seguir está descrito sobre tipos de cargas e suas características, potência elétrica e suas componentes ativa e reativas, fator de potência e sua legislação pertinente, causas do baixo fator de potência, e formas de corrigi-lo, apresentado sob maior atenção este último item, procurando realizar tal correção de forma não tão tradicional como se costuma fazer com capacitores, mas sim com o auxílio de geradores em paralelo com a rede. A respectiva tarefa pode ser realizada segundo traz algumas literaturas, porém não são claras em seus resultados e rendimento elétrico.

Durante a realização do ensaio, foram encontrados valores correspondentes ao comportamento dos geradores síncronos, operando isolado sem carga, no momento do paralelismo e trabalhando afim de corrigir o fator de potência.

Juntamente com o estudo da correção de fator de potência com gerador síncrono, foram desenvolvidos conteúdos que tangem o assunto para o devido e necessário entendimento do contexto e resultados.

1.1 OBJETIVO

Verificar funcionalidade, possibilidades e resultados do uso de unidades geradoras síncronas para correção do fator de potência (indutivo e capacitivo) em sistemas de energia elétrica.

1.1.1 Objetivos específicos

Montar o conjunto de grupos motores geradores em sincronismo, atribuir carga ao conjunto, monitorar e registrar os resultados, tabular os dados, analisar e extrair informações relacionadas ao processamento desses dados adquiridos.

Comprovar a capacidade de correção do fator de potência do gerador síncrono.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TIPOS DE CARGAS

Os sistemas elétricos podem ser distintos em sua forma de condução, onde encontra-se sistemas de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC), direcionamento deste estudo, sistemas CA. Estes apresentam três tipos de cargas decorrentes dos componentes elétricos básicos de sua constituição: resistores, capacitores e indutores. Sendo as cargas resistivas mais básicas em CA, simplesmente se opondo a passagem da corrente, estas mantêm a corrente em fase com a tensão (BOYLESTAD, 2012).

O mesmo não acontece no caso dos indutores e capacitores que são cargas reativas. Os capacitores adiantam e os indutores atrasam a corrente, ambos em 90° em relação à tensão, sendo resultado funcional intrínseco a estes componentes, respectivamente a fim de gerar seus campos elétricos e magnéticos (PINTO, 2014).

A reação da corrente em relação a tensão, impostas por estes componentes acima descritos podem ser observadas graficamente com seus respectivos deslocamentos angulares, na figura 1.

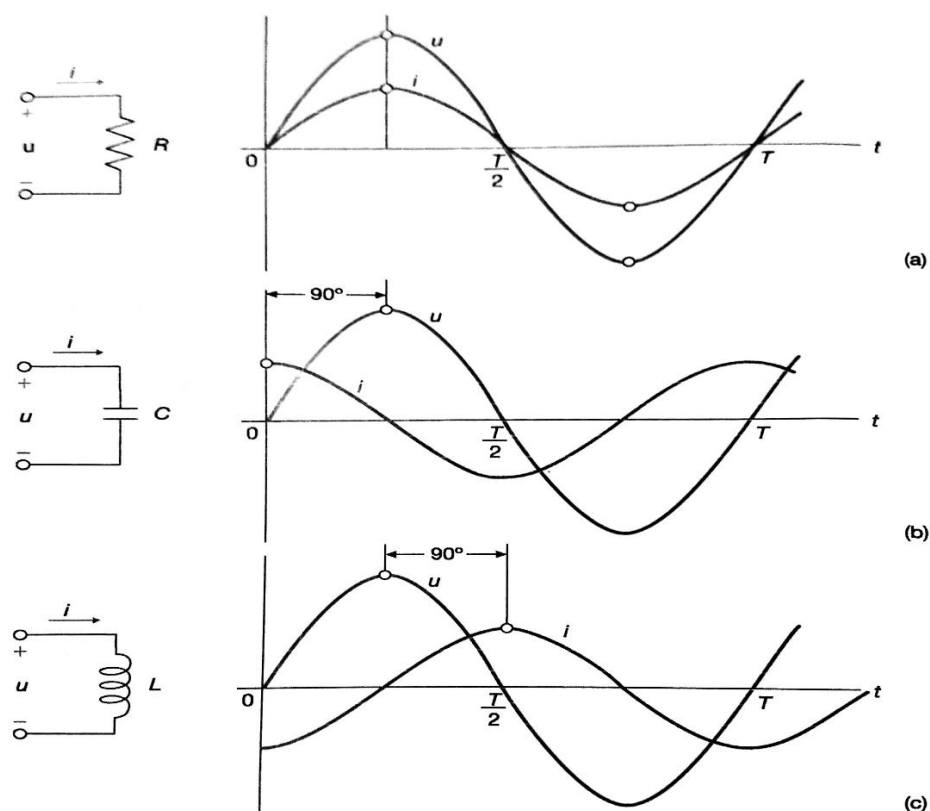


Figura 1: Formas de onda reação à um: (a) resistor; (b) capacitor; e (c) indutor.

Fonte: PINTO, 2014.

Essas características apresentadas podem ocorrer na prática de formas variadas, devido à própria construção de cada componente ou mesmo por eles estarem associados entre si para compor um sistema, fazendo com que alguns sistemas cheguem quase atingir a perpendicularidade capacitiva ou indutiva (BOYLESTAD, 2012).

Como exemplos de cargas resistivas temos, os fornos elétricos de aquecimento resistivo, lâmpadas incandescentes e halógenas, fogões e aquecedores elétricos infravermelhos, secadores de cabelo, aparelhos tipo ferro de solda, chuveiros elétricos, entre outros. Dentre as cargas reativas temos como exemplo de capacitivas, os aquecedores de água (ebulidores) capacitivos, linhas de transmissão e sistemas de correção de fator de potência por capacitores. Muito mais evidentes que as capacitivas, encontramos as indutivas, motores, fornos de indução, fogões indutivos, transformadores, campainhas eletromagnéticas, chaves magnéticas, aspiradores de pó, computadores (fontes chaveada), válvulas solenoides, solda elétrica tipo transformador, e outros (BOYLESTAD, 2012).

2.2 POTÊNCIA ELÉTRICA CA

Eletricamente, potência ativa é o produto do diferencial de potencial (d.d.p.) e a intensidade de corrente elétrica, determinado em watts (W), quando obtido pela relação de potencial em volts (V), corrente em *ampère* (A), levando em conta o fator de potência dado pelo cosseno do ângulo (φ) que é a variação angular entre tensão e corrente, de acordo com equação 1. Sendo em si o trabalho realizado em um intervalo de tempo (FALCONE, 1977).

$$P = E \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad (1)$$

Sendo que:

- Potência ativa (P) em Watts;
- Tensão (E) em Volts;
- Corrente (I) em *Ampère*;
- Cosseno do ângulo φ ($\cos(\varphi)$) adimensional.

Contudo, como se trata de sistemas CA e havendo deslocamento angular entre tensão e corrente, aparece a potência reativa, indutiva ou capacitiva (Q), podendo ser determinada pela equação 2, dado em Volt *Ampère* reativo (VAr). (PINTO, 2014).

A potência reativa não realiza trabalho efetivo, porém é a responsável pela geração do campo eletromagnético, necessário ao funcionamento de inúmeros equipamentos (COPEL, 2017).

$$Q = E \cdot I \cdot \sin(\varphi) \quad (2)$$

Sendo que:

- Potência reativa (Q) em VAR;
- Tensão (E) em Volts;
- Corrente (I) em *Ampère*;
- Seno do ângulo φ ($\sin(\varphi)$) adimensional.

E ao relacionar potência ativa com reativa é encontrada a potência aparente, que pode ser determinada pela soma vetorial dessas potências (CREDER, 2007).

A potência aparente pode ser simplesmente expressa pela equação 3, em Volt *Ampère* (VA). A potência aparente é a grandeza elétrica que juntamente com a tensão do circuito, irá determinar a corrente de carregamento dos condutores (FALCONE, 1977).

$$S = E \cdot I \quad (3)$$

Sendo que:

- Potência aparente (S) em VA;
- Tensão (E) em Volts;
- Corrente (I) em *Ampère*;

2.3 FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência (FP) é dado pela relação entre o deslocamento da onda de tensão elétrica comparado com a de corrente, também chamado de defasagem e quanto maior for essa diferença, menor será o nível de energia (PINTO, 2014).

Para determinar o fator de potência pode-se utilizar do cosseno do ângulo entre tensão e corrente, Equação (4), da razão da resistência (R) pela impedância (Z) as duas em Ohm (Ω), Equação (5) ou ainda da razão da potência ativa pela potência aparente, Equação (6), nas quais será encontrado um valor adimensional, que irá variar de um a zero (PINTO, 2014).

$$FP = \cos(\varphi) \quad (4)$$

$$FP = \frac{R}{Z} \quad (5)$$

$$FP = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Sendo que:

- Fator de Potência (FP) adimensional;
- Cosseno do ângulo φ ($\cos(\varphi)$);
- Resistência (R) em Ω ;
- Impedância (Z) em Ω ;

- Potência ativa (P) em W;
- Potência aparente (S) em VA.

O FP unitário, como o próprio nome atribui, ocorre quando o FP apresenta valor um, assim sendo a tensão está em fase com a corrente, resultando na conversão de toda potência aparente transferida em energia útil, característico em sistemas com cargas resistivas.

Ao diferir de um o FP, apresenta-se então reativo, podendo ser capacitivo ou indutivo, respectivamente conforme o deslocamento angular entre a tensão e a corrente esteja adiantado ou atrasado, decorrente do tipo de carga encontrado no circuito.

2.3.1 Causas e consequências do baixo fator de potência

Em instalações elétricas são encontrados os mais diversos tipos de equipamentos, com grande diversidade de características elétricas, onde muitos apresentam cargas reativas, características a sua construção e funcionamento, como é o caso dos motores, transformadores, capacitores e outros equipamentos que também utilizam a energia elétrica como fonte de força. Tais equipamentos ao desempenharem suas funções, utilizam da energia ativa e também da reativa, de modo que quanto maior for o consumo de energia reativa, para o mesmo consumo de energia ativa, mais baixo será o FP.

O baixo FP é notável em equipamentos antigos ou de baixo custo que em seu projeto e construção não se tem a preocupação com a qualidade do FP, ao aplicar equipamentos sobre dimensionados e equipamentos de pequena potência. São exemplos, transformadores operando a vazio ou subcarregados por longos períodos de tempo, motores com pouco carregamento, utilização de grande número de motores de pequena potência com FP baixo, lâmpadas fluorescente, LED (Light Emitting Diode) e de descarga (vapores metálico, mercúrio ou sódio), que naturalmente apresentam baixo FP. Também causam baixo FP, neste caso capacitivo, os capacitores ligados de maneira permanente, sem o devido controle, tornando a rede capacitiva em horários de baixa carga, principalmente na madrugada (PINTO, 2014).

A ocorrência do baixo FP pode acarretar em aumento nas perdas elétricas por efeito joule, maior queda de tensão, redução da capacidade operacional de transformadores, aquecimento de condutores, aumento no custo das instalações elétricas devido a necessidade de circuitos mais robustos, oscilação da tensão nos circuitos de distribuição e acréscimo na fatura de energia (WEG, 2017).

2.4 LEGISLAÇÃO RELATIVA AO FATOR DE POTÊNCIA

As condições que regulamentam os limites aceitáveis ao FP, estão descritas na resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as condições gerais do fornecimento de energia de forma atualizada e consolidada.

Dispondo em seu artigo 76 que, toda unidade consumidora atendida em tensão secundária (grupo B), mesmo ocorrendo excedente de reativos devido ao baixo FP, estes não podem ser cobrados. Já os consumidores atendidos em tensão primária (grupo A), mesmo quando optam por faturamento com aplicação tarifária do grupo B quando possível, devem ser verificados pela distribuidora por meio de medição permanente do FP, com correspondente cobrança de seu consumo reativo, apreçado conforme sistema tarifário adotado pelo consumidor com sua concessionária (MOREIRA, 2010).

Para deliberar tal cobrança aos consumidores do grupo A, a resolução em seu artigo 95, determina o FP de referência, indutivo ou capacitivo, tendo como limite mínimo permitido, o valor de 0,92. Este valor mínimo alterna entre indutivo ou capacitivo. O artigo 96, da mesma resolução, dispõe sobre o critério de a distribuidora de energia determinar um período de 6 (seis) horas consecutivas, entre 23h 30min e 6h 30min, a verificar somente os FP inferiores a 0,92 capacitivo, e o período diário complementar a este apenas os FP inferiores a 0,92 indutivo (MOREIRA, 2010).

Definindo especificamente o horário de medição da energia reativa capacitiva entre 00h:00min e 06h:00min e o restante do período mede-se a energia reativa indutiva. Porém quando não é possível registrar o consumo desta forma, se utilizará da medição de energia reativa indutiva durante as 24 horas do dia (GUEDES, 2011).

2.5 FORMAS USUAIS DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

Para a manutenção ou adequação do FP a valores superiores a 0,92 em instalações elétricas, são usuais práticas como o correto dimensionamento de motores e equipamentos elétricos em geral, a utilização de reatores com alto FP, motores e transformadores a plena carga.

Contudo quando não se consegue atingir tal objetivo com as práticas acima, surge a necessidade de corrigir o FP de outras formas. Utiliza-se então alguns métodos, um destes, porém pouco comum, é a utilização de motores síncronos paralelo às instalações. Os motores síncronos têm característica de quando sobrecarregado, isso é com corrente de excitação em seu rotor aumentada, gera nele um campo maior que o necessário para fazer o rotor acompanhar o campo girante, desta forma pela interação dos campos, o motor passa a fornecer potência reativa adiantando a corrente da rede corrigindo assim o baixo FP indutivo desta (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

Esses motores síncronos corrigem o FP, da mesma forma que os geradores convenci-

onais o fazem. Contudo por ser um equipamento caro, economicamente torna-se viável a sua utilização para potências acima de 200 CV, desde que tenham longos ciclos de trabalho (CODI, 2014).

