

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

CRISTIANO TEIXEIRA DE ALMEIDA

***RETROFITTING* DE UM GRUPO GERADOR DIESEL
POSSIBILITANDO SEU FUNCIONAMENTO EM QUATRO NÍVEIS DE
ROTAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

CRISTIANO TEIXEIRA DE ALMEIDA

***RETROFITTING DE UM GRUPO GERADOR DIESEL
POSSIBILITANDO SEU FUNCIONAMENTO EM QUATRO NÍVEIS DE
ROTAÇÃO***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica – DAELN e Mecânica – DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Gilmar Lunardon

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

CRISTIANO TEIXEIRA DE ALMEIDA

***RETROFITTING* DE UM GRUPO GERADOR DIESEL POSSIBILITANDO SEU FUNCIONAMENTO EM QUATRO NÍVEIS DE ROTAÇÃO.**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 15 de agosto de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Marcio Augusto Lombardi
UTFPR

Prof. Ubiradir Mendes Pinto
UTFPR

Prof. Gilmar Lunardon
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

ALMEIDA, Cristiano Teixeira de. ***Retrofitting de um Grupo Gerador Diesel possibilitando seu funcionamento em quatro níveis de rotação: 2013.*** 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O trabalho consiste no estudo e implementação de um sistema que possibilita um grupo motor-gerador diesel trabalhar em quatro níveis de rotações distintos. O grupo em questão é a fonte única de energia de um Guindaste de Pórtico sobre Pneus (RTGs), equipamento utilizado para a movimentação de *contêineres* em pátios de portos. De acordo com a potência momentânea exigida, que se altera com a variação da carga, tem-se a seleção do nível (*Step*) relacionado. Após diversos testes verificou-se que fazendo um *Retrofitting* e adicionando alguns componentes ao sistema o objetivo seria alcançado. Essa adequação do sistema possibilitou uma maior confiabilidade à aplicação, além da diminuição do consumo de combustível.

Palavras chave: *Retrofitting*. Grupo Motor-gerador Diesel. Rotação.

ABSTRACT

ALMEIDA, Cristiano Teixeira de. *Retrofitting of a Diesel Genset enabling its operation into four levels of rotation: 2013*. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The work consists on studying and implementing a system that allows to a diesel genset working on four different speed levels. This genset is the only source of energy for a Rubber Tyred Gantry Crane (RTGs); this equipment is used to move containers in ports. According to the momentary required power, which changes with the load request variations, we must have an associated speed. After several tests it was found that using a few Retrofitting and adding components to the system, we could achieve this goal. This adaptation brought greater reliability to the system, in addition to lowering fuel consumption.

Keywords: Retrofitting. Diesel Genset. Rotation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motor Diesel Cummins Série NTA 855	18
Figura 2 - Ligações estrela-triângulo.....	22
Figura 3 - Diagrama em blocos de um sistema de controle automático	25
Figura 4 - Pick-up eletromagnético	26
Figura 5 - Diagrama em blocos do sistema de injeção de um grupo gerador	27
Figura 6 - Regulador Eletrônico de Velocidade GAC - EDG 5500	28
Figura 7 - Ligação padrão do EDG 5500	29
Figura 8 - Representação da excitação Brushless.....	30
Figura 9 - Regulador Analógico de tensão Stamford – MX342	31
Figura 10 - Programação do CLP integrado do módulo de controle IG-NT	32
Figura 11 - Software de parametrização Gem-Config do modulo IG-NT	33
Figura 12 - Grupos de parametrizações do software Gem-Config.....	33
Figura 13 - Software de monitoramento Inteli-Monitor do modulo IG-NT	34
Figura 14 - Primeiros ensaios com fonte externa	35
Figura 15 - Ensaios internos com banco de cargas	38
Figura 16 - Alimentação do Controlador IG-NT.....	41
Figura 17 - Ligação das referências de tensão e corrente no controlador	42
Figura 18 - Ligação do acionamento seletivo de velocidade	43
Figura 19 - Ligação elétrica do RET	44
Figura 20 - Grupo Basic Settings do software Gem-Config	45
Figura 21 - Grupo Gener Protect do software Gem-Config.....	45
Figura 22 - Grupo Force Value do software Gem-Config	46
Figura 23 - Configuração do sensor de temperatura do motor	48
Figura 24 - Plotagem do gráfico do sensor de temperatura no controlador IG-NT	48
Figura 25 - Programação de seleção do Step 2	50
Figura 26 - Programação de seleção do Step 3	51
Figura 27 - Programação de seleção do Step 4	51
Figura 28 - Saídas virtuais	52
Figura 29 - Saídas físicas.....	53
Figura 30 - GMG após montagem dos componentes principais.....	54
Figura 31 - GMG acoplado na estrutura do RTG.....	54
Figura 32 - Painel de comando após montagem e acoplamento no GMG	55
Figura 33 - Variáveis de controle do Step 1	56
Figura 34 - Variáveis de controle do Step 2	56
Figura 35 - Variáveis de controle do Step 3.	57
Figura 36 - Variáveis de controle do Step 4	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de parâmetros nominais para cada faixa da aplicação.....	37
Tabela 2 - Acompanhamento das principais variáveis durante os testes na situação crítica (30Hz).....	39
Tabela 3 - Variação do consumo de combustível com a alteração dos Steps	39
Tabela 4 - Projeção da economia após um ano de funcionamento	40
Tabela 5 - Relação de parâmetros x Force Values (Potência, corrente e tensão).....	46
Tabela 6 - Relação de parâmetros vs. Force Values (Frequência, rotação e proteção de subfrequência).....	46
Tabela 7 - Relação planejada de parâmetros de frequência e proteções vs. Force Values	49
Tabela 8 - Relação real de parâmetros de frequência e proteções vs. Force Values.....	50
Tabela 9 - Relação de saídas virtuais, físicas e Step.	53

LISTA DE SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
ECM	Módulo Eletrônico de Controle
ECM	Módulo Eletrônico de Controle
GMG	Grupo Motor-gerador
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
PT	Pressão Tempo
RET	Regulador Eletrônico de Tensão
REV	Regulador Eletrônico de Velocidade
RTG	Rubber Tyred Gantry Crane
TC	Transformador de corrente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA11	
1.2	PROBLEMA.....	11
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Geral	12
1.3.2	Objetivos específicos.....	12
1.4	JUSTIFICATIVA	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	<i>RETROFITTING</i>	16
2.2	GRUPO MOTOR-GERADOR.....	16
2.3	MOTOR DIESEL	17
2.4	SISTEMA CUMMINS DE COMBUSTÍVEL PT.....	18
2.5	MOTOR ELETRÔNICO	19
2.6	MÁQUINAS ELÉTRICAS.....	20
2.7	TEORIA DO CONTROLE	24
2.8	REGULADOR ELETRÔNICO DE VELOCIDADE	26
2.9	REGULADOR ELETRÔNICO DE TENSÃO	29
2.10	CONTROLADOR IG-NT.....	31
3	DESENVOLVIMENTO DO TEMA	35
3.1	TESTES INICIAIS	35
3.2	PARAMETRIZAÇÃO DO REV	36
3.3	PARAMETRIZAÇÃO DO RET.....	36
3.4	TESTES COM BANCO DE CARGAS	37
3.5	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	39
3.6	PROJETO ELÉTRICO.....	40
3.7	PARAMETRIZAÇÃO DO CONTROLADOR IG-NT.....	44

3.8	PROTEÇÕES.....	47
3.9	PROGRAMAÇÃO DO CLP.....	50
3.10	TESTS EM CAMPO.....	54
3.11	FUNCIONAMENTO.....	58
3.12	ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS.....	58
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
	REFERENCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Em vários setores da indústria, em determinados momentos, faz-se necessário à utilização de diferentes formas de suprimento de energia elétrica. Isto muitas vezes devido ao alto valor cobrado pela Companhia de Distribuição de Energia Elétrica em determinados horários do dia ou então para evitar o pagamento de multas ao ultrapassar o valor da demanda contratada.

O Grupo Gerador Diesel parte do princípio da transformação direta da energia mecânica em elétrica. Simplificadamente, a combustão do motor Diesel dá ao seu eixo principal uma rotação que é transmitida a um alternador gerando assim energia elétrica.

Para que esta forma de suprimento de energia seja compensatória, torna-se indispensável que este sistema de geração seja confiável e tenha um baixo custo. Muitas vezes, isto está diretamente relacionado com o consumo de combustível e com o desgaste mecânico dos componentes e peças do motor.

Desta forma para suprir a energia em horários onde o valor cobrado pela concessionária é elevado e para que não seja ultrapassado o valor da demanda contratada, as indústrias utilizam um gerador a diesel.

1.2 PROBLEMA

Uma das principais maneiras de baratear o custo do sistema de geração é mantendo o grupo gerador-diesel com tecnologia atualizada além de implementar um sistema que permita variar a rotação de trabalho do motor de acordo com a potência momentânea exigida, mantendo-se iguais as características necessárias, como a tensão e a frequência.

O gerador é um C400 D6 da Cummins, que pode gerar uma potência aparente de até 500kVA. Este alimenta uma espécie de transportador de contêineres no porto de Paranaguá, trabalha mais de 16 horas por dia, sendo que esse tempo de trabalho divide-se em momentos em que o mecanismo está desligado, em repouso (parado porém com necessidade de funcionamento imediato), mudando de posição ou submetido a diferentes níveis de carga.

Está variação de trabalho exigida está diretamente ligada à variação da potência necessária para seu funcionamento, possibilitando a interferência no grupo gerador Diesel para adequá-lo a demanda momentânea necessária e consequentemente diminuindo o consumo de combustível.

No RTG, o profissional opera o equipamento de uma cabine de controle que fica no alto da estrutura, dificultando a visibilidade ao sistema de geração, o que pode causar sérios danos. A atualização do sistema traz uma maior confiabilidade à aplicação, possibilitando a rápida troca de informações entre as duas centrais de controle mostrando instantaneamente o estado de funcionamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

Implementar um sistema que possibilite um Grupo Gerador Diesel trabalhar em quatro níveis de rotação.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar o sistema já existente avaliando o que se pode recuperar e reutilizar.
- Selecionar e aplicar novos componentes necessários.

- Verificar a necessidade de uma atualização do equipamento já existente, para que seja capaz de alcançar o produto final.
- Projetar e implementar o sistema de controle
- Garantir a proteção do sistema mesmo trabalhando em faixas de operação não usuais.
- Avaliar se os resultados foram obtidos de forma compensatória.

1.4 JUSTIFICATIVA

A empresa portuária solicitou a atualização dos sistemas antigos, pois compraram novos equipamentos e foi observado que os mesmos consumiam de 25% a 30% menos de combustível.

Nestes equipamentos há a opção de funcionamento em diferentes níveis de rotação. Isso é facilitado, pois os novos sistemas são fabricados com motores Cummins Eletrônicos, onde todo o controle de velocidade é feito através de um Modulo Eletrônico.

Os equipamentos antigos não apresentam esse módulo, trazendo a necessidade de uma *Retrofitting* do sistema. A atualização do sistema atenuará a necessidade de manutenção corretiva e facilitará a percepção de uma eventual falha, deixando o processo de diagnóstico mais rápido e conseqüentemente diminuindo o tempo de máquina parada.

O que mais chama a atenção e a oportunidade de deixar essa fonte de energia “mais limpa”, pois diminuindo a rotação de trabalho do motor tem-se uma redução considerável no consumo de combustível, conseqüentemente os índices de gases emitidos a atmosfera também serão menores. Seguindo essa mesma linha de raciocínio, terá menor desgaste das peças que constituem o motor já que diminuirá o atrito entre suas partes dinâmicas, prolongando sua vida útil, e conseqüentemente diminuindo o volume de material disposto em processo de limpeza, reciclagem ou simplesmente deteriorando na natureza.

Para a realização desse projeto, será necessária uma integração entre diversas áreas de estudos, como conhecimentos em funcionamento de motores a combustão, controle de velocidade e tensão aplicada no motor alternador, a

eletrônica de potência e acionamentos dispostas nos painéis de controle, além da parametrização de equipamentos que deverão ser adicionados ao sistema. Isto possibilitará colocar em prática conhecimentos adquiridos durante o curso.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo teve início na necessidade do cliente em adaptar os sistemas antigos à tecnologia presente nos novos equipamentos adquiridos.