Já a forma mais usual e barata, é realizar a correção do FP indutivo com a instalação de capacitores ou banco destes, os quais podem ser mantidos acionados continuamente, atrelados ao acionamento de cada carga ou grupo de cargas, ou com sistemas de controle automático para correção de FP que gerência o acionamento de unidades capacitivas acionando-as conforme a necessidade, para manter o FP em valores desejados (WEG, 2017).

2.5.1 Capacitores

São componentes eletrônicos compostos por placas condutivas, separadores e dielétricos. Montados de forma a aumentar sua área de placa e consequentemente sua capacitância, buscando que não se tornem grandes demais. Sua construção se dá realizando a disposição das placas, separadores e do dielétrico em forma de faixas longas e estreitas, as quais são enroladas sobre si, como é mostrado na figura 2. Podendo o capacitor ter formatos cilíndrico ou retangular, dependendo de como os materiais estão agrupados (BOYLESTAD, 2012).

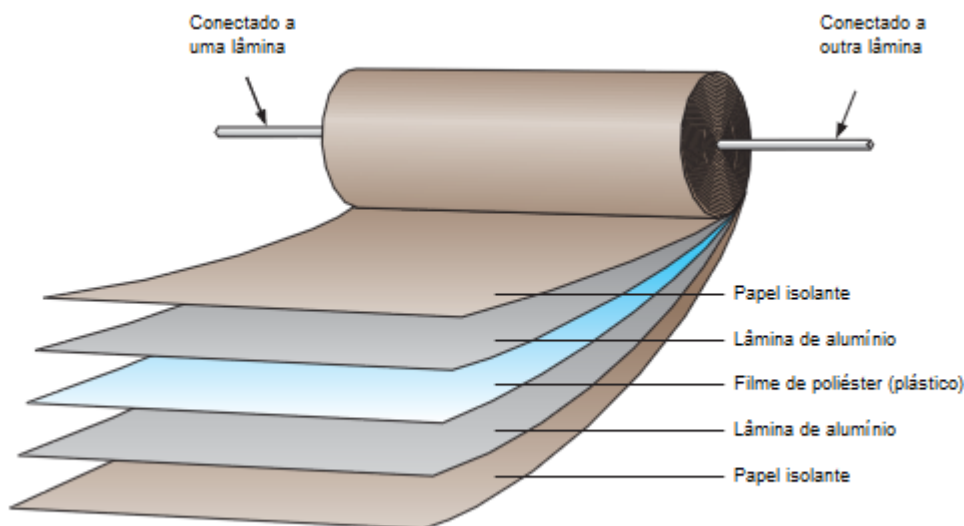


Figura 2: Forma construtiva de um capacitor visando reduzir tamanho.
Fonte: SIEMENS, 2016.

Os capacitores indicados para correção do FP, são fabricados usando filme polipropileno metalizado como dielétrico e encapsulados em canecas de alumínio, equipamentos estes, desenvolvidos especialmente para a correção do FP, utilizados isolados ou montados em forma de bancos de capacitores. Mostrados na figura 3 (SIEMENS, 2016).



Figura 3: Unidades capacitiva monofásica e modulo de capacitores trifásico.

Fonte: WEG1, 2017.

2.6 GERADOR

Geradores são equipamentos denominados máquinas síncronas contudo operando na condição de gerador, para tal recebem energia mecânica em seu eixo com rotação fixa, e a converte, gera energia elétrica, que pode ser em forma de potência trifásica ou monofásica, conforme construção da máquina, os geradores síncronos trifásicos são usados universalmente provendo potência trifásica, contudo podem suprir também cargas monofásicas, desde que ocorra a distribuição dessas cargas uniformemente, a fim de manter o equilíbrio de carga entre as fases (TORO, 1999).

O gerador CA, conhecido também como alternador, pode ter seu funcionamento exemplificado pela figura 4, como apresentado nela tendo a tensão gerada disponibilizada no estator (parte fixa) sendo indicada no galvanômetro, se utiliza de um eletroímã em seu rotor (parte girante), que recebe alimentação de uma fonte CC, através de dois anéis coletores fixos ao rotor, ligados por meio de escovas a parte externa do gerador, que a alimenta com corrente contínua. Está circula pelo bobinado do rotor criando o campo magnético, que ao rotacionar sob ação de força externa, faz com que linhas de campo do rotor atinjam as bobinas do estator, gerando uma tensão induzida que varia conforme a polaridade e densidade magnética do campo eletromagnético induzido (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

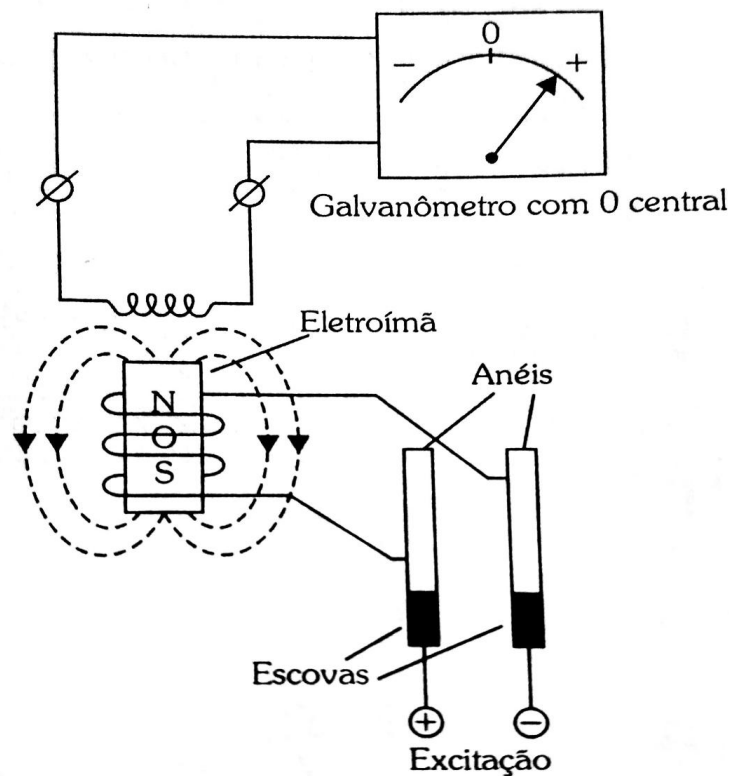


Figura 4: Esquema demonstrativo simplificado de um gerador CA monofásico.

Fonte: NASCIMENTO JUNIOR, 2006.

Tratando-se de geradores trifásicos a cada ciclo rotacional de 360° , ocorre a seguinte ciclo que pode ser entendida ao analisar a figura 5. Nela o rotor de dois polos, parte central de (a) e (b) possui enrolamento de campo, energizado por uma fonte CC a fim de criar o fluxo do polo. O estator parte externa de (a) e (b) tem um enrolamento trifásico equilibrado com o eixo de cada bobina deslocado em 120° (TORO, 1999).

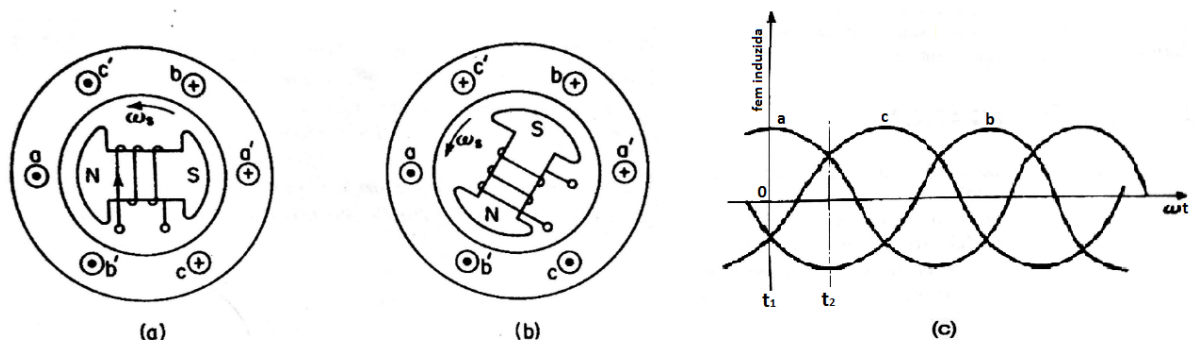


Figura 5: Distribuição da tensão induzida no enrolamento de um gerador síncrono.

Fonte: TORO, 1999.

Considerando o acionamento do rotor por uma força motriz com sentido de giro anti-horário em velocidade síncrona, ocorre em (a) uma tensão instantânea induzida nos lados de bobina a, b', c' em sentido saindo do papel e os lados de bobina a', b, c em sentido entrando

no papel, mostrando o valor máximo positivo da fem induzida na fase a. Ao observar (b) com o rotor deslocado 60° instantaneamente aparece uma fem induzida com um máximo negativo na fase b. Com a representação gráfica das fem's em (c) são mostrados os resultados obtidos em cada posição de giro da máquina no decorrer do tempo (TORO, 1999).

2.7 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No Brasil a geração distribuída é constituída geralmente por usinas termelétricas que foram amplamente utilizadas nas décadas de 1920 a 1950 por grandes consumidores e municípios, a fim de atender suas necessidades de energia elétrica, sendo praticamente extintas a partir da década de 1960, quando entrou em operação grandes hidrelétricas, com energia abundante e a baixo custo (MAMEDE FILHO, 2007).

Voltou a se mostrar notável a geração distribuída quando as indústrias e grandes consumidores comerciais, passaram a instalar usinas termelétricas em suas plantas para atender suas necessidades, advindas do racionamento e altos custos da energia elétrica. Decorrente da crise energética Brasileira de 2001/2002, essas usinas foram interligadas às redes elétricas das concessionárias locais. A essa prática de se ter consumidores com sua própria produção de energia elétrica, interligados a rede pública, podendo esses geradores operarem, somente em horário de ponta quando a energia é extremamente cara, em configuração de cogeração, mantendo a rede pública como suprimento de *back-up*, ou simplesmente mantidos como reserva para em caso emergência na falta de suprimento da rede pública, denomina-se geração distribuída (MAMEDE FILHO, 2007).

2.7.1 Conexão de geração distribuída à rede pública

Para que as usinas de geração distribuída sejam conectadas a rede pública é necessário obedecer a legislação vigente que regulamenta tal interligação, além de seguir os requisitos particulares de cada concessionária onde se localiza o ponto de conexão. Um esquema unifilar tradicional pode ser observado na figura 6, nela estão desenhados os grupos geradores que formam a usina, a Unidade de Supervisão em Corrente Alternada (USCA), barramentos de conexões, disjuntores com intertravamento elétrico, equipamentos auxiliares de controle e proteção.

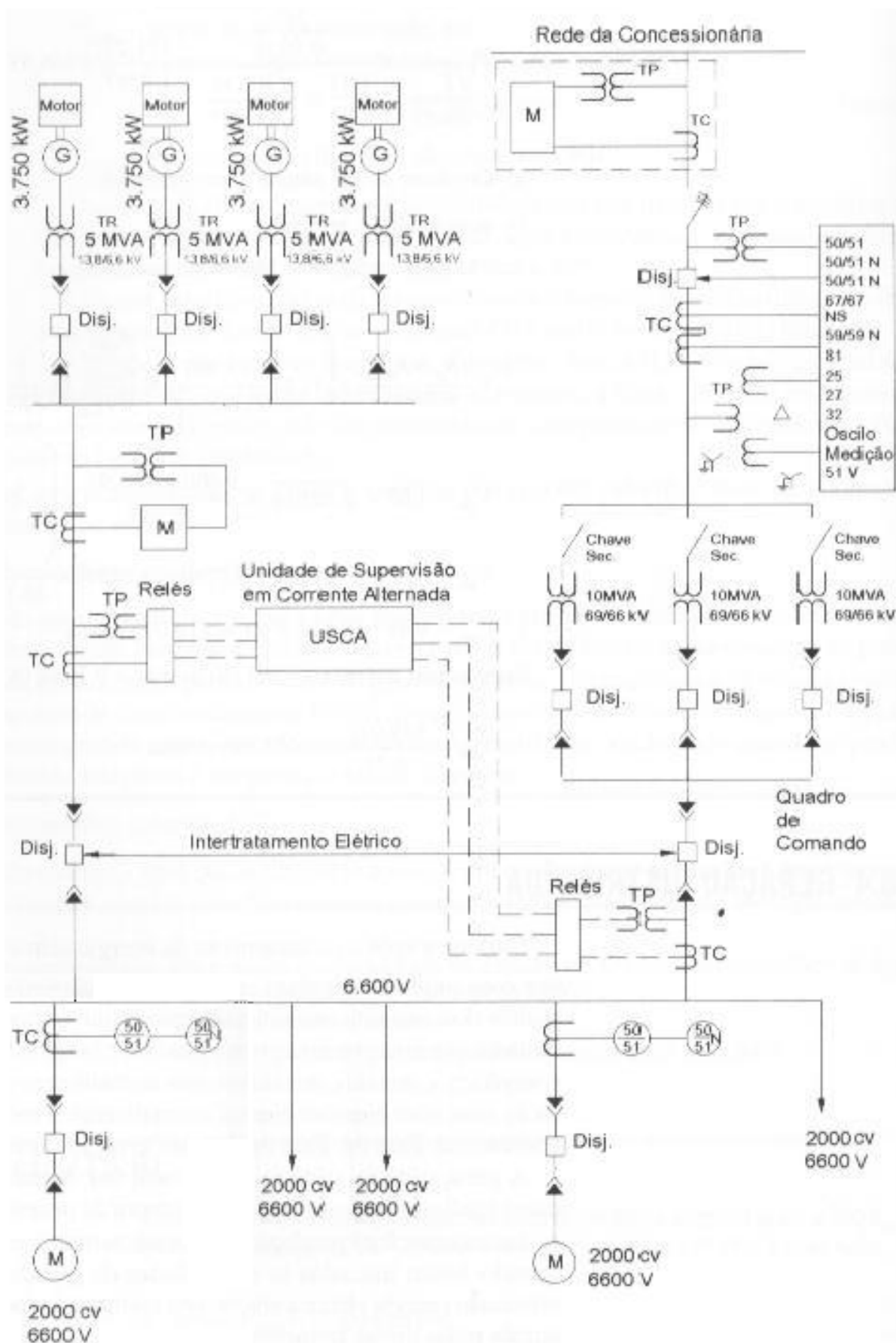


Figura 6: Esquema unifilar de conexão entre uma usina e a rede pública.

Fonte: MAMEDE FILHO, 2007.

Para tornar possível a conexão em paralelo de duas ou mais unidades geradoras em geral de uma usina com a rede pública, todo gerador deve admitir regulagem de velocidade com que se controla a frequência e potência ativa da unidade geradora e ajuste da tensão que determina sua potência reativa.

Deve-se regular tensão e frequência da usina tomando por referência valores da rede pública a qual se pretende conectar, podendo somente fechar o disjuntor efetivando o paralelismo quando estes parâmetros forem iguais ou muito próximos. Atualmente existem sistemas digitais que realizam automaticamente esse processo de sincronia e dispara um comando para o paralelismo, a USCA. Uma única USCA pode gerenciar vários grupos geradores entre si e depois sincronizá-los com a rede externa (MAMEDE FILHO, 2007).

Para realizar o sincronismo necessário para conectar duas fontes geradoras, estas devem estar sob mesma frequência, tensão e defasagem. esta condição pode ser alcançada em geradores que possuam ajustes de tensão e frequência, utilizando-se da ligação encontrada na figura 7. tomando como referência um dos geradores, enquanto o outro deve ser ajustado seguindo os seguintes passos: igualar o nível de tensão, coincidir a sequência de fase e equiparar a frequência. Deve-se observar as lâmpadas. Caso estas pisquem alternadamente entre si, os grupos encontram-se com inversão de fase, para corrigir basta trocar a ligação entre dois dos três condutores de interligação. Caso as lâmpadas mantenham uniforme seu brilho entre si, o conjunto está em fase, então através de um ajuste fino na rotação do gerador acerta-se a defasagem sendo que quanto mais próximo do alinhamento se chega, mais vagarosamente as lâmpadas piscam, até o momento em que elas se mantenham apagadas, indicando assim que o circuito pode ser ligado em paralelo (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

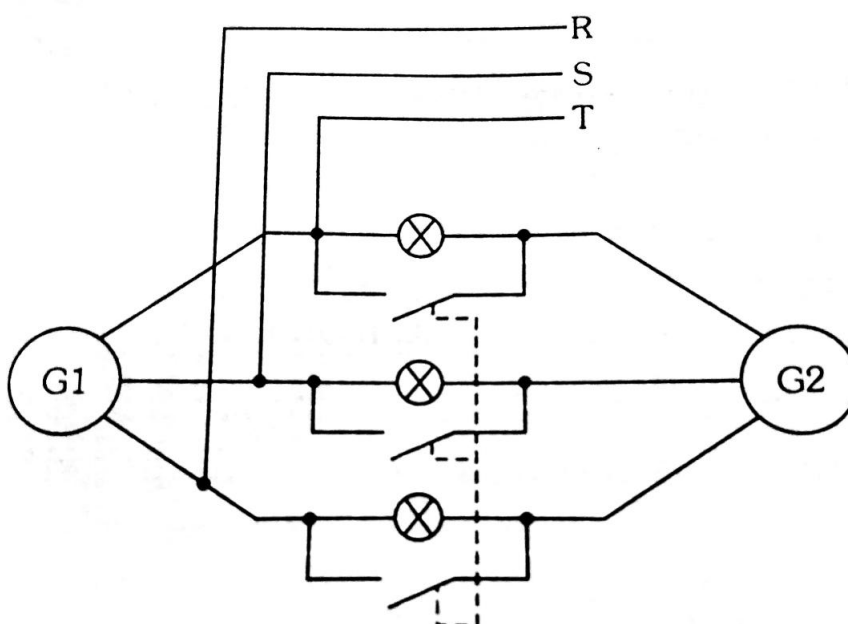


Figura 7: Esquema de ligação para sincronismo entre fontes geradoras.
Fonte: NASCIMENTO JUNIOR, 2006.

A partir do momento que o circuito está fechado, as máquinas ficam amarradas eletromagneticamente, impossibilitando que varie sua frequência ao variar o torque da força motriz, entretanto tal variação passa a determinar quanta potência ativa será disponibilizada pelo gerador. Quanto a variações na corrente de excitação não mais inferirá em alteração no nível de tensão e sim na potência reativa (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Buscar desenvolver o estudo do comportamento de geradores, ao ter em mente que, um motor síncrono corrige o FP da mesma forma de um gerador convencional segundo (CODI, 2014), pretende-se então buscar identificar as reações deste quando utilizado a fim de manter o FP, dentro de valores que atendam a legislação vigente.

Surge como opção para desenvolvimento deste estudo o uso de dois grupos geradores, buscando a não dependência de conexão com a rede elétrica pública. Assim utilizando-se de um Grupo Motor Gerador a diesel (GMG1) de grande potência, o qual fará papel de rede elétrica, e um segundo Grupo Motor Gerador (GMG2) de menor potência, desempenhando a função de gerador a ser sincronizado.

Com o GMG2 sincronizado ao GMG1, torna-se possível verificar através de um Multimedidor de grandezas elétricas, que variando a corrente de excitação do GMG2, este não varia sua geração de potência ativa, contudo produz mais ou menos potência reativa (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

Quanto a aquisição de dados, será realizada sob as seguintes condições: anotação de leituras relativas à frequência, as potências ativas, reativas e aparente, ao somatório das correntes de fase, a tensão média de fase-neutro e ao FP, com três multimedidores de grandezas elétricas dispostos: um em cada GMG e um na carga. Prática realizada a fim de registrar as ocorrências, nos três pontos de leituras em três momentos de ensaio sendo: antes, durante e após o acoplamento, obtendo assim dados com o conjunto operando isolado e também em paralelismo.

3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Para o processo de sincronização, pretende-se utilizar a prática de interligação entre grupos geradores, proposto por (NASCIMENTO JUNIOR, 2006), utilizando-se do esquema de ligação da figura 7, já apresentada anteriormente. Associado a este modelo, será instalado uma chave (CH1) e um multimedidor de grandezas elétricas no ponto referido como (R, S, T), destinando-se à ligação e medição da carga teste. No ponto da conexão de cada GMG ao referido circuito também será instalado um multimedidor de grandezas elétricas, a fim de monitorar as condições dos equipamentos, possibilitar o sincronismo e coleta de dados destinados ao estudo proposto. Estes já possuem chave disjuntor como proteção para sobrecarga e curto-circuito. O GMG2 deve ter em seu circuito de excitação um controle ajustável manualmente, a fim de possibilitar a variação da sua corrente de excitação.

Com a finalidade da realização do levantamento de dados, aciona-se os GMG's conecta-

se a carga (CH1) ao GMG1, realiza-se a sincronização do GMG2 ajustando o torque de forma que este assuma o mínimo de potência ativa possível, em seguida varia-se a excitação do GMG2 através de sua placa controladora que pode ser observada na figura 8, para obter a variação na potência reativa disponibilizada por este no sistema. Registra-se as leituras encontradas nos multimedidores de grandezas elétricas, mostrados na figura 9 indicando leitura de instantes antes do paralelismo.



Figura 8: Placa controle excitação GMG2.

Fonte: Autor, 2018.

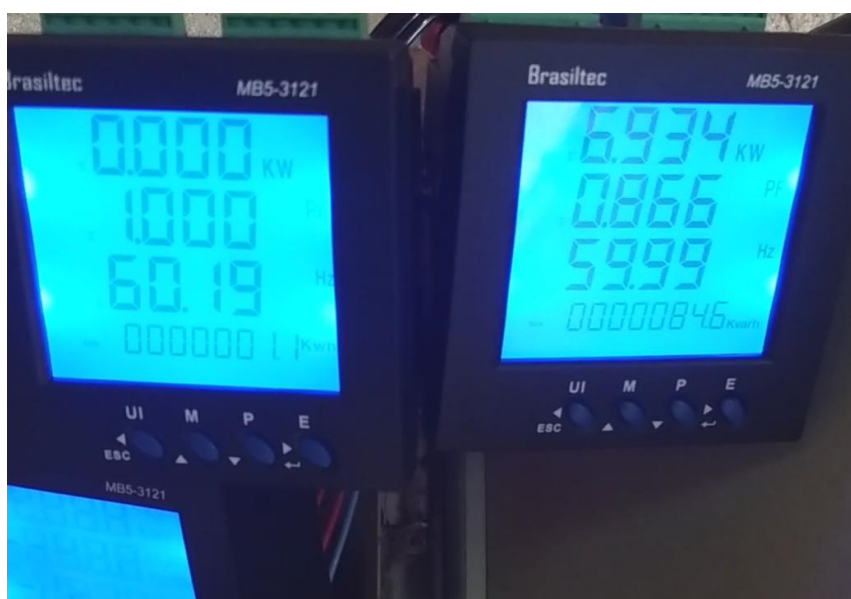


Figura 9: Multimeditores (esquerda GMG2 e a direita GMG1).

Fonte: Autor, 2018.

3.3 CUSTOS

A realização desse estudo requer a utilização de vários materiais um tanto quanto comuns, mas também de equipamentos bem específicos, que apresentam alto valor, assim sendo se fez necessário buscar a obtenção destes por meio de empréstimo, gerando assim um menor custo para a utilização dos mesmos e custos devido ao transporte. Já os materiais comuns, incluindo os de consumo, foram adquiridos. As quantidades dos principais materiais e equipamentos utilizados no projeto com seu custo, encontram-se relacionados, na Tabela 1.

Tabela 1: Relação de materiais e custo para o projeto.

Equipamento	Quantidade	Custo Total
Carga para ensaio (aviário) e GMG2 (deslocamento)	01 Unidade	R\$60,00
GMG1 (transporte)	01 Unidade	R\$500,00
Multimedidor (aquisição)	01 Unidade	R\$980,00
Multimedidor (empréstimo)	02 Unidades	R\$50,00
Conversor RS485-USB	01 Unidade	R\$70,00
Transformadores de Corrente	09 Unidades	R\$360,00
Lâmpadas e porta lâmpadas	03 Conjuntos	R\$20,00
Chave para paralelismo (empréstimo)	01 Unidade	R\$50,00
Cabos e terminais	01 Conjunto	R\$120,00
Combustível	60 Litros	R\$210,00
Custo total		R\$2.420,00

Fonte: AUTOR (2018)

3.4 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados no experimento já foram brevemente elencados nos custos e a seguir serão apresentados de forma mais detalha.

3.4.1 Cargas de teste

O conjunto de carga teste utilizada foi encontrada nas instalações de uma unidade avícola de corte de propriedade do senhor José Angelo Gussi, localizado no ramal U, lote 182, Chácaras Tupãssi em Assis Chateaubriand, estado do Paraná, especificamente um aviário do conjunto, composto este por elementos com características, resistivas e reativas, com alimentação trifásicas e tensão de linha 220V.

Através do levantamento de dados no aviário em questão, foi encontrada um total 27.800W de carga instalada, com as principais cargas que o compõe relacionadas na Tabela 2.

Contudo, segundo o proprietário, devido a variação climática e o desenvolvimento dos

frangos, os equipamentos não são utilizados todos ao mesmo tempo, utilizando assim 15.656W de potência máxima demandada ao considerar a simultaneidade dos equipamentos acionados no decorrer do lote.

Tabela 2: Relação de cargas do aviário.

Equipamento	Quantidade
Painel de controle automatizado	01
Lâmpadas LED	56
Motores linha ração 0,37kW	04
Motores linha silo 0,37kW	01
Motores exaustores 1,1kW	10
Motor bomba nebulizador 1,5kW	01
Motores bomba colmeia 0,37kW	02
Aquecedor resistivo 10.000W	01
Motor forno aquecimento lenha 2,2kW	01
Total de equipamentos	77
Fonte: AUTOR (2018)	

3.4.2 Grupos motores geradores

Caracterizado como protagonistas do projeto, os GMG's utilizados para o desenvolvimento deste, apresentam as características descritas a seguir.

O GMG1, grupo motor gerador a diesel, com potência contínua por tempo ilimitado de 676kVA e emergencial ou intermitente de 750kVA, fabricante Daewoo, modelo do motor P222LE, com potência mecânica de 883CV, número de cilindros 12 com disposição em V, o qual pode ser observado na figura 10 (MAMEDE FILHO, 2007).

Este tem por finalidade realizar o suprimento de energia elétrica simulando a rede pública, a fim de alimentar a carga.



Figura 10: Grupo motor gerador 1.

Fonte: Autor, 2018.

O GMG2, grupo motor gerador a diesel com potência contínua de 86,4kVA e emergencial ou intermitente de 100kVA, frequência 60Hz, fabricante do gerador Nova motores e geradores Ltda., acionado por motor de 6 cilindros com disposição em linha Mercedes-Benz, dados estes levantados do equipamento existente na propriedade, onde se realizou o ensaio, GMG2 na figura 11.