De acordo com Marconi e Lakatos (1990, p.19), “*os critérios para a classificação dos tipos de pesquisa variam, e a divisão obedece a interesses, condições, campos, metodologia, situações, objetivos e objetos de estudo*”. Seguindo esse pensamento, nota-se que o estudo tem natureza científica onde poderá ser aplicado na prática, devido ao fato de realmente existir essa necessidade nos equipamentos.

Na primeira etapa, foram realizadas reuniões para definir o escopo principal além de visitas para verificar as condições em que se encontravam os equipamentos.

Tendo definido esse escopo, necessitou-se de vários testes para atingir à todos os limites impostos inicialmente, mantendo a segurança e a confiabilidade.

Em seguida, fez-se a parametrizou-se os reguladores e controladores com a programação do CLP.

Por fim foram realizados testes em campo simulando o funcionamento do equipamento já fixado no estrutura do RTG.

O projeto em sua totalidade, além de contemplar a adequação do sistema geração para permitir trabalhar em quatro níveis de rotação, que é o enfoque do estudo, também traz o envolvimento de outras áreas simultaneamente que somadas representam um projeto mais amplo, a reforma do RTG. Dentre elas temos:

- A reforma do motor que foi realizada pela equipe mecânica da própria Motormac. Essa reforma inclui a desmontagem do motor para

substituição de peças danificadas, regulagem de válvulas, pintura, instalação de mostradores analógicos de pressão e temperatura, entre outras atividades.

- A reforma do alternador, que foi realizada por uma empresa contratada diretamente pelo cliente. Nessa reforma foi feito o teste de isolamento das bobinas do alternador e a avaliação de todos os reparos necessários para deixá-lo adequado para aplicação.

- A reforma da carenagem do Gerador foi feita por uma empresa especializada que também foi contratada diretamente pelo cliente. O objetivo desta é deixar o gerador com uma cabine acústica que proteja os componentes internos assim como as pessoas que possam estar ao redor do equipamento.

- Para finalizar, outra empresa foi contratada para fazer o restante da aplicação, ou seja, retirando a parte da geração de energia e as descritas anteriormente, o restante (acionamentos, comandos, estrutura do RTG) é de responsabilidade da mesma.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a compreensão do estudo do sistema de quatro níveis de rotação em desenvolvimento, faz-se necessário compreender o conceito *Retrofitting*, como funciona o sistema de geração de energia grupo motor-gerador; como atua o sistema de controle de velocidade entre outros fundamentos que serão tratados no decorrer deste capítulo.

2.1 RETROFITTING

Segundo Vale (2006, p.130), “o termo *retrofit* surgiu ao final da década de 90 nos Estados Unidos e na Europa. Sua origem provém do prefixo ‘retro’, do latim, que significa movimentar-se para trás, e do sufixo ‘fit’, do inglês, que significa adaptação, ajuste”.

Para Ghisi (1997, p.2), “*Retrofit* é o termo utilizado, em sua forma original, para definir qualquer tipo de reforma”.

Simplificadamente, *retrofitting* é atualizar tecnologicamente as partes de um equipamento mantendo suas características periféricas. Essas alterações podem ocorrer tanto no controle quanto no acionamento de seus dispositivos, trazendo mais confiabilidade, aumentando a produtividade e reduzindo o tempo de inatividade do sistema. (Mecatrônica Atual, 2001).

2.2 GRUPO MOTOR-GERADOR

Para Martín Rosique (2009), o grupo gerador:

É uma máquina capaz de transformar a energia mecânica, que gera um motor a gasolina ou diesel, em energia eléctrica, através de um alternador. Mas estes equipamentos são algo mais, são fontes

capazes de dar energia de parte a parte do planeta, muito além de qualquer fronteira. A sua utilidade e aplicação é tanta quanto aquela que o homem possa imaginar e a fiabilidade que têm demonstrado até agora na sua função converte-os na fonte de energia mais segura que existe. (ROSIQUE, 2009, p.1).

De acordo com Pereira (2006), o grupo diesel-gerador é um conjunto de motor diesel e gerador de corrente alternada, providos de componentes de controle e supervisão necessários para seu funcionamento autônomo.

Segundo o Manual de Operação e Manutenção Motores NT/NTA855 Big Cam III (2009), o grupo motor-gerador C400D6 da Cummins, modelo de 500kVA, tem um motor modelo NTA855 turbinado, com 118 dentes da cremalheira (roda dentada no volante do motor de combustão), com arrefecimento à água, 6 cilindros em linha e com cilindrada total de 14 litros. Sua taxa de compressão é de 14:1 que pode fornecer uma potência bruta do motor de até 451kWm e trabalha com o sistema de injeção pressão/tempo (PT).

2.3 MOTOR DIESEL

Em seu livro Manual Completo do Automóvel, Pugliesi (1991) salienta que os motores diesel tem uma maior economicidade se comparados com motores a gasolina, pois a maior taxa de compressão aliada ao maior grau de expansão proporciona-os melhor rendimento térmico. Também afirma que, em baixas velocidades, ele tem um bom funcionamento, opinião esta, de extrema importância, já que a aplicação há um *Step* em que o motor terá uma rotação mínima de 900rpm.

Segundo o Engenheiro José Claudio Pereira (2006), os motores Diesel foram desenvolvidos por Rudolf Diesel e são máquinas de combustão interna, capazes de transformar os movimentos alternados dos pistões em movimentos rotativos da árvore de manivelas. O tipo de trabalho classifica-os em industriais, veiculares, marítimos e estacionários (que é o caso dos grupos geradores).

Também se difere quanto ao tipo de sistema de arrefecimento, normalmente água ou ar, além do número e disposição dos cilindros.



Figura 1 - Motor Diesel Cummins Série NTA 855
Fonte: Autoria própria.

O ciclo de funcionamento do motor diesel inicia-se com a aspiração do ar que depois de comprimido entra em contato com o combustível em uma pressão superior. Devido à alta temperatura do ar, a explosão ocorre por autoignição, ou seja, a inflamação ocorre por compressão, não sendo necessária uma centelha da vela de ignição, como em motores de ciclo Otto, para que a combustão inicie-se.

2.4 SISTEMA CUMMINS DE COMBUSTÍVEL PT

Segundo o Boletim Sistema de Combustível PT n° 3387213-P-01 da Cummins (1983):

O conceito PT ou Pressão/tempo é derivado de duas variáveis primárias que afetam na quantidade de combustível que será medida em cada ciclo do sistema Cummins de combustível. A letra “P” se refere à pressão do combustível que atinge o orifício de entrada do

injetor. Esta pressão é controlada pela bomba. A letra “T” se refere ao tempo disponível para o combustível fluir para o interior do copo de injeção. Este tempo é controlado pela velocidade do motor através da árvore do comando de válvulas. (Cummins, 1983 p. 7).

O atuador, conectado a bomba, é uma válvula eletromagnética que possui um orifício dosador de combustível em uma das extremidades do seu eixo. Dependendo da quantidade de corrente contínua que chega até esse atuador, altera a posição do eixo, variando a quantidade de combustível que chega até os injetores (Cummins, 1983).

2.5 MOTOR ELETRÔNICO

Para Varella (2010), em *Noções Básicas de Motores Diesel*:

A injeção eletrônica em motores diesel surgiu na década de 80. Neste sistema o processo de combustão é mais bem controlado que nos sistemas mecânicos. A quantidade e o tempo de pulverização do combustível são mais precisos, o que resulta em melhor combustão e redução de poluentes. As vantagens do sistema eletrônico em relação ao mecânico são: maior rendimento do motor, menor consumo de combustível e emissão de poluentes (VARELLA, 2010 p. 39).

Em comparação a regulagem mecânica, que define a quantidade de combustível e o tempo de injeção a partir das diversas condições de rotação e de carga, a injeção eletrônica leva em consideração outros fatores como temperatura do ar do combustível, possibilitando aproveitar ao máximo o combustível (Bosch, 2009, p.4).

Segundo Amaro, o Módulo Eletrônico de Controle (ECM) recebe sinais vindo de sensores atuando para fazer o gerenciamento de injeção de combustível.

A bomba de combustível de alta pressão pressuriza o combustível e supre o tubo rail à pressão na qual o combustível será

injetado. O tubo rail funciona como acumulador de diesel a uma pressão elevada de até 1350 bar e fornece combustível pressurizado às válvulas injetoras. A válvula reguladora de pressão ajusta e mantém a pressão do combustível no tubo rail de acordo com a condição de carga do motor. O combustível não utilizado ou excedente, liberado pelas válvulas injetoras e pelas válvulas de controle de pressão, volta pela linha de retorno ao tanque de combustível (AMARO, p.1).

2.6 MÁQUINAS ELÉTRICAS

Segundo Toro (1999) a conversão de eletromecânica de energia envolve a troca de energia entre um sistema elétrico e um sistema mecânico havendo uma relação entre as grandezas físicas elementares. No caso de um grupo gerador, alterando o torque ou a velocidade do motor tem-se uma variação proporcional na tensão e na corrente de saída do alternador principal, considerando algumas perdas como, por exemplo, pelo aquecimento do sistema.

Segundo Michael Faraday (1831), *“o valor da tensão induzida em uma simples espira de fio é proporcional à razão de variação das linhas de força que passam através daquela espira (ou se concatenam com ela)”*. Em 1845, Franz Ernst Neumann quantificou essa afirmação, onde a força eletromotriz (E_{med} em volts) gerada é diretamente proporcional ao fluxo concatenado (Φ) em um determinado tempo (t).

$$E_{med} = \Phi / t \quad (1)$$

A geração de energia nos geradores fundamenta-se no princípio físico conhecido como Lei de Lenz. Segundo Heinrich Lenz (1833) *“quando existe indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o campo magnético dela resultante, tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz”*. O fluxo magnético expresso pela equação 2, onde B representa o campo magnético, A representa a área e ‘Teta’ o ângulo entre os vetores.

$$\Phi = B \cdot A \cos \theta \quad (2)$$

Para Kosow (2005) a força desenvolvida no condutor faz com que ele se movimente no campo magnético, resultando na variação do fluxo concatenado em volta do mesmo, induzindo assim uma força eletromotriz (fem). Porém observa-se que ela é oposta ao sentido da corrente, criando uma força chamada de contraeletromotriz.

A conversão eletromagnética ocorre quando a alterações no fluxo magnético decorrentes do movimento mecânico, isto é explicado no livro Máquinas Elétricas de A. E. Fitzgerald, onde diz que:

Nas máquinas rotativas, as tensões são geradas nos enrolamentos ou grupos de bobinas quando esses giram mecanicamente dentro e um campo magnético, ou quando o campo magnético gira mecanicamente próximo aos enrolamentos, ou ainda quando o circuito magnético é projetado de modo que a relutância varie com a rotação do motor. Por meio desses métodos, o fluxo concatenado em uma bobina específica é alterado ciclicamente e uma tensão variável no tempo é gerada. (FITZGERALD, KINGSLEY, UMANS 2006, p.176).

O motor dá ao seu volante um torque que é transmitido ao rotor do alternador principal. Esse giro mecânico de um campo magnético perto dos enrolamentos das bobinas do estator gera uma tensão alternada que varia de acordo com a rotação a que está sujeito e da excitação que está recebendo.

Nas máquinas síncronas o estator é constituído por uma carcaça, um núcleo com ranhuras e enrolamentos trifásicos. Já no rotor há um enrolamento distribuído ou polos salientes com bobinas enroladas em cada perna. No caso dos geradores, o rotor é energizado por uma fonte CC, quando o rotor está em movimento uma tensão é induzida no enrolamento do estator.

Um sistema trifásico é aquele que possui três tensões defasadas em 120° entre si. No gerador trifásico as bobinas são dispostas fisicamente para que essa defasagem fasorial ocorra. Pode-se identificar esse sistema quanto ao fechamento dos terminais do gerador, mostrando-se uma configuração em Estrela ou em Triângulo (MARKUS, 2004).

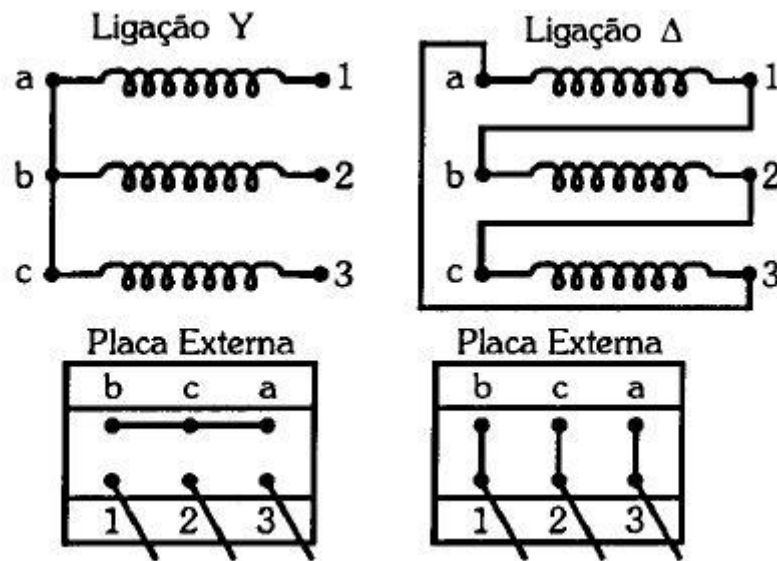


Figura 2 - Ligações estrela-triângulo
Fonte: Marcus (2001, p.257).

Para Markus (2004, p. 169) “A potência instantânea $p(t)$ é o produto dos valores instantâneos da tensão $v(t)$ e de corrente $i(t)$ ”. Para descobrir de fato a potência total que está sendo exigida pela carga tem que considerar a potência aparente, ou seja, tanto a parcela usada (ativa) quanto a perdida (reativa). A potência ativa, também conhecida como potência útil, é aquela que pode ser transformada por completo em trabalho. Já a potência reativa é aquela que é necessária, porém perdida para que o trabalho seja realizado. Na equação 3 segue a representação numérica da potência trifásica, onde “V” é a tensão e “I” e a corrente do sistema.

$$P = \sqrt{3}.V.I \quad (3)$$

A relação entre a potência ativa (P) e a potência aparente (Ps) e chamada de fator de potência ($\cos \varphi$), este mostra o aproveitamento de energia fornecida pela fonte. Esta relação está ilustrada na equação 4.

$$\cos \varphi = P/P_s \quad (4)$$

Para Kosow (2005, p.154), “a corrente nos condutores individuais da armadura (1) não é uniforme, mas varia sinusoidalmente, e (2) pode se adiantar

ou atrasar com relação ao fluxo polar com fatores de potência em adianto ou em atraso”. No caso do fator de potência em atraso a corrente alternada na armadura se atrasa da tensão induzida, criando uma força magnetomotriz (fmm) que se opõem ao fluxo primário do entreferro. Isso faz com que se tenha uma tendência de pobre regulação de tensão com aplicação de carga. Já um fator de potência em adianto tem tendência magnetizante, pois a corrente da armadura adianta-se a tensão auxiliando o fluxo primário no entreferro, melhorando a regulação de tensão do alternador síncrono.

Com esse caráter magnetizante do fator de potência em adianto, tem-se um aumento da tensão de saída com relação à tensão gerada em cargas capacitivas, sendo agravado com o aumento da carga e com a diminuição do fator de potência. Já em casos de cargas indutivas, acontece exatamente o oposto, pois tornasse desmagnetizante.

Segundo Martignoni (1967, p.11), o alternador é uma máquina síncrona caracterizada pela dependência direta do número de rotações e da frequência da f.e.m. gerada. O princípio de funcionamento tem como base nos fenômenos de indução que está sujeita à espira ou o condutor quando sofre uma variação de fluxo magnético.

A relação com a frequência é explicada com base na equação 5, onde f é a frequência, p e o número de pares de polos e n' é a número de rotações por segundo.

$$F = p.n' \quad (5)$$

Com essa expressão pode-se encontrar qual será a frequência nos diferentes níveis de rotação. Como se tem quatro polos no rotor tem-se constantemente dois pares de polos. Isso nos leva a concluir que a frequência será diretamente proporcional à rotação.

A conservação de energia é explicada no livro Máquinas Elétricas e transformadores de I. I. Kosow, onde diz que:

Uma máquina é um dispositivo dinâmico. Não desenvolverá uma conservação de potência (ou energia) quando não há movimento, ou seja, num estado estático. Ela deve estar funcionando ou operando

a fim de converter energia. Por esta razão, é incapaz de contar com a propriedade de armazenar energia. Por esta razão, também de acordo com a lei de conservação de energia, a potência total recebida por uma máquina a qualquer instante deve ser igual a potência por ela entregue naquele instante.(KOSOW 2005 p.458).

A expressão 6 representa o descrito anteriormente, onde $P_{(in)}$ é a potência total recebida por uma máquina, $P_{(out)}$ é a potência útil entregue pela máquina para executar o trabalho e $P_{(perdas)}$ é a perda total produzida dentro da máquina.

$$P_{(in)} = P_{(out)} + P_{(perdas)} \quad (6)$$

A potência perdida nos equipamentos pode ser classificada em: Perdas elétricas que são produzidas pela circulação de corrente pelo enrolamento da máquina ou perdas rotacionais que estão diretamente ligadas ao movimento do equipamento.

2.7 TEORIA DE CONTROLE

Para Ogata (2000) controlar é supervisionar e manter um processo em um nível de operação. Esse controle é feito medindo a variável controlada (grandeza efetivamente controlada) e aplicando uma correção na variável manipulada (grandeza variada pelo controle) com o objetivo de eliminar ou minimizar qualquer erro ou desvio.

Quando o controle é baseado à tomada de decisões este é conhecido como Controle em processo Discreto. Já quando se tem que manter um valor dentro de uma faixa de atuação, é chamado de controle em Processo Contínuo. Este último é o nosso caso, pois é necessário que se mantenha a velocidade do motor e a tensão gerada dentro dos limites desejados.

O sistema, também conhecido como planta, é um conjunto que atua para que o objetivo seja alcançado. O conceito de retroação está presente em

malhas de controle fechado, esse sistema mantém uma relação entre o sinal de saída e um valor de referência (*Setpoint*). Após este valor ser comparado com o *Setpoint* o controle recebe essa diferença e atua no sistema para eliminar ou diminuir essa variação. Já em sistemas de malha aberta, essa realimentação não ocorre, o controle depende de uma calibração inicial.

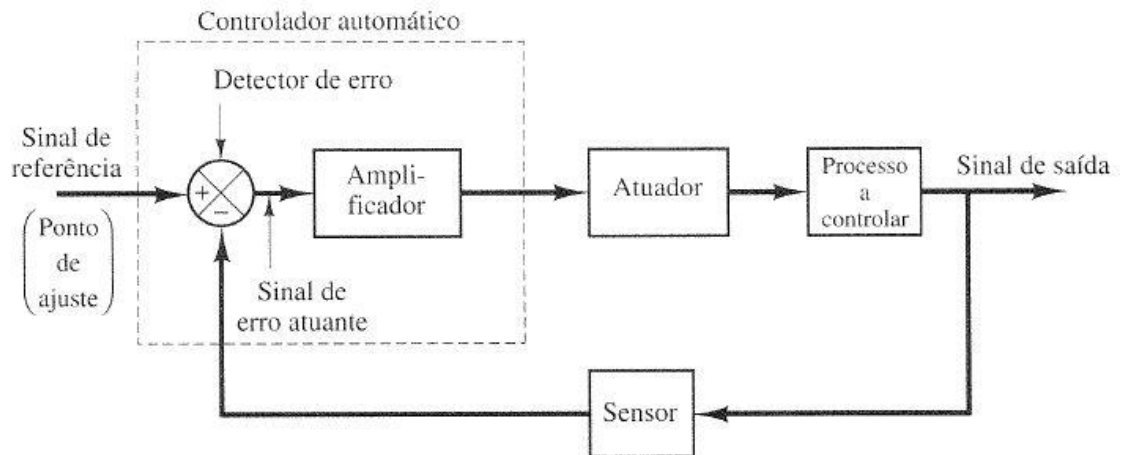


Figura 3 - Diagrama em blocos de um sistema de controle automático
Fonte: Ogata (1997, p.183).

O controlador PID reúne três ações de controle. A parte proporcional (P) é essencialmente um amplificador com ganho ajustável, a parcela integral (I) tende a eliminar o erro no regime permanente, já o elemento derivativo (D) antecipa-se ao erro e atua na correção antes que o mesmo torne-se muito grande. Na equação 7 segue uma expressão matemática que representa um controlador PID, onde o primeiro termo representa a parte proporcional o segundo representa a parcela da ação integral e o terceiro a componente derivativa.

$$u(t) = K_p e(t) + (K_p / T_i) \int_0^t e(t) dt + K_p T_d [de(t) / dt] \quad (7)$$

2.8 REGULADOR ELETRÔNICO DE VELOCIDADE

Segundo Pereira (2006), os reguladores eletrônicos de velocidade oferecem maior precisão de controle ao sistema de injeção. São constituídos basicamente por um pick-up, um atuador e um regulador eletrônico propriamente dito.

O pick-up magnético tem a função de um sensor de rotação. Este sensor é uma bobina enrolada sobre um núcleo ferromagnético, que funciona segundo o fenômeno da Indução Eletromagnética. A cada vez que um dente da cremalheira do motor passa próxima da superfície do sensor, um pulso de onda é criado. Esta frequência obtida é comparada com o número de dentes da cremalheira que é uma parametrização disponível no controlador. Desta maneira o controlador sabe a rotação em que o motor se encontra e pode atuar para mantê-la no Set point desejado. Normalmente sua instalação é feita na carcaça do volante.



Figura 4 - Pick-up eletromagnético
Fonte: Autoria própria.

Os reguladores precisam manter uma rotação constante para aquele *Step* que está disposto. A essa característica dá-se o nome de Isócrona. Quando uma alteração na rotação é percebida, o sistema tenta fazer a correção

no menor tempo possível, isso depende muito da parametrização dos ganhos do REV. Esses ajustes são feitos até o sistema ficar instável, depois o inverso é feito até que o sistema volte para estabilidade. Outro parâmetro importante é conhecido como “*Drop*”, este representa o quanto será a queda ou aumento de rotação com a adição de carga, pois tem aplicações que não é possível manter a velocidade à vazio igual à velocidade quando o sistema está submetido à carga. Depois de verificar a variação, o controle interfere no atuador variando a quantidade de combustível entrando no motor e conseqüentemente mantendo o mais próximo possível da nominal.

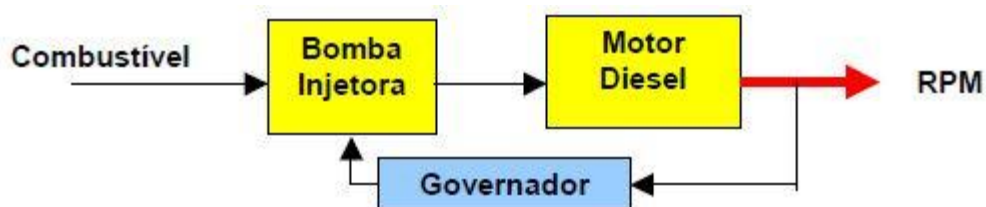


Figura 5 - Diagrama em blocos do sistema de injeção de um grupo gerador
Fonte: Pereira (2006, p.33).

De acordo com Regulador de Velocidade Série EDG5500 - Manual - 2011 – Português (2011) da GAC, o EDG5500:

É projetado para regular a velocidade do motor em motores convencionais a diesel e gasolina. O EDG é um substituto adequado para qualquer sistema regulador mecânico que precisa de flexibilidade, precisão, ou um controle preciso de velocidade. O EDG é projetado para aplicações de motores industriais de grupos geradores e unidades mecânicas, para bombas ou compressores. (GAC, 2011, p.1).



Figura 6 - Regulador Eletrônico de Velocidade GAC - EDG 5500
Fonte: Regulador de Velocidade Série EDG5500 - Manual - 2011 – Português.

Seu principal diferencial é a possibilidade de alteração de velocidade externamente. De acordo com a resistência entre os pinos “G” e “J” a velocidade irá variar dentro de um range parametrizado. Três parâmetros nos permitem essa alteração de *Step* de velocidade: O “VSPD”, o “SPEED” e o “V.SPEED”.

A seguir tem-se uma relação dos outros principais parâmetros para aplicação.

“TEETH”: Este é o valor de número de dentes da cremalheira, é usado como referência para manter a rotação na faixa desejada.