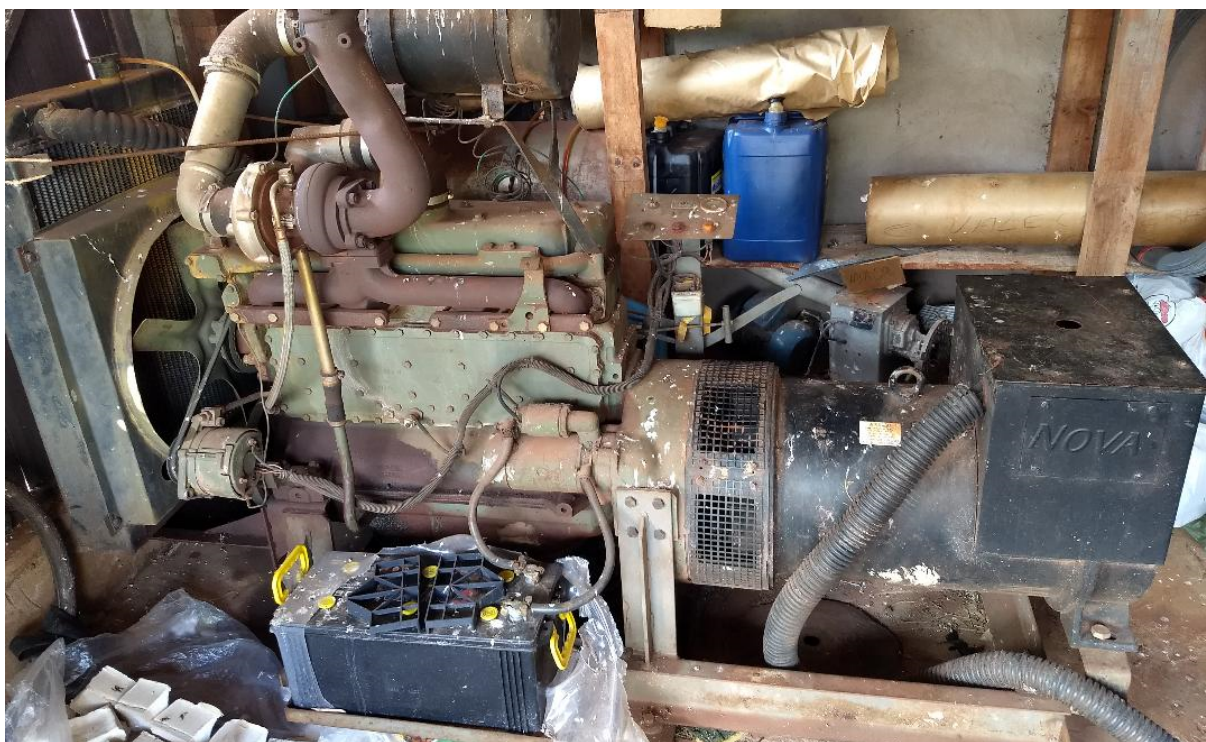


Figura 11: Grupo motor gerador 2.

Fonte: Autor, 2018.

Este componente já existente na instalação, destina-se a suprir eventuais falhas no for-

necimento de energia elétrica por parte da concessionária local, trabalhando de forma isolada. Para a utilização deste no experimento, foi necessário alterar sua instalação, que após o procedimento de teste, retornou a forma e função original.

3.4.3 Instrumentos

Para a realizar o experimento, foram utilizados como instrumentos de medição três multimedidores MB5-3121 da marca Brasiltec automação industrial EIRELLI, cujas características podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3: Características multimedidor MB5-3121.

Parâmetro	Valor
Máxima tensão de fase	289V
Máxima tensão de linha	500V
Saída serial	1 serial RS485 com protocolo Modbus
Precisão da tensão	0,5%
Precisão da corrente	0,5%
Precisão de medição de consumo	Classe 1 conforme IEC 62053-21
Temperatura de operação	−25°C até 55°C
Umidade de operação	0% até 90% sem condensação
Dimensões externas	96x96x52mm
Dimensões do recorte no painel	92x92mm
Fonte: BRASILTEC (2018)	

As medições realizadas pelos multimedidores, foram adquiridas através de conexão com alimentação de tensão trifásica, feita por quatro fios, sendo três fases e um neutro, e alimentação de corrente sob modo de amostra, por três transformadores de corrente com relação 300/5A da marca Brasiltec automação industrial EIRELLI, cujas características podem ser observadas Tabela 4.

Tabela 4: Características transformadores de corrente.

Parâmetro	Valor
Corrente no secundário	5A
Máxima tensão	660V
Frequência de operação	50/60Hz
Precisão	0,5% do fundo de escala
Tensão de teste	3000V (1 minuto)
Sobrecarga contínua	1,2In
Temperatura de operação	−10°C 50°C
Corrente térmica (Ith)	60In
Fonte: BRASILTEC (2018)	

Para a realização das leitura, os multimedidores são dotados de comunicação serial

RS485 com protocolo MODBUS que ligado através de um conversor serial RS485 para USB da Brasiltec, a um computador que tenha instalado o software Supervisory Ágil também da marca Brasiltec automação industrial EIRELLI, este disponível em http://arquivos.brasiltec.ind.br/install_supervisory.exe, pode ser realizado o armazenamento das informações obtidas pelo multimedidor, que de outra forma somente seria possível a visualização das informações nas telas dos instrumentos. O Software se trata de uma versão para avaliação, disponível para testes por um período de quinze dias. Quanto ao conversor tem suas características descritas na Tabela 5, (BRASILTEC, 2018).

Tabela 5: Características Conversor RS485 para USB.

Parâmetro	Valor
Tipo	Converte sinal serial RS485 para USB 2.0
Chipset	CH340
Compatibilidades	Windows XP, 7, 8, e 10
Velocidade da comunicação	115200 bps
Distância de comunicação	1200 metros
Dimensões	61 x 19 x 13mm
Peso	12 gramas
Temperatura de trabalho	-40°C até 65°C

Fonte: BRASILTEC (2018)

Com a utilização do conjunto multimedidor associado a um software computacional facilitou o processo de aquisição dos dados, e processamento destes com a utilização de planilhas eletrônicas.

4 RESULTADOS

Após a aquisição de dados passou-se para o processo de gerar informação, a fim de mostrar o comportamento das grandezas elétricas obtidas em cada ponto de leitura durante o experimento. Apresentam-se os resultados a seguir divididos em três estágios cronológicos do ensaio: antes, durante e após o acoplamento, visando tornar mais fácil o entendimento.

Nos resultados a seguir apresentados, deve ser levado em consideração as margens de erro dos multimedidores e transformadores de corrente, valores estes já apresentados anteriormente.

As medições anotadas são de caráter instantâneo, assim foi percebido que para a realização do registro das leituras, existe uma ordem de varredura sequencial iniciando na leitura da primeira grandeza elétrica a ser medida do primeiro multimedidor, seguindo uma sequência até atingir a última leitura do último multimedidor e inicia-se o ciclo novamente, tendo um tempo de varredura na ordem fracionária de segundo para cada registro lido. Desta forma surgiram variações nos valores das leituras, possivelmente por cada ponto ter sido lido e registrado em momentos diferentes.

4.1 ANTES DO ACOPLAMENTO

Com os equipamentos ligados, porém com a carga sendo alimentada somente pelo GMG1 e o GMG2 estando isolado, pronto para entrar em paralelismo com o GMG1, assim ocorreu essa etapa do ensaio.

4.1.1 Frequência

O comportamento da frequência entre GMG1 e carga, se mostraram idênticos. O resultado do GMG2 apresentou-se distinta com pequenas variações, como apresentado graficamente na figura 12, resultado este esperado devido estarem operando desconectados.

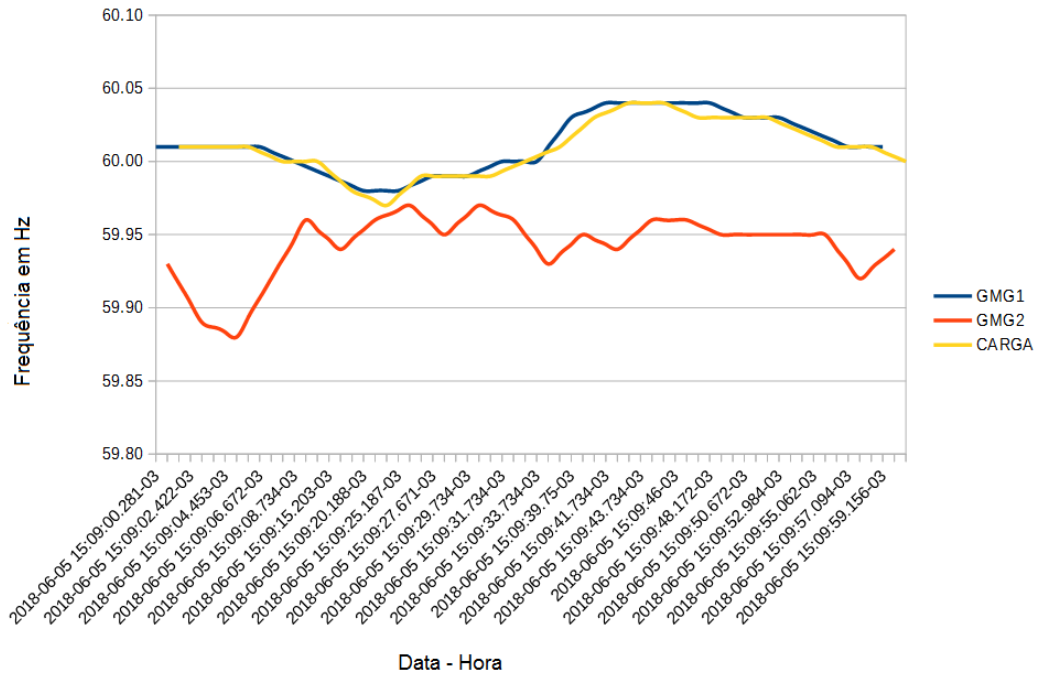


Figura 12: Comportamento da frequência antes do acoplamento.
Fonte: AUTOR, 2018.

4.1.2 Potência ativa

O comportamento da potência ativa entre GMG1 e carga se mostraram semelhantes, já o GMG2 não produziu potência ativa, como apresentado graficamente na figura 13.

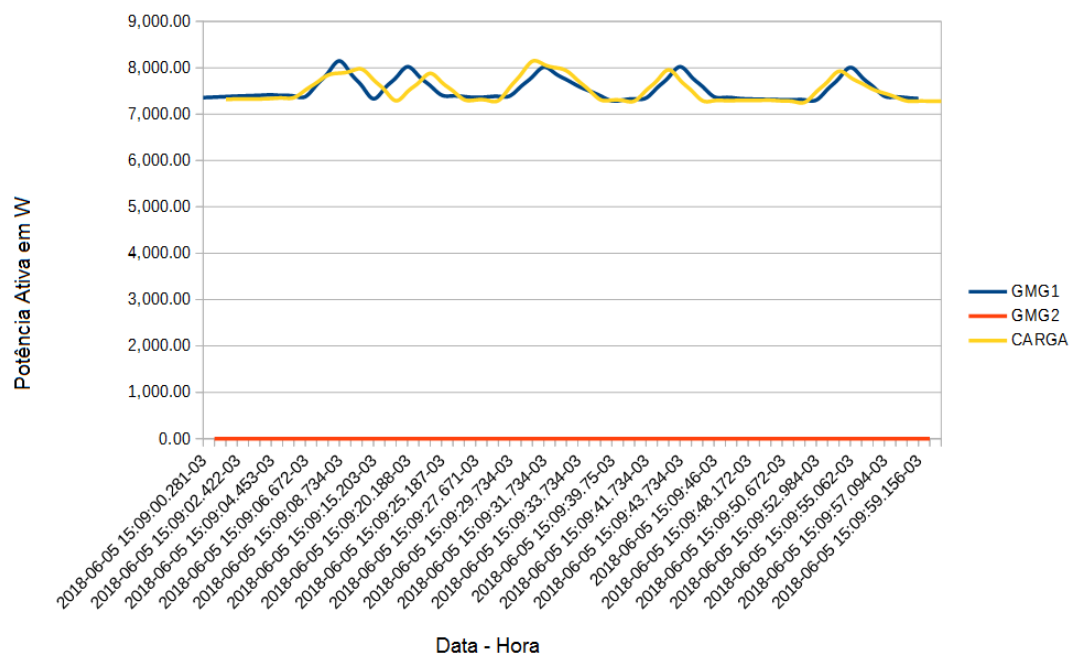


Figura 13: Comportamento da potência ativa antes do acoplamento.
Fonte: AUTOR, 2018.

4.1.3 Potência reativa

O comportamento da potência reativa entre GMG1 e carga se mostraram semelhantes, respectivamente um gerando e o outro consumindo, já o GMG2 não produziu potência reativa, como apresentado graficamente na figura 14.

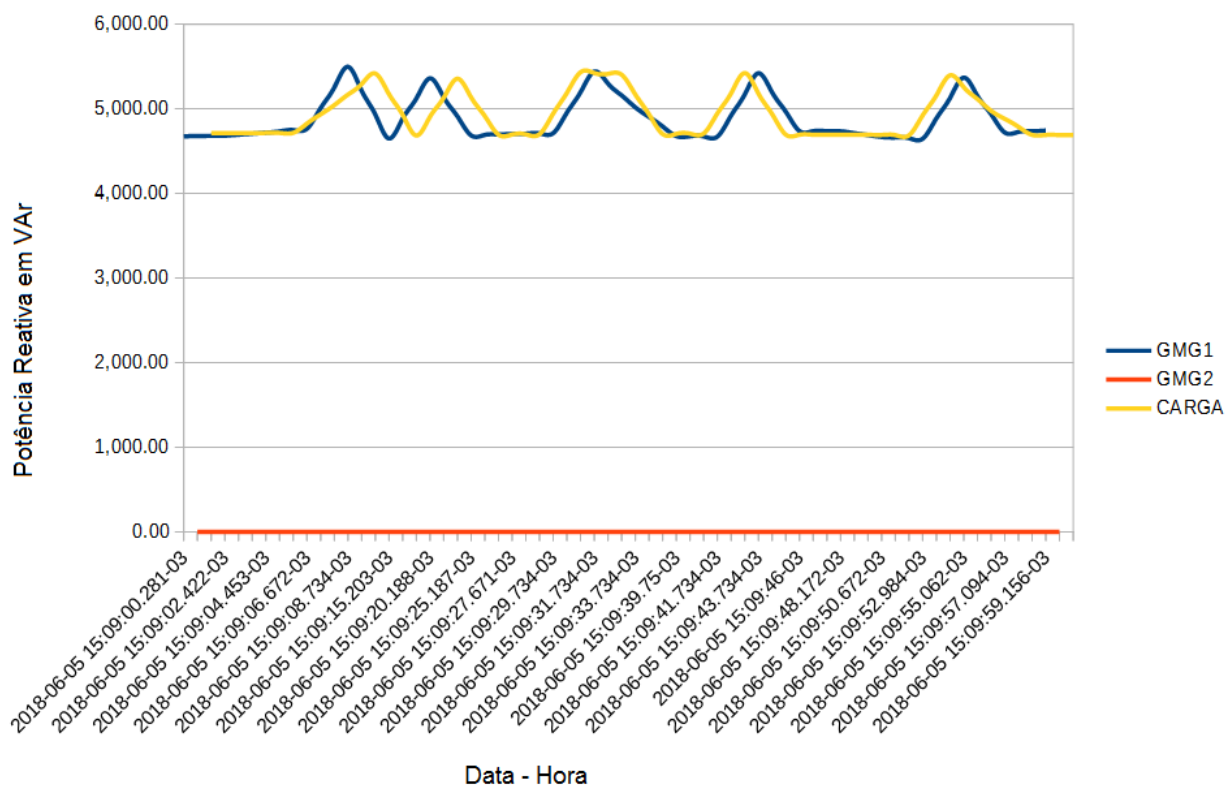


Figura 14: Comportamento da potência reativa antes do acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.1.4 Potência aparente

O comportamento da potência aparente entre GMG1 e carga se mostraram semelhantes entre si, já o GMG2 não produzindo as potências ativas e reativas, como era de se esperar também não produziu potência aparente, o que é apresentado graficamente na figura 15.



Figura 15: Comportamento da potência aparente antes do acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.1.5 Somatório das correntes de fase

O somatório das correntes de fase do GMG1 e carga se mostraram semelhantes, já o GMG2 não produziu corrente em suas fases, como apresentado graficamente na figura 16.

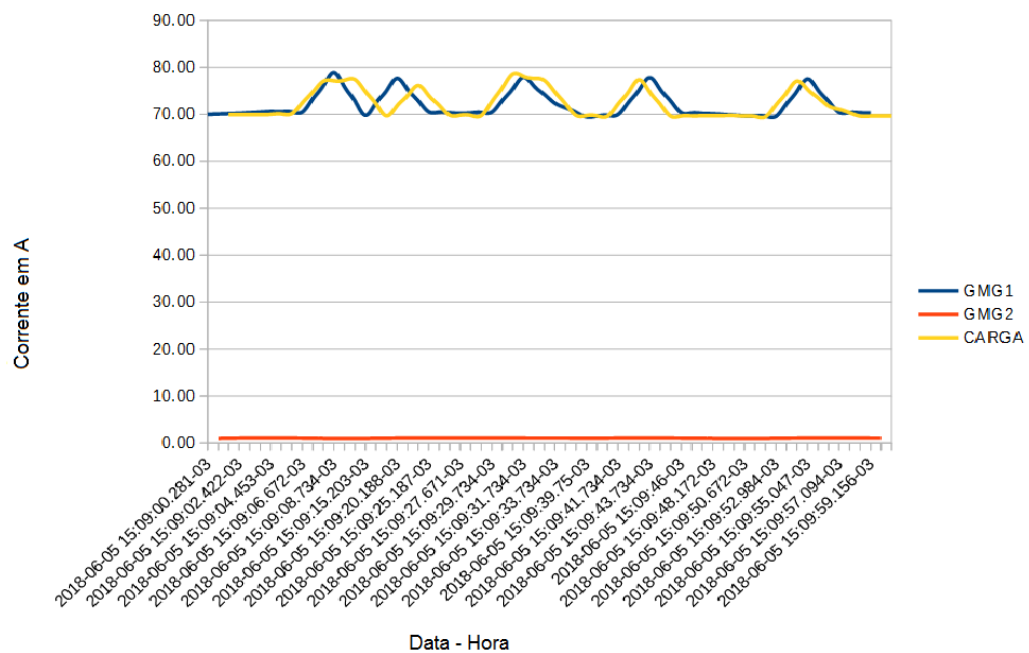


Figura 16: Comportamento somatório das correntes de fase antes do acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.1.6 Tensão média de fase-neutro

O comportamento da tensão média de fase-neutro entre GMG1 e carga, mostraram-se idênticas e juntas descreveram pequenas oscilações com o passar do tempo. Quanto ao GMG2 manteve a tensão estável e independente, como apresentado graficamente na figura 17, mostrando que os GMG's estavam desconectados.

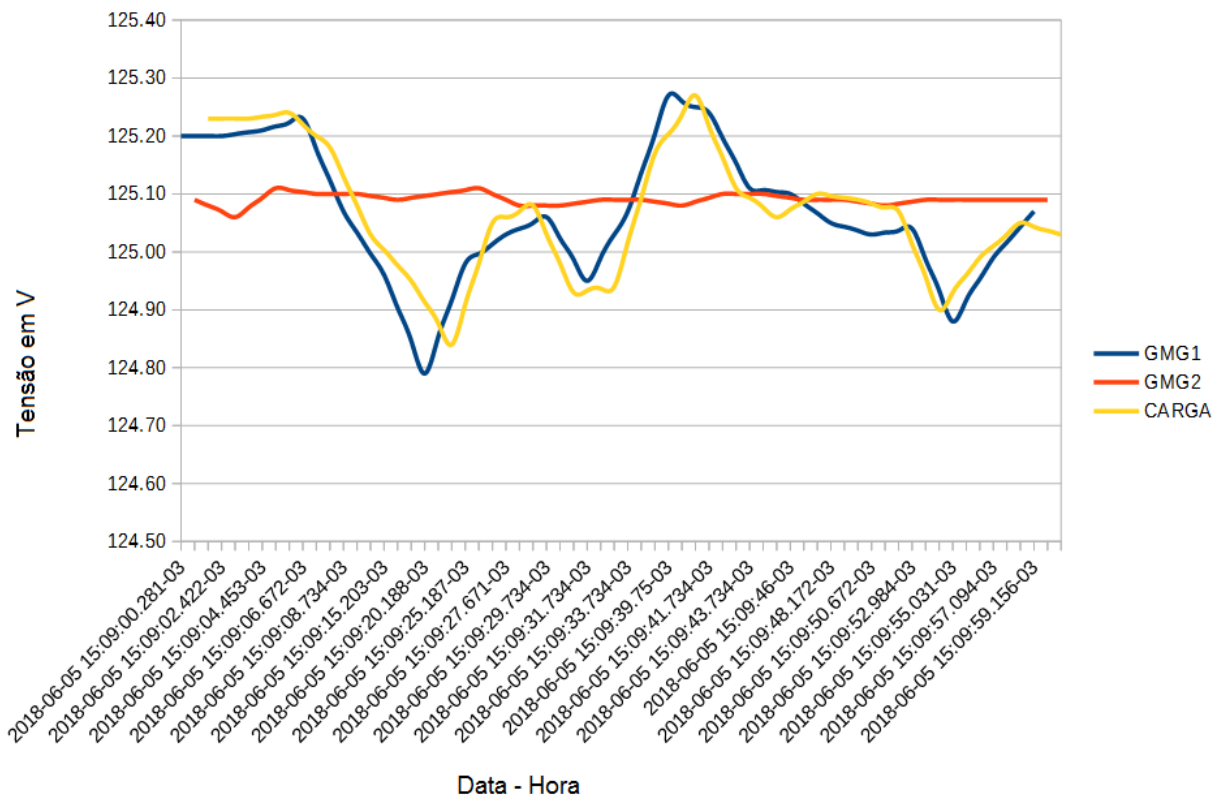


Figura 17: Comportamento da tensão média de fase-neutro antes do acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.1.7 Fator de potência

O comportamento do FP entre GMG1 e carga se mostraram semelhantes com pequenas variações e o FP do GMG2 se manteve estável em valor unitário, como apresentado graficamente na figura 18.

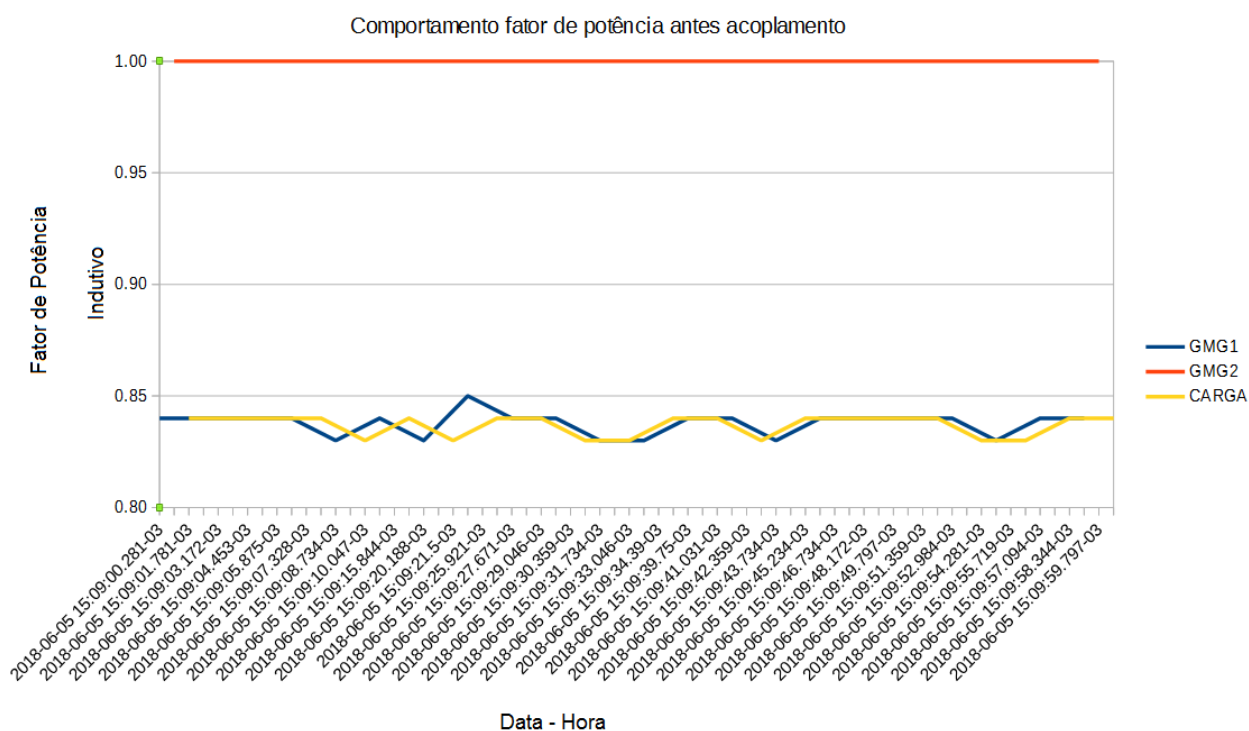


Figura 18: Comportamento do fator de potência antes do acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.2 DURANTE O ACOPLAMENTO

Partindo do estado inicial onde os equipamentos encontram-se ligados, porém com a carga sendo alimentada somente pelo GMG1 e o GMG2 estando isolado, e pronto para paralelizar com o GMG1. Foi feito o processo de paralelismo entre os GMG's, a fim de precisar o momento do paralelismo, este ocorreu no instante logo a seguir da data e hora, 05 de Junho de 2018 as 15:09:59.797.

4.2.1 Frequência

Inicialmente existia uma diferença entre as leituras de frequência do GMG2 para com o GMG1 e carga, que a partir do momento que se interligou os equipamentos a frequência dos três passaram a estar equiparadas, como pode ser observado graficamente na figura 19.

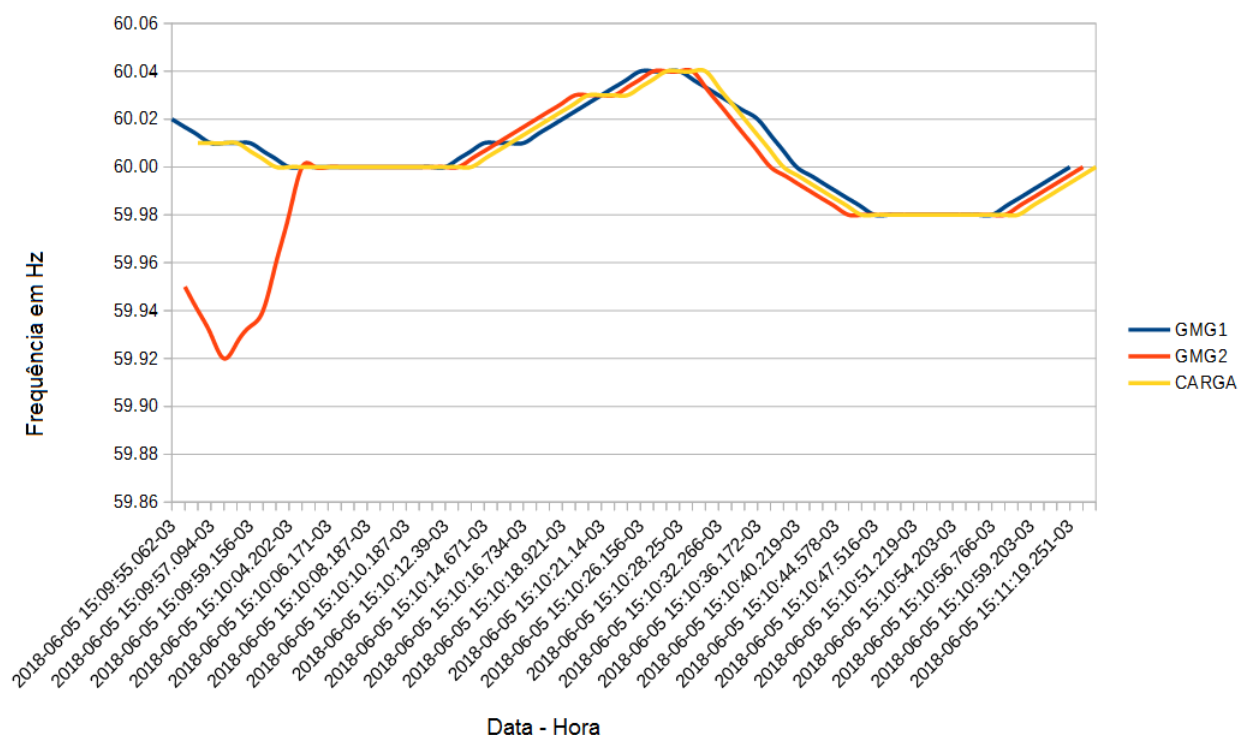


Figura 19: Comportamento da frequência durante o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.2.2 Potência ativa

Antes do paralelismo a potência ativa do GMG2 era nula, a partir do momento que se interligaram os equipamentos, este passou a consumir potência do GMG1 até ter seu torque ajustado, fazendo com que o GMG2 não mais consumisse e nem gerasse potência ativa. Isso pode ser observado graficamente na figura 20, sendo notável que a potência da carga mantém-se praticamente constante todo o tempo, enquanto a potência dissipada do GMG1 aumenta nos instantes que o GMG2 consome, e quando este último deixa de consumir, as linhas de potência entre GMG1 e carga, voltam a se equiparar.