Partida do Motor: O “CRANK” é um parâmetro que representa em que rotação o motor de partida irá parar de ser acionado. Já o “START FUEL” é o combustível inicial aplicado pelo atuador durante a partida.

Controle Proporcional Integral Derivativo (PID): Três parâmetros são responsáveis por este controle. São eles: O “GAIN”, a “Stability” e o “DEADTIME”.

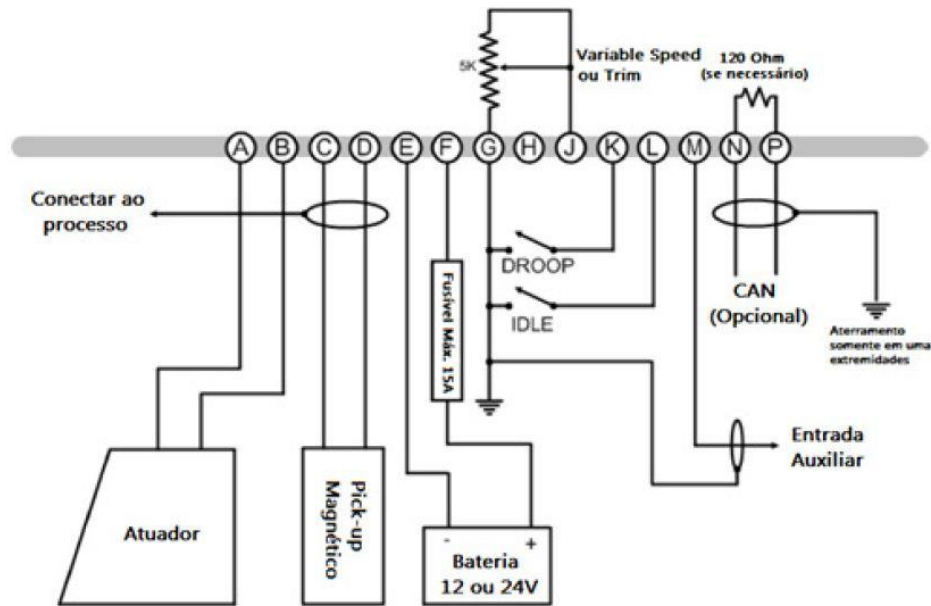


Figura 7 - Ligação padrão do EDG 5500
 Fonte: Manual EDG5500 Regulador de Velocidade Digital.

2.9 REGULADOR ELETRÔNICO DE TENSÃO

Para Kosow (2005, p.91) “Regulação de tensão é definida como a variação na tensão desde a vazio até a plena carga, expressa como uma porcentagem da tensão terminal nominal”.

Segundo Costa (2000), Reguladores de tensão são componentes com função de controlar a tensão das máquinas dentro de limites definidos, regular a divisão de reativo de máquinas que operam em paralelo, controlar a corrente de campo, aumentar a excitação sob condições de curto-circuito no sistema e amortecer oscilações de baixa frequência.

José Claudio (2006) explica alguns tipos de excitação presente nos geradores, dentre estes, a do tipo “Brushless”. Esta forma de excitação envolve um gerador de corrente contínua, que é fixado no próprio eixo do gerador. Um regulador eletrônico de tensão externo manda uma corrente contínua ao estator que gera uma corrente alternada no rotor. Essa corrente é retificada completamente através de diodos antes de virar a excitação do alternador principal. Esse RET é alimentado pela própria tensão de saída do gerador. A

tensão é comparada com o valor de referência ajustada na placa, com isso o controle tenta mantê-la o mais próximo da tensão pré-estabelecida.

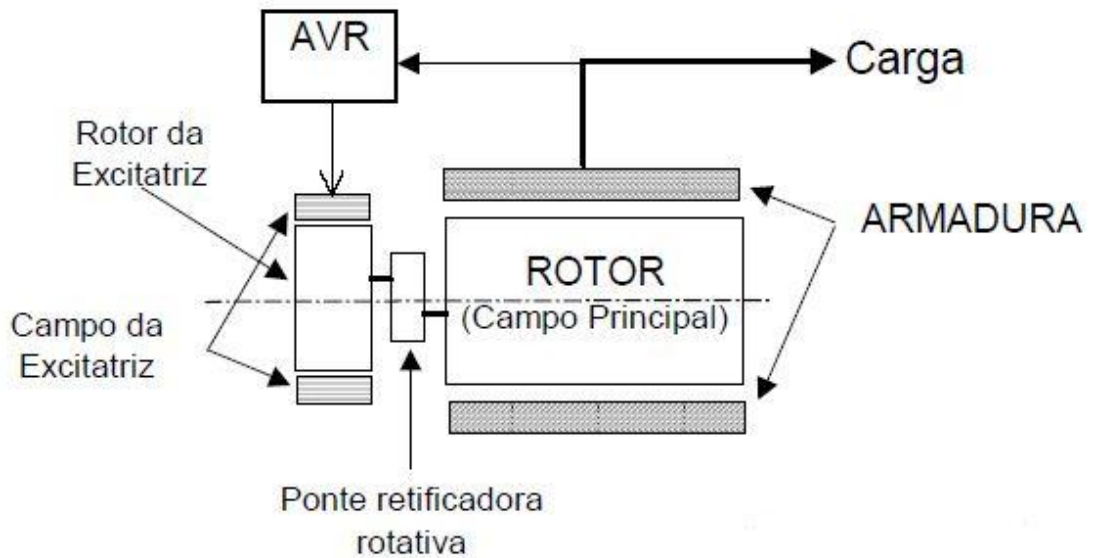


Figura 8 - Representação da excitação Brushless
Fonte: Pereira (2006, p.71).

Como principais ajustes dos Reguladores Eletrônicos de Tensão em especial do MX342 da Stanford, temos:

O “*Volts*”, que é responsável em alterar a regulação de tensão de saída do alternador;

A “*Stability*”, que modifica o tempo de resposta na busca do padrão desejado;

E o “*Ufro*” que representa uma relação do quanto à frequência pode diminuir antes que a excitação seja suspensa, possibilitando trabalhar em frequências anormais (30Hz).



Figura 9 - Regulador Analógico de tensão Stamford – MX342
Fonte: Autoria própria.

2.10 CONTROLADOR IG-NT

Segundo o *Inteli New Technology Modular Gen-set Controller – Application Guide* (COMAP, 2011), o módulo IG-NT é um controlador que pode ser utilizado para controlar todas as funções básicas de Grupos Motor-geradores. Dentre elas pode-se citar a partida e parada, controle de proteções, histórico de falhas e alarmes e o monitoramento de sensores de temperatura, pressão e nível de água. Também cita que traz entre suas principais características um CLP integrado que permite criar lógicas internas, e relacionar entradas binárias a saídas virtuais, para uso interno no CLP dedicado e saídas físicas, para uso em lógicas externas.

O Controlador lógico programável ou CLP, de acordo com Georgini (2007, p. 48), pode ser definido como “um computador industrial, capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle (sequência lógica, temporização e contagem, por exemplo)”.

Este CLP é programado em uma linguagem própria, onde se utiliza diretamente as portas lógicas, somadores, contadores, *timers*, entre outras

funções todas dispostas no painel ao lado direito da interface (figura 10). Após o duplo clique na ícone que representa essa função, as entradas e saídas podem ser selecionadas dentre uma listagem que surge na tela. Ao salvar, o programa já avisa se contem erros ou conflitos no programa.

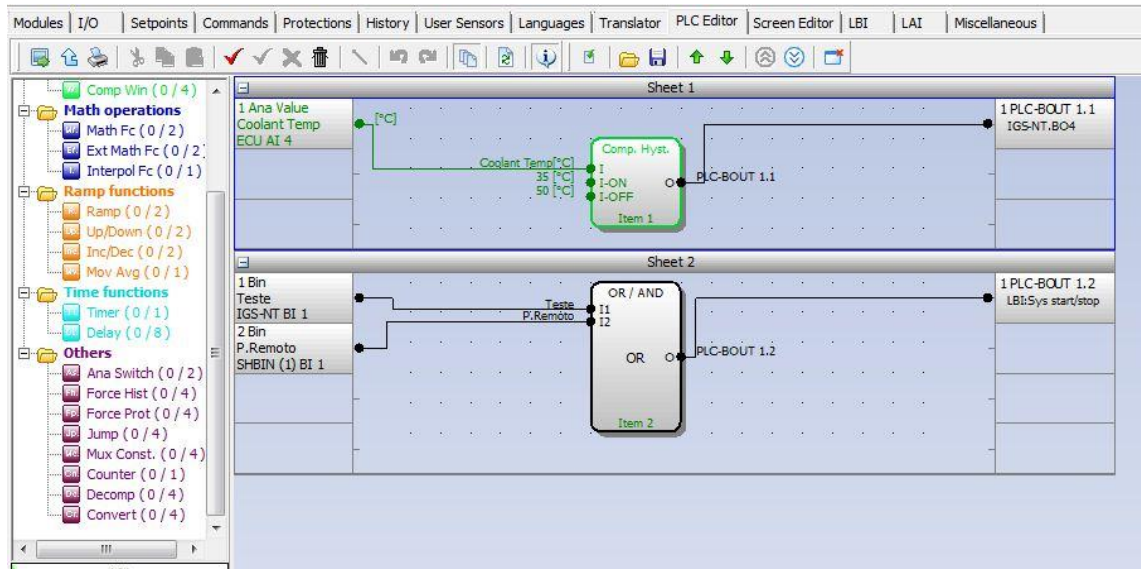


Figura 10 - Programação do CLP integrado do módulo de controle IG-NT
Fonte: Software Gem-Config.

Outro grande diferencial é uma opção chamada *Force Value*, que permite a alteração unitária de itens específicos de sua vasta relação de parâmetros. Qualquer constante, que esteja dentro da faixa delimitada pode ser armazenada em um dos 16 force Values, podendo ser transferido para variável (parâmetro configurável) através de uma lógica interna.

O programa de configuração é o *Gen-config*, onde se pode fazer todos os ajustes e alteração de parâmetros além da programação dos CLP e plotagem dos pontos das curvas sensores de temperatura e pressão.

Groups	Name	Access Group	Value	Dim	Force Value
ProcessControl	#SysBaseLoad	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	720	KW	
Basic settings	LocalBaseLoad	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	OFF	KW	
Comms settings	#SysPwrFactor	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	0,95		
Engine params	#SysLdCtrl PtM	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	LDSHARING		
Engine protect	#SysPFCtrl PtM	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	VSHARING		
Analog protect	SysBaseLdMode	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	INTERNAL		
Gener protect	SysBasePFMode	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	INTERNAL		
Pwr management	Synchro enable	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	FORWARD		
Sync/Load ctrl	#Neutral cont	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	EACH		
Volt/PF ctrl	WatchedContr	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	OFF		

Figura 11 - Software de parametrização Gem-Config do modulo IG-NT
Fonte: Software Gem-Confii.

O *software* divide em vários grupos os diversos parâmetros que influenciam e controlam o sistema de geração (Figura 12).

Groups	Name	Access Group	Value	Dim	Force Value
ProcessControl	#SysBaseLoad	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	400	KW	
Basic settings	LocalBaseLoad	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	OFF	KW	
Comms settings	#SysPwrFactor	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	0,95		
Engine params	#SysLdCtrl PtM	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	LDSHARING		
Engine protect	#SysPFCtrl PtM	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	VSHARING		
Analog protect	SysBaseLdMode	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	INTERNAL		
Gener protect	SysBasePFMode	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	INTERNAL		
Pwr management	Synchro enable	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	FORWARD		
Sync/Load ctrl	#Neutral cont	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	EACH		
Volt/PF ctrl	WatchedContr	0 DEF 1 OFF 2 OFF 3 OFF 4 OFF 5 OFF 6 OFF 7 ON	OFF		

Figura 12 - Grupos de parametrizações do software Gem-Config
Fonte: Software Gem-Config.

No grupo *Basic Settings* há vários parâmetros que precisaram ser alterados constantemente em paralelo a mudança de velocidade. Dentre eles, a potência, a corrente, as referências para leituras e a frequência nominal.

Os *Engine Params*, *Engine Protect* e *Analog protect* são importantes principalmente para o motor diesel, devido ao fato de receberem informações sobre quantidade de tentativas de partida, as proteções de temperatura,

pressão, subfrequência, sobrevelocidade e os *Delays* de acionamento das mesmas.