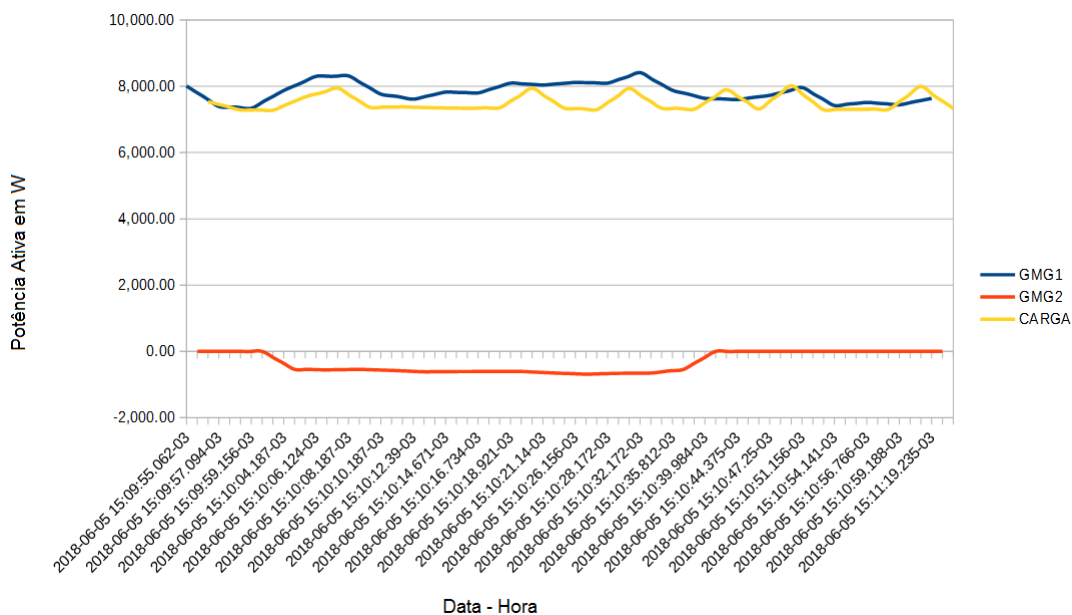


Figura 20: Comportamento da potência ativa durante o acoplamento.
Fonte: AUTOR, 2018.

4.2.3 Potência reativa

Até o paralelismo a potência reativa do GMG2 era nula, a partir do momento que se interligaram os equipamentos, este passou a consumir potência reativa indutiva do GMG1. Isso pode ser observado graficamente na figura 21, sendo notável que a potência reativa da carga se manteve estável, enquanto a dissipada do GMG1 aumentou e o GMG2 absorveu potência reativa, assim os GMG's se mantiveram estáveis, de forma proporcionalmente oposta.

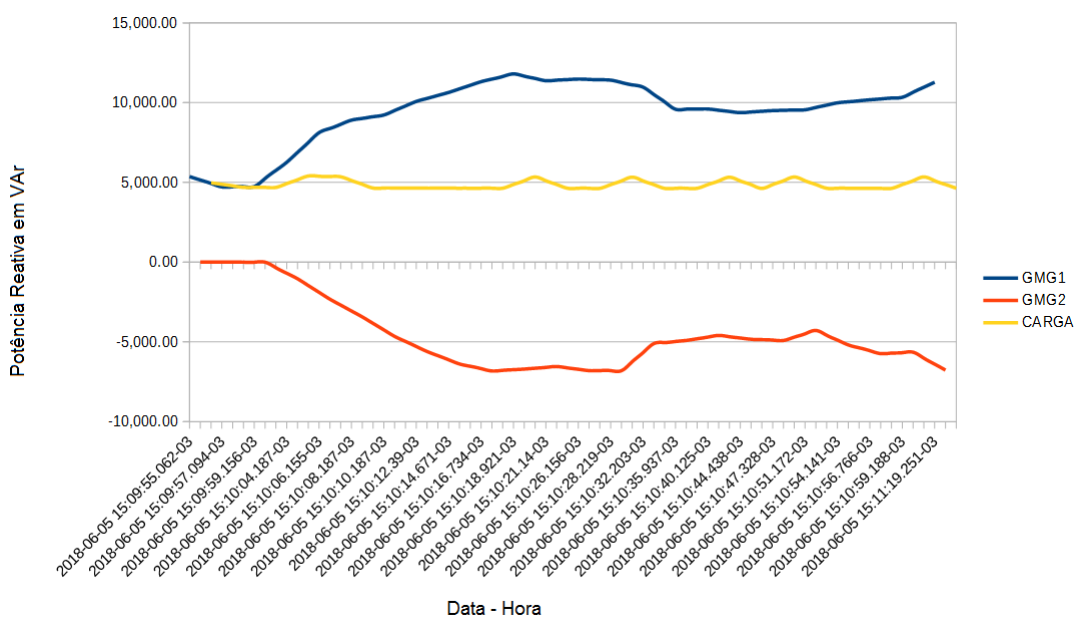


Figura 21: Comportamento da potência reativa durante o acoplamento.
Fonte: AUTOR, 2018.

4.2.4 Potência aparente

O conjunto apresentou potência aparente equiparada entre GMG1 e carga, porém sem nenhuma potência aparente no GMG2 até o paralelismo, a partir deste o seu comportamento foi de manutenção estável na carga e elevação das potências aparentes dos GMG's, mostrado graficamente na figura 22. Ocorrendo o surgimento do acréscimo na potência aparente no GMG1 de forma proporcional ao aumento ocorrido no GMG2.

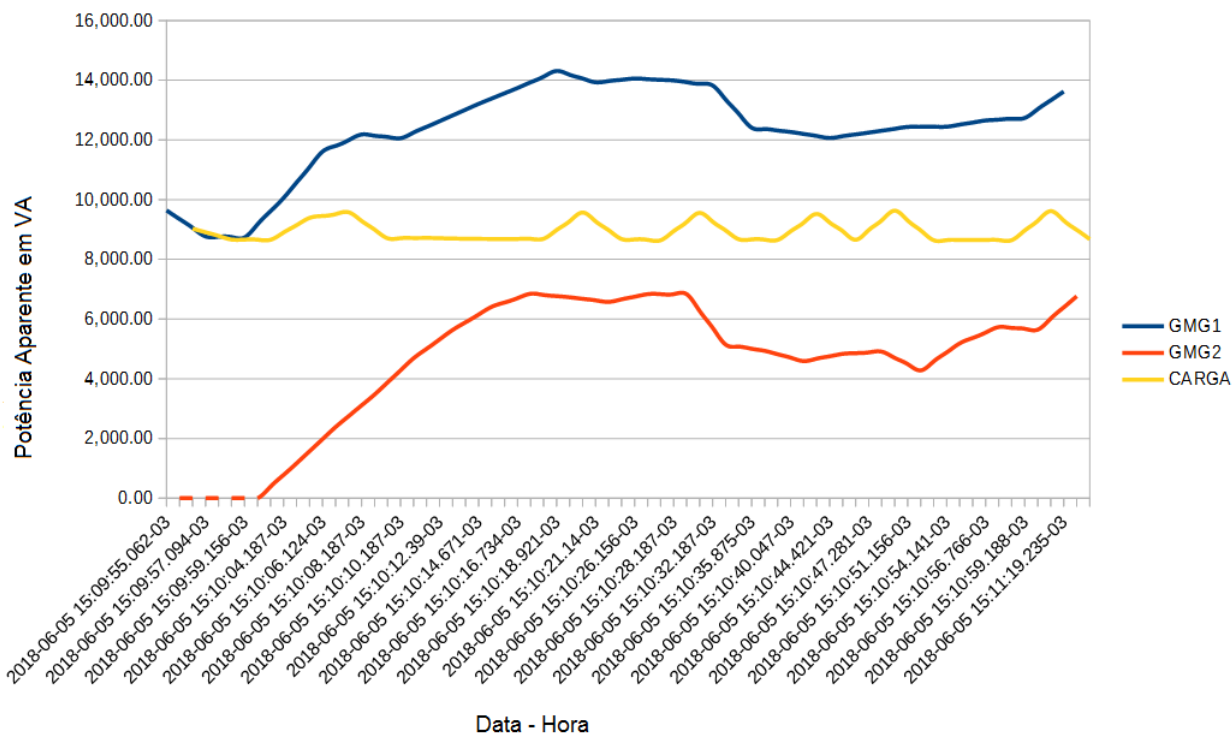


Figura 22: Comportamento da potência aparente durante o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.2.5 Somatório das correntes de fase

Nos momentos que antecedem o paralelismo, as correntes somadas de fase do GMG1 e carga se mostravam semelhantes e o GMG2 não produziu corrente em suas fases. A partir do paralelismo, a carga manteve o somatório das correntes e os GMG's as elevaram, contudo, se mantiveram estáveis, com certa proporcionalidade entre si. Condições apresentadas graficamente na figura 23.

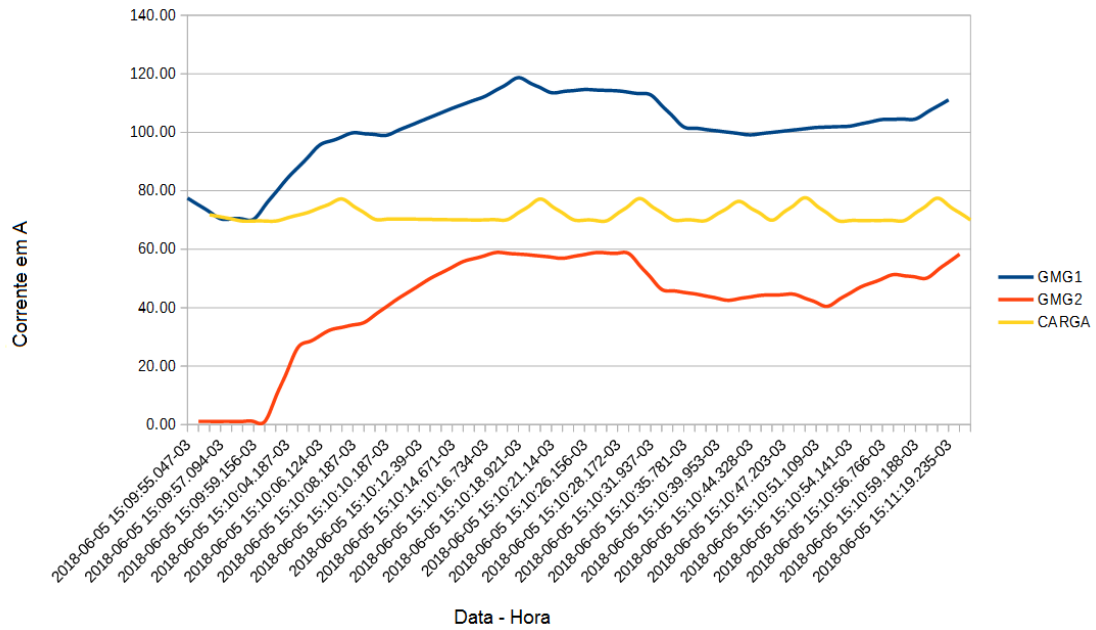


Figura 23: Comportamento do somatório das correntes de fase durante o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.2.6 Tensão média de fase-neutro

No momento anterior ao paralelismo, a tensão do GMG2 comparada com as tensões do GMG1 e carga apresentaram pequena diferença que diminuiu após o acoplamento mantendo-se estáveis, agrupadas e variando juntas no decorrer do tempo, como pode ser observado graficamente na figura 24.



Figura 24: Comportamento da tensão média de fase-neutro durante o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.2.7 Fator de potência

O comportamento do FP até o momento do acoplamento, foi unitário para o GMG2 e próximo a 0,85 para o GMG1 e carga que se manteve alinhados. A partir do acoplamento o GMG2 assumiu FP com valores por volta de 0,10, o que alterou o FP do GMG1 para próximo de 0,60, como apresentado graficamente na figura 25. foi percebido que ao final do gráfico o registro de FP do GMG2 passou a indicar valor unitário, mesmo que o GMG1 não tenha alterado seu FP e o GMG2 continuar gerando potência reativa como mostrado na figura 21, atribuiu esse fato a ser uma falha de leitura do multimedidor, devido a potência ativa apresentar nula conforme figura 20.