Para fazer o monitoramento do GMG, utiliza-se o *Inteli-monitor*, programa que também é disponibilizado pelo fabricante.

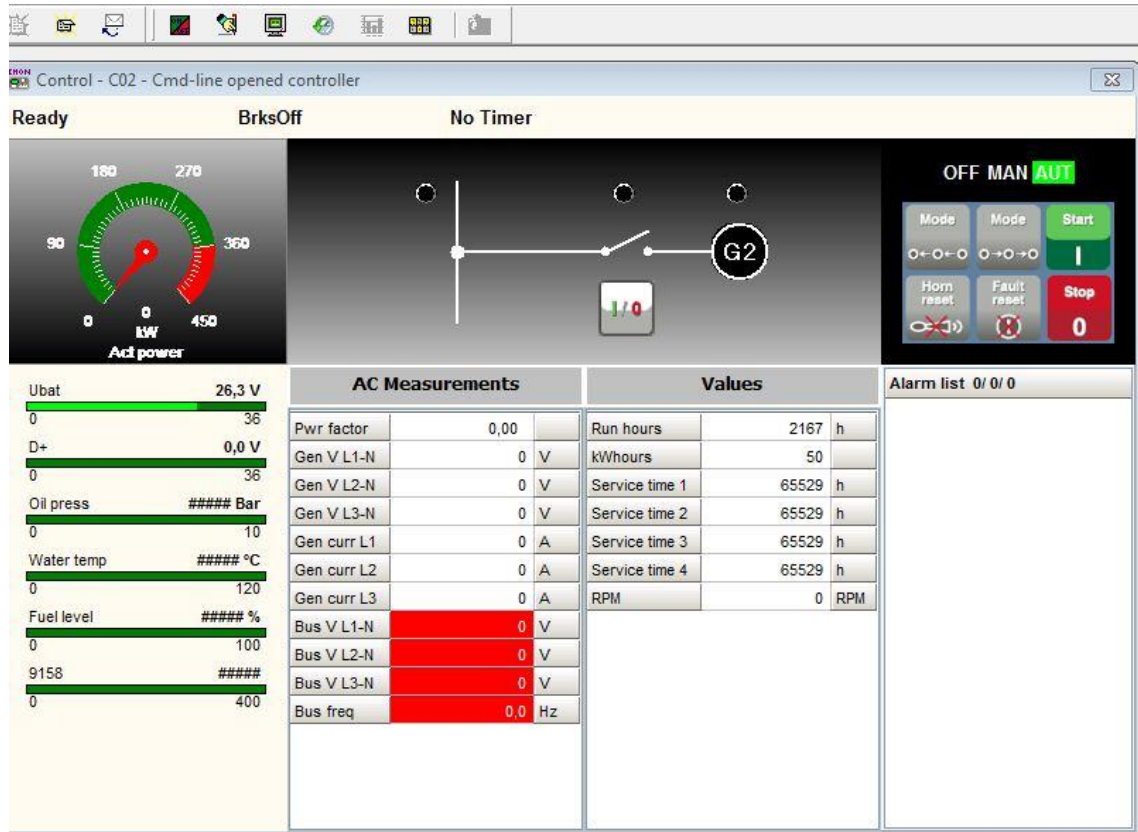


Figura 13 - Software de monitoramento Inteli-Monitor do modulo IG-NT
Fonte: Software Inteli-Monitor.

3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

3.1 TESTES INICIAIS

Inicialmente, com o auxílio de fontes de corrente e tensão contínua varia-se a tensão de alimentação da bomba injetora. Essa alteração faz com que altere o volume de combustível no sistema de injeção e conseqüentemente simulando uma variação de rotação de 300rpm até 2100rpm.

Da mesma forma, pode-se simular a variação da tensão de saída do alternador, atuando com a mesma fonte de corrente contínua no campo de excitação, mantendo-se a rotação em 1800rpm. Pode-se alcançar uma tensão máxima de 600Vac na saída do alternador principal.

Todos esses procedimentos foram realizados com controle manual, inclusive com partida manual, porém fez-se o acompanhamento das principais variáveis do sistema do Grupo motor-gerador.



Figura 14 - Primeiros ensaios com fonte externa
Fonte: Autoria própria

3.2 PARAMETRIZAÇÃO DO REV

Após realizada uma instalação provisória do REV pode-se parametrizar seus principais parâmetros. Dentre eles temos:

- “*TEETH*”: Fixou-se um valor de 118 dentes devido ao fato de ser um motor *Cummins* Série “N”.
- “*CRANK*”: Parametrizou-se um valor 300rpm.
- “*START FUEL*”: Verificou-se que em 70% o motor teve uma ótima resposta após comando de partida.
- “*Gain*”: Aumentou-se até um valor que o sistema tornou-se instável, depois foi diminuindo-o pausadamente até que o sistema recuperou sua estabilidade, fixando-se em um valor de 10.
- “*Stability*”: Da mesma forma, aumentou-se até um valor que tornou o sistema instável, depois foi diminuído pausadamente até que o sistema recuperou sua estabilidade, fixando-se em um valor de 15.
- “*Deadtime*”: Da mesma forma, aumentou-se até um valor que tornou o sistema novamente instável, depois foi diminuído pausadamente até que o sistema recuperou sua estabilidade, fixando-se em um valor de 5.
- “*VSPD*”: Habilitou-se a função deixando esse parâmetro em “*ON*”.
- “*SPEED*”: Fixou-se essa variável em 900rpm limitando como mínima rotação.
- “*V.SPEED*”: Parametrizou-se em 1800rpm limitando a máxima rotação.

3.3 PARAMETRIZAÇÃO DO RET

Com a rotação em 1800rpm ajustou-se o potenciômetro de “*VOLTS*” até alcançar 440Vac. Depois submeteu-se o sistema aos *Steps* ajustando o parâmetro “*ESTABILITY*” até que a resposta estivesse de acordo com a alteração de velocidade. Exemplificando, quando alterasse a rotação de

1200rpm para 1800rpm, a tensão teria que ir de 300Vac para 440Vac estabilizando-se o mais próximo do instante que o rotação alcançasse o *set point*. Já o parâmetro “*Ufro*” foi mantido no mínimo, possibilitando a frequência ser reduzida até 30Hz sem que o sistema parasse de excitar e consequentemente de gerar a tensão necessária.

3.4 TESTES COM BANCO DE CARGAS

Com os reguladores de tensão e velocidade já parametrizados, pode-se testar a aplicação com as cargas reais que teriam que suportar. Iniciaram-se os testes simulando os quatro níveis de rotação com a relação de parâmetros nominais para cada faixa de operação (tabela 1).

Tabela 1 - Relação de parâmetros nominais para cada faixa da aplicação

<i>Step</i>	Potência (kW)	Potência (kVA)	Corrente (Aca)	Tensão (Vca)	Frequência (Hz)	Rotação (rpm)
1	24	30	75	230	30	900
2	120	150	289	300	40	1200
3	224	280	437	370	50	1500
4	360	450	590	440	60	1800

Fonte: Autoria própria.

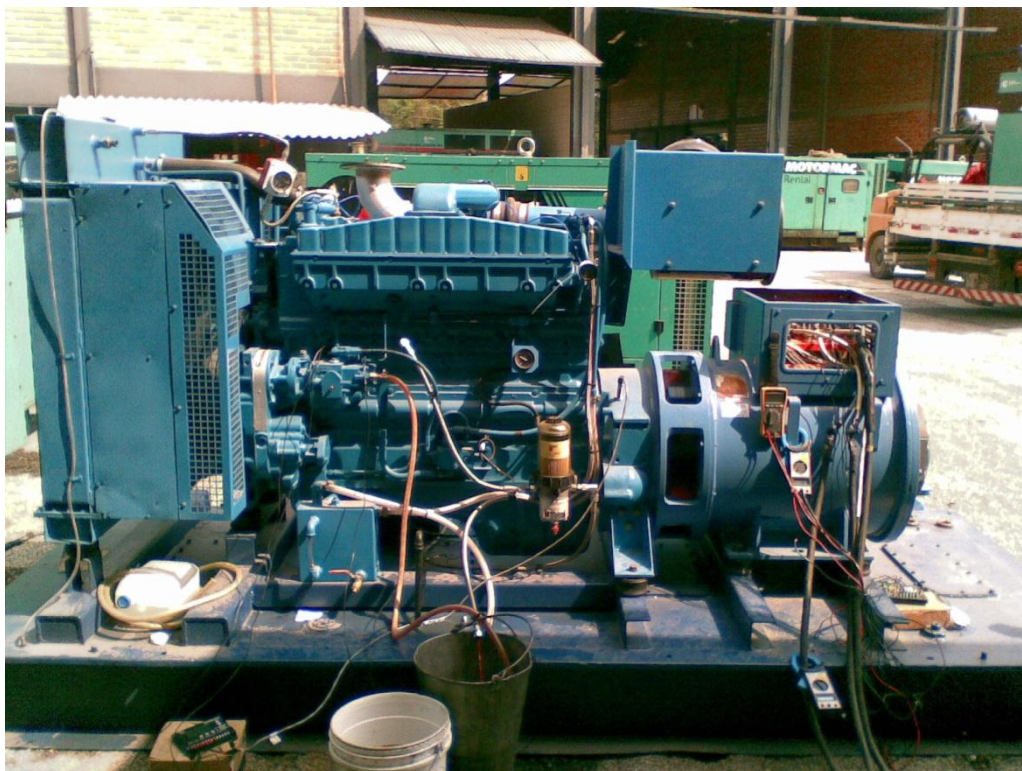


Figura 15 - Ensaio interno com banco de cargas
Fonte: Autoria própria

Posteriormente, simulou-se a situação mais crítica de operação que poderia ser testada. Na rotação de 900rpm, mantendo a tensão em 230Vac foi aumentada a carga até uma nominal de 111kW, valor este bem acima do real para o degrau que seria de 24kW. Monitorou-se todas as variáveis significantes para operação, observando principalmente a temperatura do alternador principal, pois como a rotação seria bem menor da usual, havia receio de não ter uma ventilação suficiente neste componente. Porém, observou-se que a temperatura manteve-se em valores abaixo dos 35°C, não comprometendo as características estruturais do material.

Outras observações importantes sobre esse teste são que a temperatura do motor manteve-se em um valor aceitável de 80°C, a corrente de excitação ficou abaixo da corrente limite do RET (limite de 2,7A) e a tensão de excitação alcançou aproximadamente 10% do limite máximo que o regulador de tensão poderia oferecer (tabela 2).

Tabela 2 - Acompanhamento das principais variáveis durante os testes na situação crítica (30Hz)

Corrente de excitação (Acc)	Tensão de excitação (Vcc)	Corrente de geração (Aca)	Tensão de geração (Vca)	Potência de geração (kW)	Temperatura no alternador (°C)	Temperatura no motor (°C)
0,92	13,3	6,5	230	3,62	27	79
0,935	13,5	31,3	230	16	29	79
0,98	14,3	63	230	31,2	29	80
1,03	15,1	92,5	230	45,1	29	80
1,108	16,1	121	230	58,5	30	80
1,18	17	144,5	229	70	30	80
1,26	18,4	170,4	229	82,12	31	80
1,32	16,3	189	229	91,8	32	80
1,41	21	214	229	104	34	80
1,47	21,9	227	229	111	34	80

Fonte: Autoria própria.

3.5 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Nos testes com carga possibilitou-se mensurar o consumo médio de combustível em cada *Step*. Considerando-se que a aplicação normal seria em 1800rpm e variando a rotação, nota-se a diferença de consumo entre os níveis de velocidade (tabela 3). Nota-se que a maior diferença de volume de combustível se dá na comparação com a rotação de 900rpm mostrando uma economia de 2,3 litros/hora.

Tabela 3 - Variação do consumo de combustível com a alteração dos Steps

Consumo Step 1 (l/h)	Consumo Step 2 (l/h)	Consumo Step 3 (l/h)	Consumo Step 4 (l/h)	Carga (%)	Economia (l/h)
--	--	--	92	90	0
--	--	65,5	67,1	56	1,6
--	43,2	--	45,2	30	2
10,1	--	--	12,4	6	2,3

Fonte: Autoria própria.