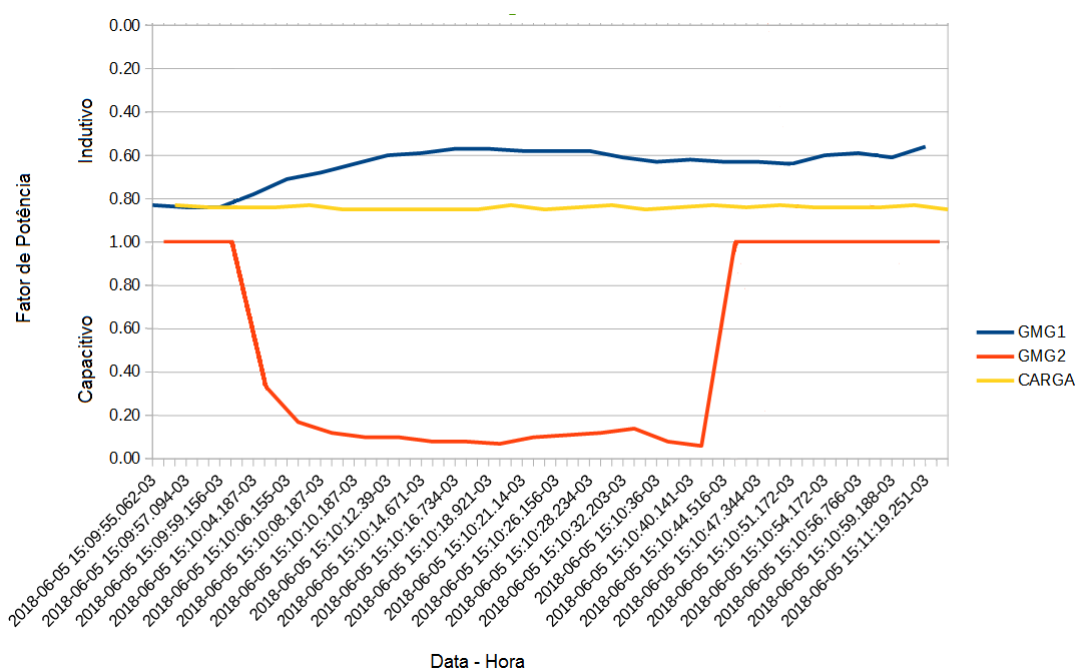


Figura 25: Comportamento do fator de potência durante o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.3 APÓS O ACOPLAMENTO

Em continuação ao experimento após o paralelismo, foi dado início ao processo de ajustagem da corrente de excitação do GMG2, a fim de obter informações do comportamento de suas grandezas elétricas, e reação do conjunto.

4.3.1 Frequência

Durante a variação na corrente de excitação, a frequência do GMG1, GMG2 e carga, se mantiveram estáveis e agrupadas, como pode ser observado graficamente na figura 26.

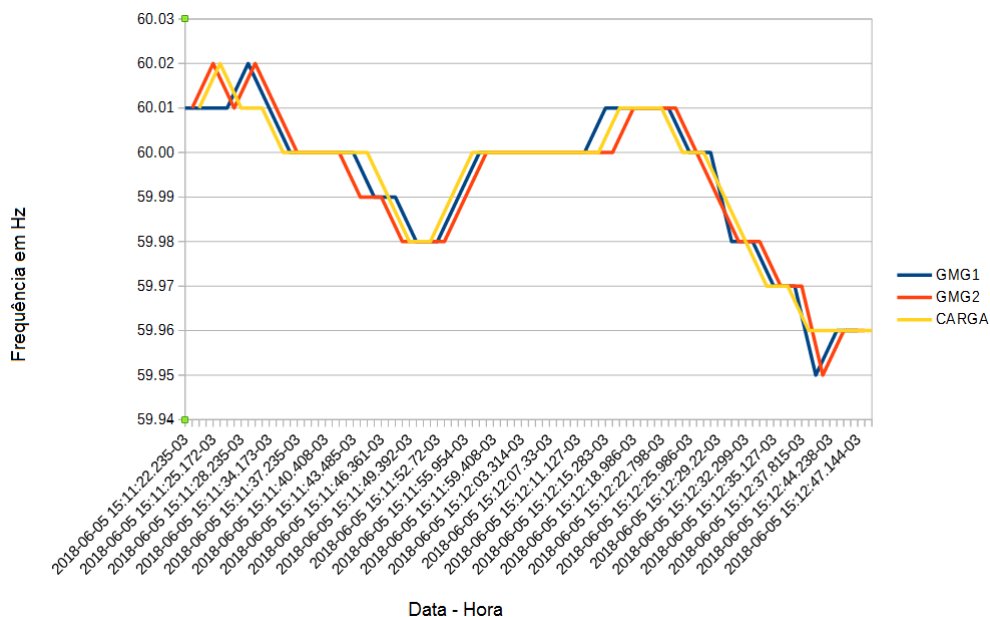


Figura 26: Comportamento da frequência após o acoplamento.
Fonte: AUTOR, 2018.

4.3.2 Potência ativa

Durante a maior parte do tempo de variação da corrente de excitação do GMG2, a sua potência ativa se manteve nula, ocorrendo por somente dois instantes o surgimento de potência negativa neste, que gerou certa variação na potência ativa gerada pelo GMG1, a carga se manteve estável, como mostrado graficamente na figura 27, situação ocorrida possível e principalmente devido ao controle de torque do GMG2 ser mecânica manual fixada no paralelismo.

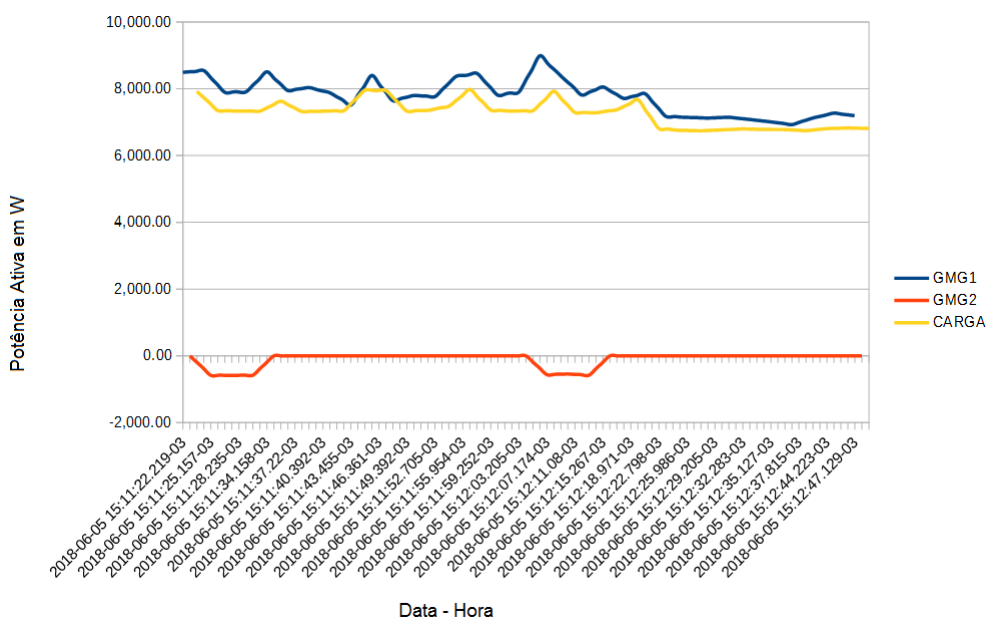


Figura 27: Comportamento da potência ativa após o acoplamento.
Fonte: AUTOR, 2018.

4.3.3 Potência reativa

A potência reativa dos GMG's se comportou variando bruscamente com a alteração da corrente de excitação do GMG2, o qual inicialmente estava consumindo potência reativa indutiva passou a gerar esta, suprimindo a necessidade desta no sistema e fazendo com que o GMG1 não mais a gerasse, chegando ao ponto onde o GMG1 passou a atuar como consumidor de potência reativa indutiva excedente no sistema provida pelo GMG2, contudo a carga se manteve estável, esse comportamento pode ser observado graficamente na figura 28, apresentando assim a funcionalidade da geração de potência reativa bastando ajustar a corrente de excitação do gerador.

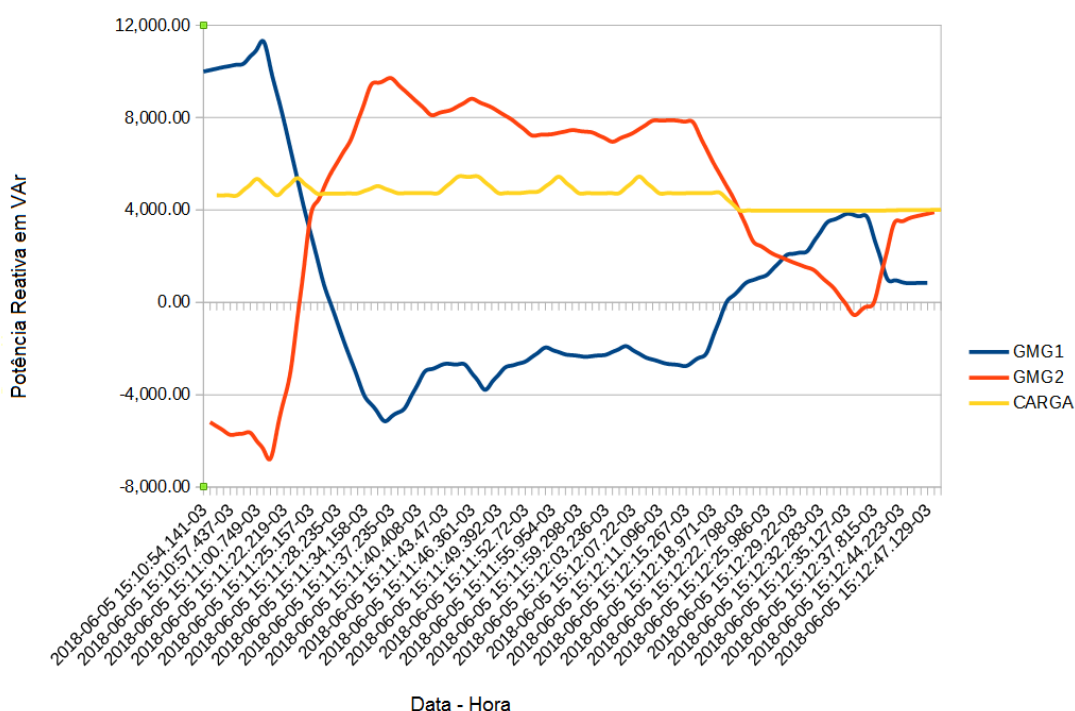


Figura 28: Comportamento da potência reativa após o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.3.4 Potência aparente

A potência aparente na carga se manteve variando dentro de valores estáveis quando comparado a seu histórico desde antes do paralelismo, já as medições registradas dos GMG's mostraram maiores variações, devido a potência aparente estar relacionada as potências ativa e reativa, esta última com grandes variações devido ao ajuste da excitação do GMG2. As informações das potências aparente, estão visíveis graficamente na figura 29, um ponto interessante a ser observado está no momento em que a potência aparente do GMG2 atinge valor nulo e pode ser observado no gráfico da figura 28 que a potência reativa do GMG2 também está nula neste mesmo instante, mostrando que este não está produzindo potência ativa.

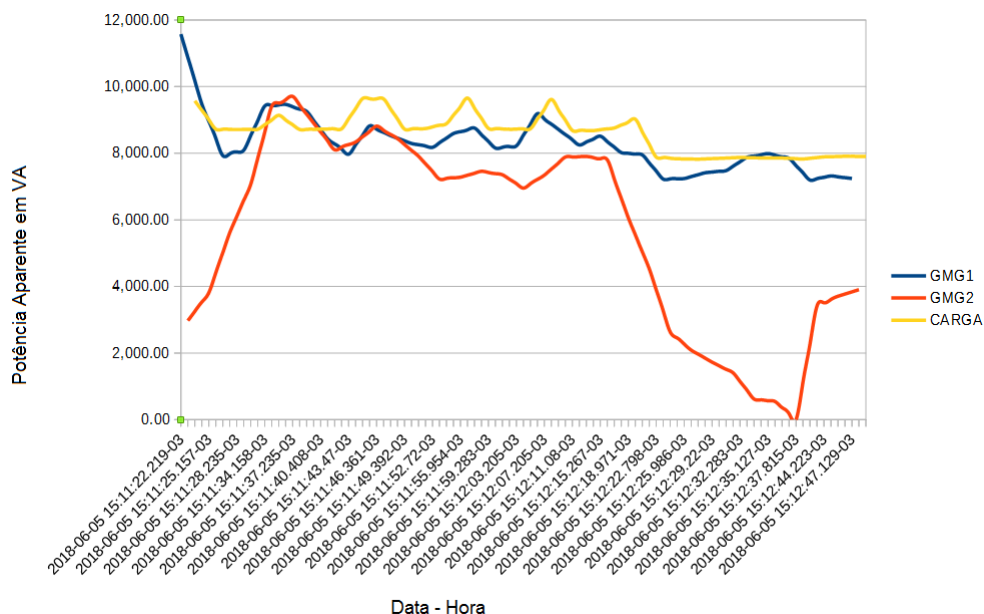


Figura 29: Comportamento da potência aparente após o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.3.5 Somatório das correntes de fase

O somatório das correntes de fase acompanha a variação da relação entre potência aparente e tensão, contudo surgiu um certo valor de corrente no GMG2 ao final do gráfico, que pode ser observado na figura30, e ao relacionar com o mesmo instante na figura 29 se mostram em desacordo.