Já na tabela 4 tem-se ideia do quando essa economia pode chegar após um ano de funcionamento, considerando o valor médio do óleo Diesel de R\$2,20 por litro e 20 horas de trabalho diário.

Tabela 4 - Projeção da economia após um ano de funcionamento

<i>Step</i>	Economia (l/h)	tempo de trabalho diário (h)	Economia diária (R\$)		Economia anual (R\$)	
1	0	6				
2	1,6	5	R\$	17,60	R\$	6.424,00
3	2	6	R\$	26,40	R\$	9.636,00
4	2,3	3	R\$	15,18	R\$	5.540,70
Total	--	20	R\$	59,18	R\$	21.600,70

Fonte: Autoria própria.

3.6 PROJETO ELÉTRICO

Com auxílio dos Manuais de aplicação foi possível fazer o projeto elétrico do sistema de controle do GMG e dos acionamentos para alteração da rotação.

Fez-se a alimentação do controlador através das próprias baterias do grupo gerador, como este utiliza duas baterias em série para obter a tensão e potência de trabalho do motor de arranque, utilizou-se a alimentação do módulo assim como todos os acionamentos em 24Vcc, já que o controlador permite utilizar um range de 0 a 36 Vcc. Para a proteção do módulo, coloca-se um minidisjuntor de 2A (DJ2) na alimentação do mesmo.

Ligou-se a referência de rotação vinda do *Pick-up* ao controlador IG-NT nas entradas “RPM com” e “RPM In” para que o mesmo pudesse fazer a proteção do sistema, verificando constantemente se estava no nível de rotação necessária (figura 16).

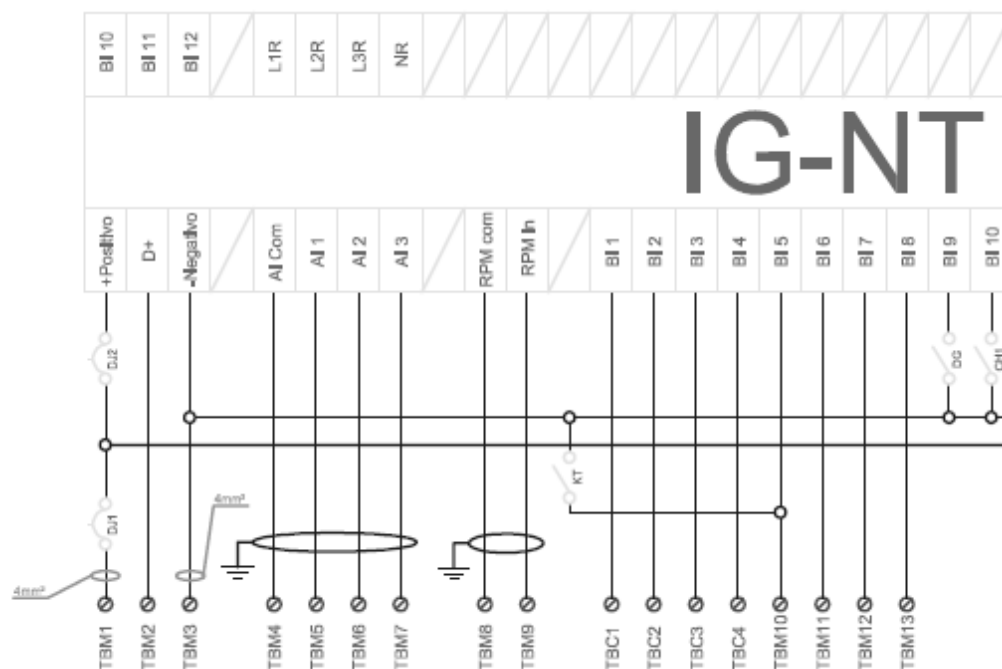


Figura 16 - Alimentação do Controlador IG-NT
Fonte: Autoria própria.

O controle necessita de amostras de tensão de saída do gerador, pois só assim saberá se a tensão está na magnitude desejada. Caso esteja em um valor diferente do pré-estabelecido, as proteções são acionadas desligando o equipamento. Estas amostras foram colhidas diretamente da saída do gerador, após o disjuntor principal (figura 17).

Para obter a corrente que a carga está exigindo, utilizou-se o auxílio de transformadores de corrente (TC), pois o módulo não tem a capacidade de receber diretamente a corrente real do sistema. Necessitou-se a utilização de três destes transformadores para possibilitar a leitura das três fases ao mesmo tempo. A relação entre primário e secundário é de 800A e 5A, ou seja, se entre o enrolamento do TC estiver circulando uma corrente de 800A em suas extremidades estará circulando 5A, valor este que pode ser lido pelo controlador. Com os valores de tensão e corrente, o controlador calcula qual a potência que está sendo utilizada. A figura 17 mostra o grupo gerador (G), o disjuntor geral (DG), os Transformadores de Corrente (TC) e na parte inferior as conexões com o módulo IG-NT.

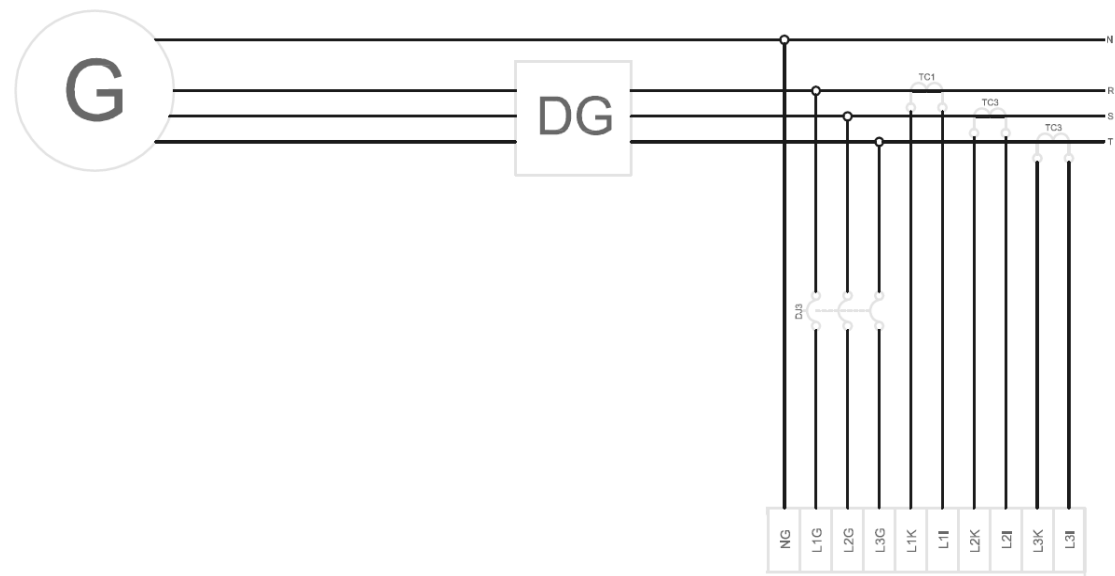


Figura 17 - Ligação das referências de tensão e corrente no controlador
Fonte: Autoria própria.

Aos pinos “G” e “J” do REV implementou-se uma lógica de relés e potenciômetros com a função de alterar a resistência entre esses dois pontos. Utilizou-se 3 potenciômetros de 5k Ohms e 3 relés com um contato reversível cada. As “TBM14” e “TBM15” citadas na figura 18 são as conexões ao atuador da bomba PT assim como as “TBM17” e “TBM18” são as referências vindas do *Pick-up*.

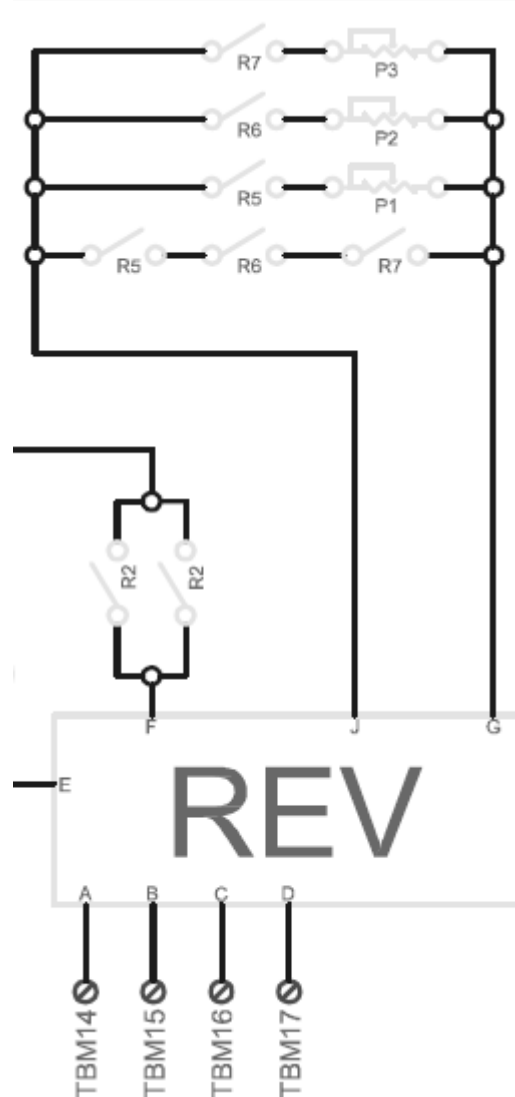


Figura 18 - Ligação do acionamento seletivo de velocidade
Fonte: Autoria própria.

Como a tensão máxima é de 440Vac e o regulador não suporta essa magnitude, utilizou-se como referência de tensão de realimentação para o MX342 a tensão vinda do meio de bobinas (ponto entre duas bobinas em uma ligação estrela com 6 bobinas), que tem um valor máximo aproximado de 220Vac. Essa ligação foi feita nos pontos “TBM20”, “TBM21” e “TBM22”. Ligou-se também o campo de excitação aos pontos representados por “F1” e “F2” no RET.

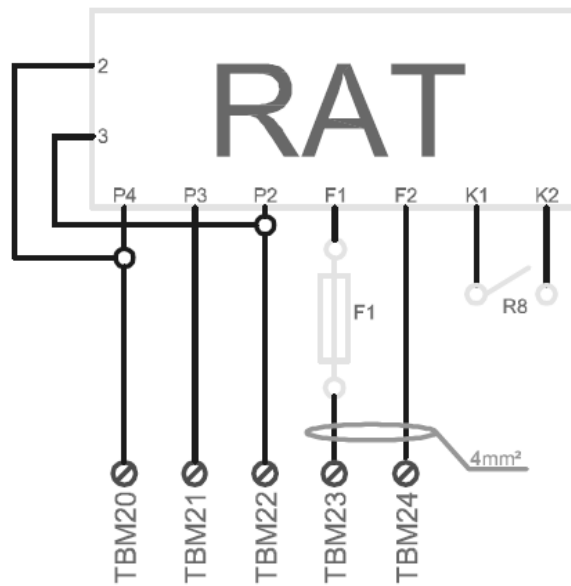


Figura 19 - Ligação elétrica do RET
 Fonte: Autoria própria.

3.7 PARAMETRIZAÇÃO DO CONTROLADOR IG-NT

Com o auxílio do programa *Gem-config*, iniciou-se a parametrização do controlador do GMG. As figuras 20 e 21 mostram os principais parâmetros que se precisa alterar para possibilitar a variação de rotação.

Nomin power	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	24	kW	Force value 1 + Force value...	...
Nomin current	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	75	A	Force value 4 + Force value...	...
CT ratio prim	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	1000	A		
CT ratio sec	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	/5A			
EarthFitCurCTp	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	800	A		
EarthFitCurCTs	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	/5A			
VT ratio	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	1,00	V/V		
Vg InpRangeSel	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	277 V			
Vb VT ratio	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	1,00	V/V		
Vb InpRangeSel	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	277 V			
GenNomV	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	133	V	Force value 7 + Force value...	...
GenNomVph-ph	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	230	V		
BusNomV	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	219	V		...
BusNomVph-ph	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	380	V		
FixVoltProtSel	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	PHASE-NEUTRAL			
Nominal freq	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	45	Hz	Force value 11 + Force valu...	...
Gear teeth	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	119			
Nominal RPM	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	900	RPM	Force value 13 + Force valu...	...
ControllerMode	0	ON	1	2	3	4	5	6	7	OFF	MAN		
FitRes GoToMAN	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	DISABLED			...
Local buttons	0	ON	1	2	3	4	5	6	7	OFF	PANEL		
DispBaklightTO	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	NO TIMEOUT	min		...
DispBklStrtOff	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	ENABLED			...
ConvCoefPulse	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	1	/X		...

Figura 20 - Grupo Basic Settings do software Gem-Config
Fonte: Software Gem-Config.

OverIdStrtEval	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	102	%		...
2POvridStEvDel	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	5,0	s		
Min power PtM	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	5	%		...
Ishort	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	115	%		
Ishort del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	2,00	s		
2Inom del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	3,0	s		
Gen >V BOC	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	115	%		...
Gen <V BOC	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	85	%		...
Gen >V Sd	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	120	%		...
Gen V del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	50,00	s		
Gen >f	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	103,0	%		...
Gen <f	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	97,0	%	Force value 16 + Force valu...	...
Gen f del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	5,00	s		
BusMeasError	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	DISABLED			...
Reverse power	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	10	%		
ReversePwr del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	3,0	s		
RPM Red	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	1800	RPM		
RPM Del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	7,0	s		
EarthFaultCurr	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	10	A		
EthFitCurr del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	5,0	s		
Gen V unbal	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	80	%		
Gen V unbal del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	3,0	s		
Gen I unbal	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	40	%		
Gen I unbal del	0	1	2	3	4	5	6	7	ON	3,0	s		

Figura 21 - Grupo Gener Protect do software Gem-Config
Fonte: Software Gem-Config.

Já a figura 22 mostra o menu *Force Value* com todos os valores parametrizados.

Force value 1	0	1	2	3	4	5	6	7	120	kW	
Force value 2	0	1	2	3	4	5	6	7	224	kW	
Force value 3	0	1	2	3	4	5	6	7	360	kW	
Force value 4	0	1	2	3	4	5	6	7	289	A	
Force value 5	0	1	2	3	4	5	6	7	437	A	
Force value 6	0	1	2	3	4	5	6	7	590	A	
Force value 7	0	1	2	3	4	5	6	7	173	V	
Force value 8	0	1	2	3	4	5	6	7	214	V	
Force value 9	0	1	2	3	4	5	6	7	254	V	
Force value 10	0	1	2	3	4	5	6	7	84,0	%	
Force value 11	0	1	2	3	4	5	6	7	50	Hz	
Force value 12	0	1	2	3	4	5	6	7	60	Hz	
Force value 13	0	1	2	3	4	5	6	7	1200	RPM	
Force value 14	0	1	2	3	4	5	6	7	1500	RPM	
Force value 15	0	1	2	3	4	5	6	7	1800	RPM	
Force value 16	0	1	2	3	4	5	6	7	97,0	%	
ExtValue1deflit	0	1	2	3	4	5	6	7	0	X	...
ExtValue2deflit	0	1	2	3	4	5	6	7	0	X	...
ExtValue3deflit	0	1	2	3	4	5	6	7	0	X	...
ExtValue4deflit	0	1	2	3	4	5	6	7	0	X	...

Figura 22 - Grupo Force Value do software Gem-Config
Fonte: Software Gem-Config.

As tabelas 5 e 6 apresentam quais os parâmetros que serão alterados e a qual *Force Value* a mudança está relacionada.

Tabela 5 - Relação de parâmetros x Force Values (Potência, corrente e tensão)

Step	Potência (kW)	Force Value	Corrente (Aca)	Force Value	Tensão (Vca)	Force Value
1	24	--	75	--	133	--
2	120	1	289	4	173	7
3	224	2	437	5	214	8
4	360	3	590	6	254	9

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 - Relação de parâmetros vs. Force Values (Frequência, rotação e proteção de subfrequência)

Step	Frequência (Hz)	Force Value	Rotação (rpm)	Force Value	Proteção de sub frequência	Force Value
1	45 (30)	--	900	--	64	--
2	45 (40)	--	1200	13	84	10
3	50	11	1500	14	97	16
4	60	12	1800	15	97	16

Fonte: Autoria própria.

3.8 PROTEÇÕES

Como o GMG iria trabalhar em situações não usuais, necessitou-se uma melhoria no que diz respeito a proteções, baseando-se em lógicas negativas para as proteções. Este modelo de proteção consiste em um circuito fechado que fica constantemente enviando uma referência negativa para o controlador. Caso haja um rompimento do chicote, por exemplo, o sistema encarara como uma falha, desligando-se de acordo com o intervalo de tempo selecionado.

Para proteger o motor contra baixa pressão e alta temperatura, utilizou-se um sensor de corte e um sensor de leitura, impondo uma redundância à proteção. No caso do sensor de corte, o módulo manda desligar o equipamento quando este passa da posição normalmente fechada (NF) para normalmente aberta (NA). Já no caso do sensor e leitura, o sistema é desligado de acordo com o *Setpoint* pré-estabelecido. Na figura 23 tem-se os principais itens da configuração de sensores, dentre eles: Se caracteriza-se uma falha de desligamento ou apenas aviso, se acusará falha do sensor, se será ativada atingindo o limite superior ou inferior, qual será tempo para desligamento do motor e os valores de referência para comparação. O controle fica monitorando esse sistema constantemente.

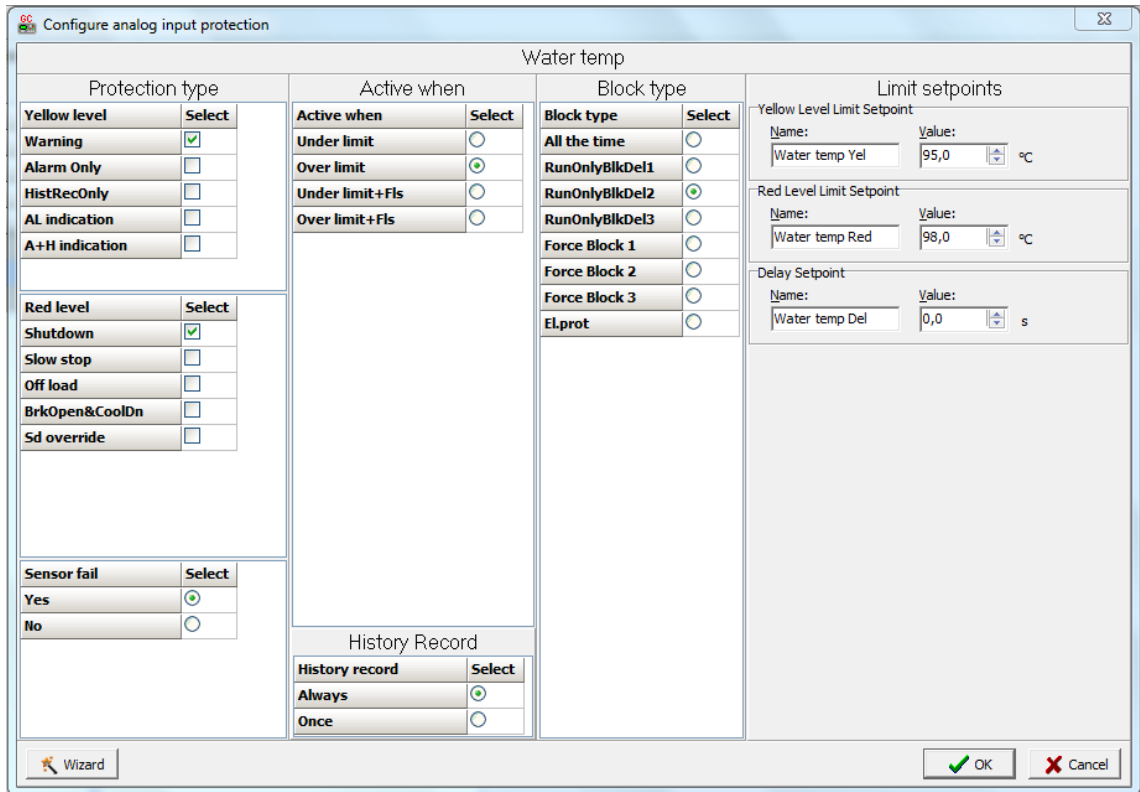


Figura 23 - Configuração do sensor de temperatura do motor
 Fonte: Software Gem-Config.

Posteriormente, plotou-se um gráfico no controlador, de acordo com as informações fornecidas pelo fabricante, possibilitando a leitura do sensor (figura24).

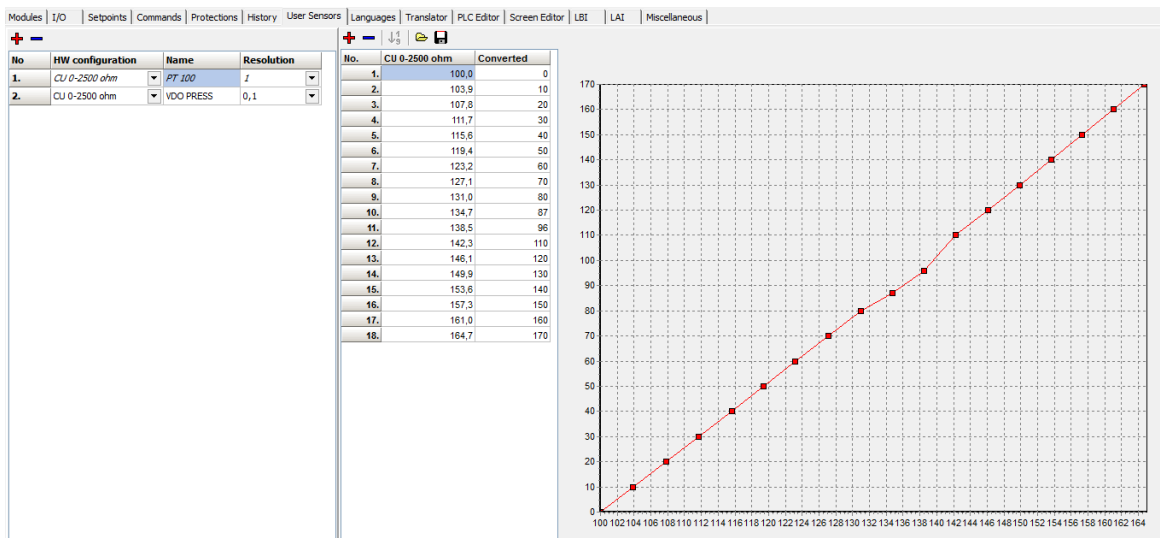


Figura 24 - Plotagem do gráfico do sensor de temperatura no controlador IG-NT
 Fonte: Software Gem-Config.

Um sensor de nível também foi instalado no radiador para garantir que haja líquido de arrefecimento durante a operação. Quanto às proteções elétricas, todas são feitas diretamente pelo controlador do GMG que já tem todas as referências necessárias.

Encontrou-se certa dificuldade no que diz respeito à proteção de frequência. O controlador não aceita a entrada de um valor abaixo de 45Hz no parâmetro de frequência nominal. Para o funcionamento, isso não influencia, pois o controle é feito pelo REV, porém para as proteções, torna-se um problema.

Inicialmente, projetou-se a necessidade de alterações nos valores das variáveis principais de potência, tensão, corrente, rotação e frequência. Como se tem 4 *Steps* seriam necessárias 20 parâmetros que ficariam sendo alterados dependendo do solicitado. Como 5 valores são padrão do sistema (*Step 1*), precisar-se-ia modificar 15 variáveis. Como se tinha 16 *Force Values*, ainda ficaria uma de reserva.

A Tabela 7 mostra como foi inicialmente planejado, com todos os *Steps* com seus limites de proteção de 3% tanto superior quanto inferior.

Tabela 7 - Relação planejada de parâmetros de frequência e proteções vs. *Force Values*

<i>Step</i>	Frequência real (Hz)	Frequência parametrizada (Hz)	Proteção de subfrequência	<i>Under limit</i> (Hz)	<i>Force Value</i>	Proteção de sobrefrequência	<i>Over limit</i> (Hz)	<i>Force Value</i>
1	30	30	97	29	--	103	31	--
2	40	40	97	39	--	103	41	--
3	50	50	97	49	--	103	52	--
4	60	60	97	58	--	103	62	--

Fonte: Autoria própria.

Como o controlador não aceita um valor abaixo de 45Hz, houve a necessidade de realizar algumas alterações para que o sistema mantivesse uma segurança eficaz. Note na Tabela 8 que a proteção de subfrequência foi estabelecida com o auxílio de 2 *Force Values* (10 e 16). Já a proteção de sobrefrequência não ficou no valor ideal (limite superior de aproximadamente 3%), porém protege a faixa de operação, garantindo que o motor não dispare.