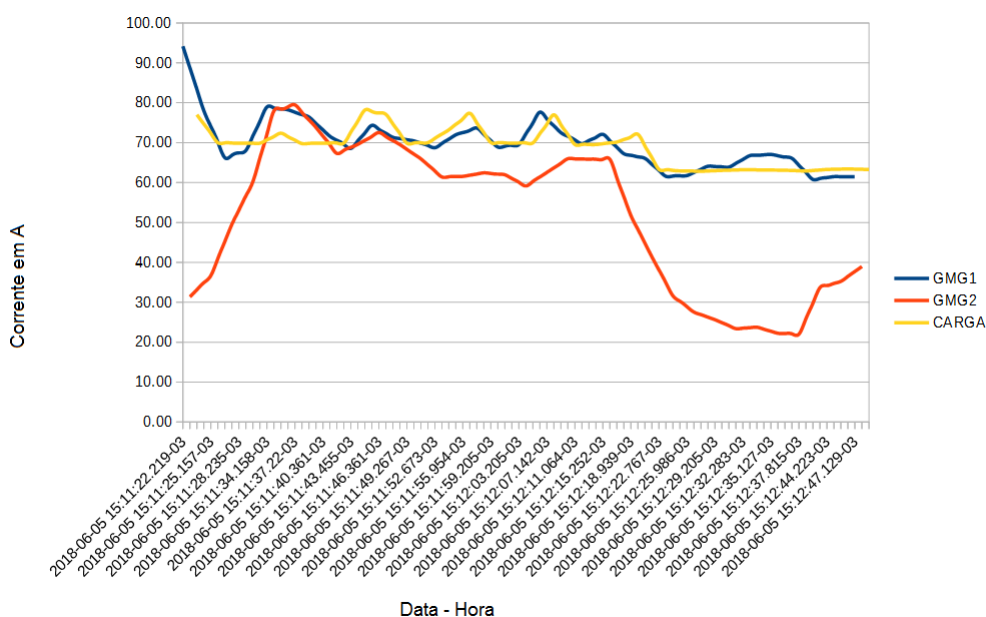


Figura 30: Comportamento do somatório das correntes de fase após o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.3.6 Tensão média de fase-neutro

As tensões médias de fase-neutro do sistema se elevaram sutilmente a partir do momento que se aumentou a corrente de excitação do GMG2, mas se mantiveram estáveis e variando juntas no decorrer do tempo, como pode ser observado graficamente na figura 31.

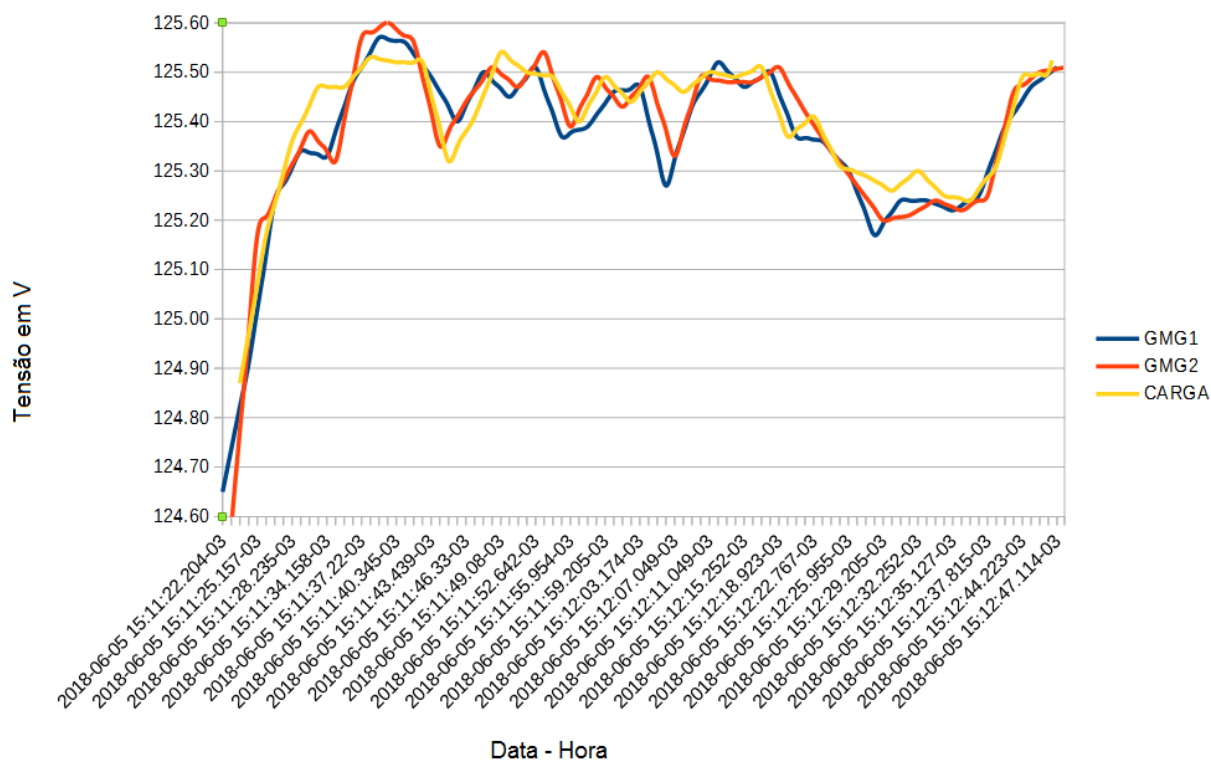


Figura 31: Comportamento da tensão média de fase-neutro após o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

4.3.7 Fator de potência

O comportamento do FP na carga se manteve estável no GMG2 o FP foi para valores por volta de 0,10 realizando a correção do FP, o que alterou o FP do GMG1 para próximo de 1,00, como apresentado graficamente na figura 32. Apareceram também variações bruscas nos registros do FP do GMG2, indicando valores unitários, contudo o GMG1 não alterou seu FP e o GMG2 continuou gerando potência reativa como mostrado na figura 28, atribuiu esse fato a ser uma falha de leitura do multimetro, devido a potência ativa apresentar-se nula conforme figura 27.

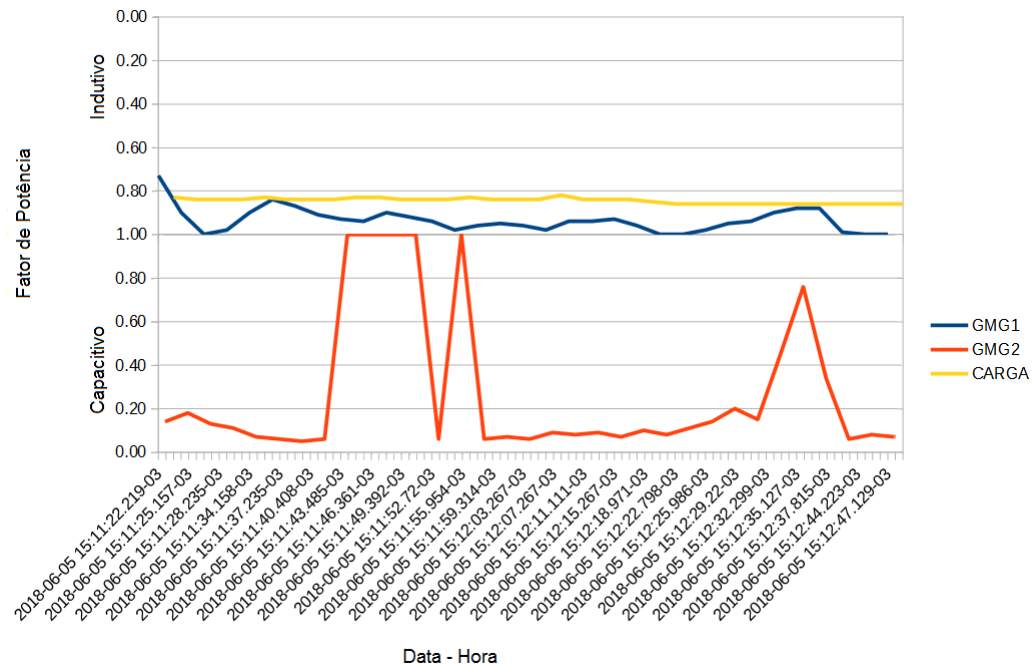


Figura 32: Comportamento do fator de potência após o acoplamento.

Fonte: AUTOR, 2018.

5 DISCUSSÃO

Colocando o experimento em prática foi possível validar teorias como o procedimento de paralelismo entre grupos geradores, que na descrição literária apresentava ser bastante complexo, porém na execução se tornou simples e nítido, o procedimento escrito por NASCIMENTO JUNIOR (2006).

Em campo o ensaio decorreu de forma relativamente simples e fácil, contudo, a utilização do software de aquisição dos dados se tornou trabalhosa, ao utilizar uma versão demonstrativa, que por fim não atendeu integralmente os requisitos necessários ao projeto. Para solucionar o problema e conseguir a correta realização do ensaio, se fez necessário o auxílio dos profissionais da Brasiltec, empresa proprietária do software, os quais prontamente atenderam com liberações de partes adicionais do software e orientações referente a sua utilização. Desta forma, foi atingido o objetivo da realização do levantamento de dados do comportamento das grandezas elétricas neste ensaio.

Ao analisar as informações adquiridas pelos multimedidores e ao relacioná-las com os relatos literários, comprovou-se fatos como o de que as máquinas ficam amarradas eletromagneticamente, não variando frequência e nível de tensão após o acoplamento como escrito por NASCIMENTO JUNIOR (2006).

O objetivo de comprovar que geradores possibilitam a correção do fator de potência conforme apresentado por CODI (2014), foi atingido. Contudo apresentou grande dificuldade na realização desta tarefa ao fazê-la manualmente, sem algum tipo de automação.

Que seja observada a enorme importância de seguir as normas de segurança, ao utilizar a correção do fator de potência com o uso de geradores síncronos, principalmente estes estando acoplados a rede pública em sistema de geração distribuída. Pode ser observado durante o ensaio situações diversas, até atingir os ajustes finais, desenvolvimento e conclusão do experimento, havendo ocorrido inclusive atuação da chave de proteção do GMG2 ao está em paralelo com o GMG1 por sobrecorrente devido a uma falha no ajuste do GMG2.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo processo da busca de informações, aplicado no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, tornou-se evidente uma grande diversidade de aplicações e soluções possíveis ao se tratar da correção do fator de potência.

Situando a correção do fator de potência através de geradores síncronos, estes têm capacidade de geração de potência reativa e assim pode corrigir o fator de potência. Porém, é pouco utilizado devido a necessidade do gerador estar interligado a rede, situação que pouco ocorre, e comercialmente existe grande dificuldade para encontrar um produto que faça a automação da correção do fator de potência por meio da variação de excitação dos geradores, principalmente para sistemas de pequeno porte e que tenha valores acessíveis.

Como uma das maiores dificuldades encontradas, está na mínima literatura encontrada que aborda objetivamente o assunto, necessitando agrupar fragmentos de vários autores para assimilar e desenvolver o assunto.

Visto a carência literária e de produtos relacionados ao assunto, é possível a partir desse trabalho que desenvolva-se uma continuação deste e de outros temas para o futuro, podendo ser desenvolvido alguns assuntos como os citados a seguir.

Pesquisa do custo de implantação da correção do fator de potência utilizando-se geradores síncronos, observando a possibilidade de correção a partir de implementação em plantas com geradores já existentes, e onde se faz necessário a instalação de todos os equipamentos.

Pesquisa dos custos das correções do fator de potência, utilizando geradores síncronos, e outros métodos de correção do fator de potência, determinando assim a viabilidade da implantação desse processo.

Pesquisa de métodos e formas de controle da excitação do gerador síncrono, para correção do fator de potência em sistemas utilizando geradores.

E assim realizar o desenvolvimento de literatura visando consolidar as informações obtidas nessa pesquisa e nas diversas pesquisas possíveis em torno desse assunto, buscando enriquecimento do conhecimento, e o aumento do acervo literário deste assunto.

REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, Robert L. Introdução à Análise de Circuitos. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012. 980 p.

BRASILTEC. MULTIMEDIDOR 96X96MM MEDICAO DE HARMONICAS E PORTA SERIAL RS485 COM MODBUS. Disponível em: <<https://brasiltec.ind.br/multimedidor-96x96mm-medicao-de-harmonicass-e-porta-serial-rs485-com-modbus-pn-1101801>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

_____. TRANSFORMADOR DE CORRENTE TIPO JANELA. Disponível em: <<https://brasiltec.ind.br/transformador-de-corrente-tipo-janela-pn-908901>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

_____. SOFTWARE SUPERVISORIO PARA EQUIPAMENTOS MODBUS. Disponível em: <<https://brasiltec.ind.br/software-supervisorio-para-equipamentos-modbus-pn-1094501>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

_____. CONVERSOR BRASILTEC RS485 PARA USB. Disponível em: <<https://brasiltec.ind.br/conversor-brasiltec-rs485-para-usb-pn-4556>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

CODI - COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Manual de Orientação aos Consumidores: Energia Reativa Excedente. CODI, 2004. 13 p.

COPEL: FATOR DE POTÊNCIA COMO TRANSFORMÁ-LO EM UM FATOR DE ECONOMIA. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/\\$FILE/fator_potencia.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/$FILE/fator_potencia.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2017.

CREDER, Hélio. Instalações Elétricas. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 452 p.

FALCONE, Benedetto. Curso de Eletrotecnica: Correntes Alternadas e Elementos de Eletro-nica. 1. ed. Sao Paulo: Hemus, 1977. 450 p.

GUEDES, José Carlos de Souza. Manual de Tarifação da Energia Elétrica. [S.l.: s.n.], 2011. 56 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20El%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 08 out. 2017.

MAMEDE FILHO, João. Instalações Elétricas Industriais. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 930 p.

MOREIRA, Nelson José Hübner. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010. [S.l.: s.n.], 2010. 142 p. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017

NASCIMENTO JUNIOR, Geraldo Carvalho do. Máquinas Elétricas: Teoria e Ensaios. 1. ed. São Paulo: Érica, 2006. 260 p.

PINTO, Milton . Energia Eletrica: Geracao, Transmissao e Sistemas Interligados. 1. ed. Rio

de Janeiro: LTC, 2014. 136 p.

SIEMENS: Soluções para Correção do Fator de Potência: Capacitores, indutores, controladores e módulos trifásicos. [S.l.: s.n.], 2016. 20 p. Disponível em: <https://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/downloads-bt/Documents/Corre%C3%A7%C3%A3o%20de%20fator%20de%20pot%C3%Aancia/Catalogo_CFP_2016_PT.pdf>. Acesso em: 09 out. 2017.

TORO, Vincent Del. Fundamentos de Máquinas Elétricas. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 550 p.

WEG: Manual para Correção do Fator de Potência. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

_____: Capacitores para Correção do Fator de Potência. [S.l.: s.n.], 2017. 40 p. Disponível em: <<http://static.weg.net/medias/downloadcenter/h2f/h31/WEG-capacitores-para-correcao-do-fator-de-potencia-50009818-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2017.