Tabela 8 - Relação real de parâmetros de frequência e proteções vs. Force Values

Step	Frequência real (Hz)	Frequência parametrizada (Hz)	Proteção de subfrequência	Under limit (Hz)	Force Value	Proteção de sobrefrequência	Over limit (Hz)	Force Value
1	30	45	64	29	--	103	46	--
2	40	45	86	39	10	103	46	--
3	50	50	97	49	16	103	52	--
4	60	60	97	58	16	103	62	--

Fonte: Autoria própria.

3.9 PROGRAMAÇÃO DO CLP

A programação no CLP foi desenvolvida baseada em uma lógica de eventos que deveriam ocorrer simultaneamente. Se nenhum Step for selecionado, o sistema permanece no Step padrão (Step 1). O Step 2 só será selecionado, ativando a saída “PLC-BOUT 1.1”, quando:

- A entrada física “IGS-NT BI2”, que representa a seleção do Step pelo operador, estiver acionada;
- A saída virtual “Bin outputs CU”, que representa GMG em funcionamento, estiver ativa;
- E se nenhuma das entradas físicas “IGS-NT BI3” e “IGS-NT BI4”, que representam a seleção dos Step 3 e Step 4, estiverem acionadas;

Este último item tem como principal função dar prioridade aos níveis maiores de carga.

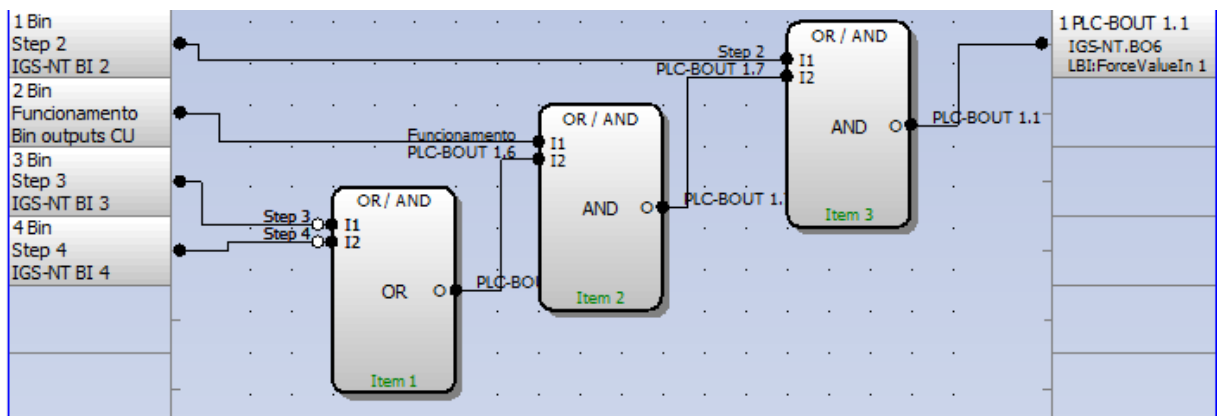


Figura 25 - Programação de seleção do Step 2

Fonte: Software Gem-Config.

Já o *Step 3* só será selecionado, ativando a saída “*PLC-BOUT 1.2*”, quando:

- A entrada física “*IGS-NT BI3*”, que representa a seleção do *Step* pelo operador, estiver acionada;
- A saída virtual “*Bin outputs CU*”, que representa GMG em funcionamento, estiver ativa;
- E se a entrada física “*IGS-NT BI4*”, que representam a seleção dos *Step 4*, não estiver acionada;

Este último item tem como principal função dar prioridade ao ultimo degrau de carga.

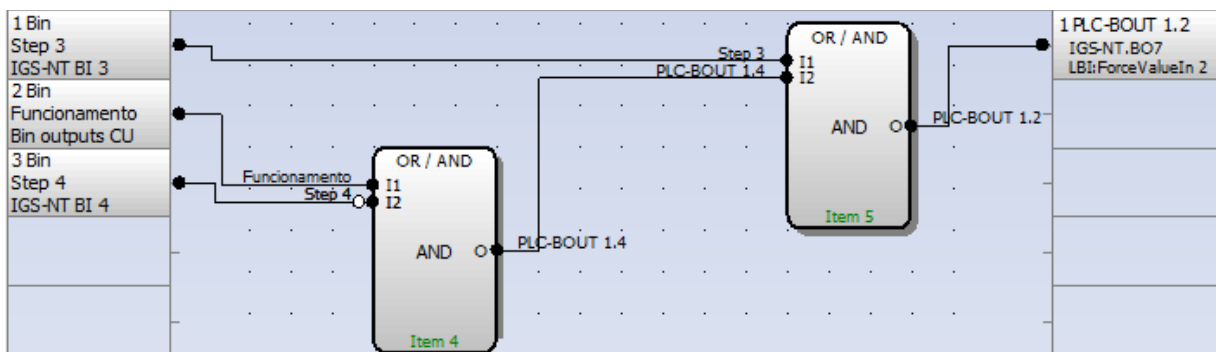


Figura 26 - Programação de seleção do Step 3

Fonte: Software Gem-Config.

Já o *Step 3* só será selecionado, ativando a saída “*PLC-BOUT 1.3*”, quando:

- A entrada física “*IGS-NT BI4*”, que representa a seleção do *Step* pelo operador, estiver acionada;
- A saída virtual “*Bin outputs CU*”, que representa GMG em funcionamento, estiver ativa;

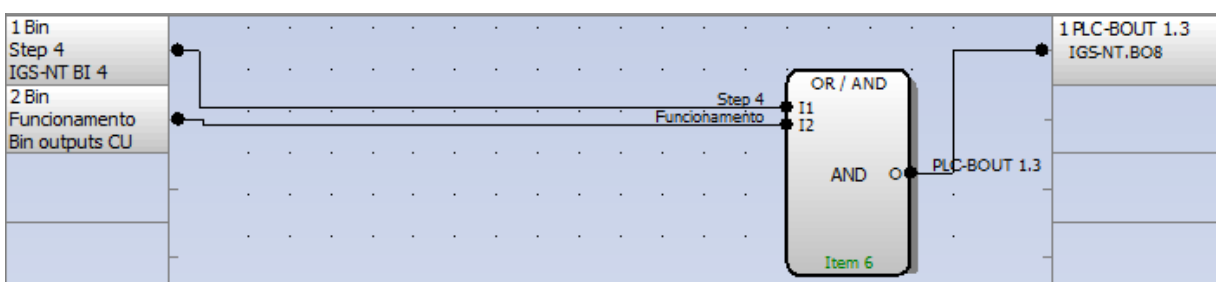


Figura 27 - Programação de seleção do Step 4

Fonte: Software Gem-Config.

Todas as saídas do CLP (tabela 9) utilizadas são relacionadas a saídas virtuais (figura 28), conseqüentemente aos *Force Values* correspondentes e também a saídas físicas (figura 29), utilizadas para lógica externa.

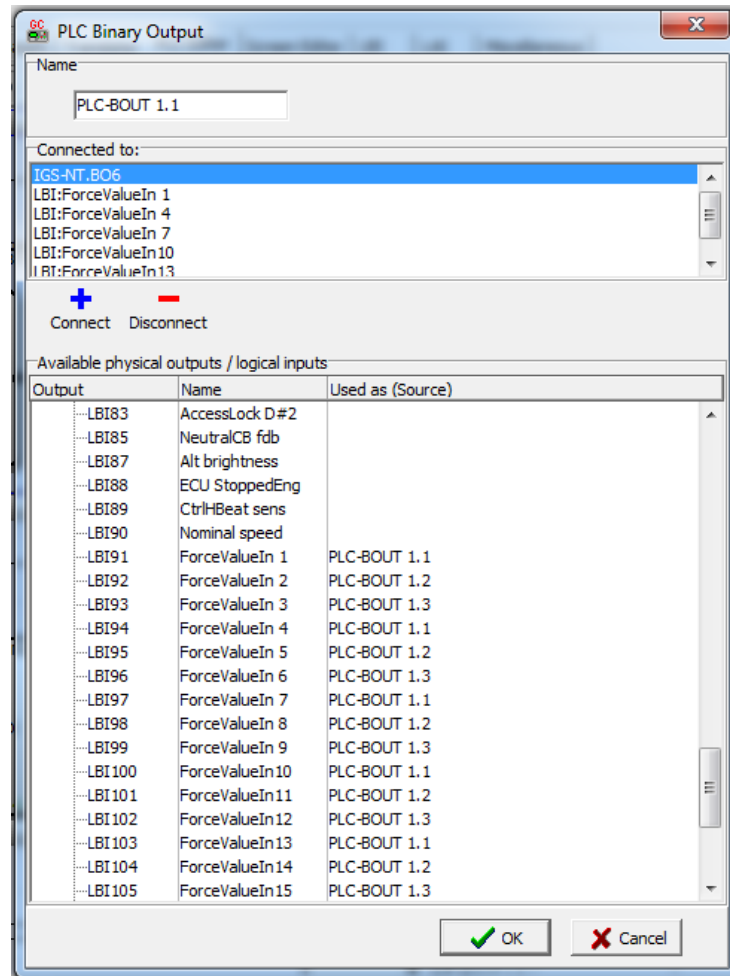


Figura 28 - Saídas virtuais
Fonte: Software Gem-Config.

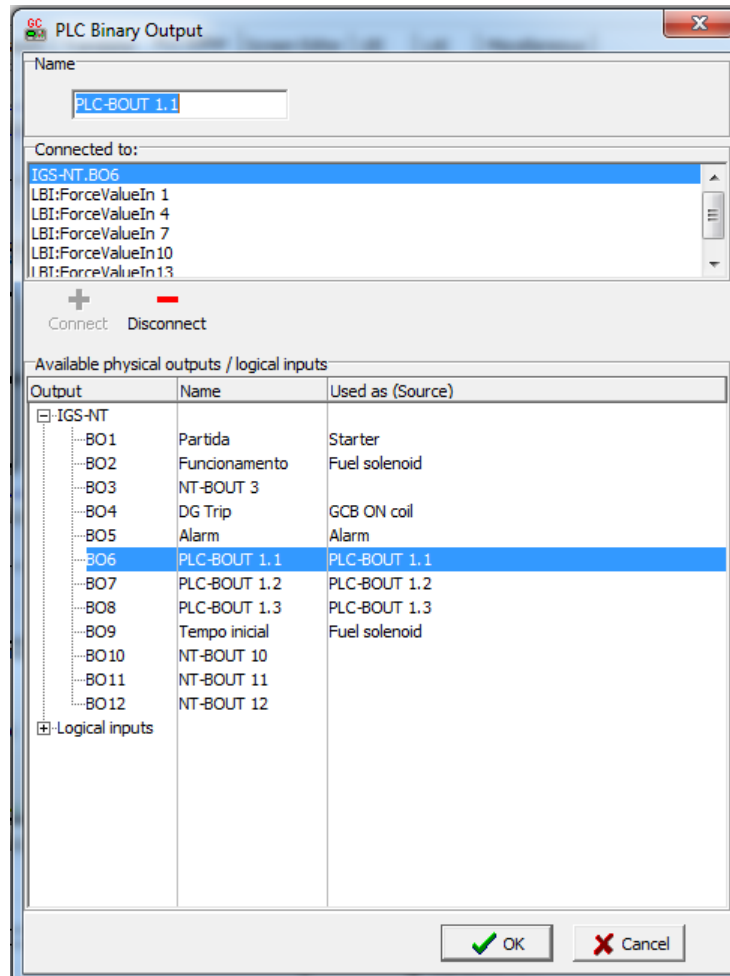


Figura 29 - Saídas físicas
Fonte: Software Gem-Config.

Tabela 9 - Relação de saídas virtuais, físicas e Step.

Step	Resistência (k Ohms)	Rotação (rpm)
1	0	900
2	1,67	1200
3	3,33	1500
4	5	1800

Fonte: Autoria própria.

3.10 TESTS EM CAMPO

Após finalização e montagem do GMG (figura 30) pode-se dar início ao acoplamento do equipamento a estrutura do RTG (figura 31).



Figura 30 - GMG após montagem dos componentes principais
Fonte: Autoria própria.

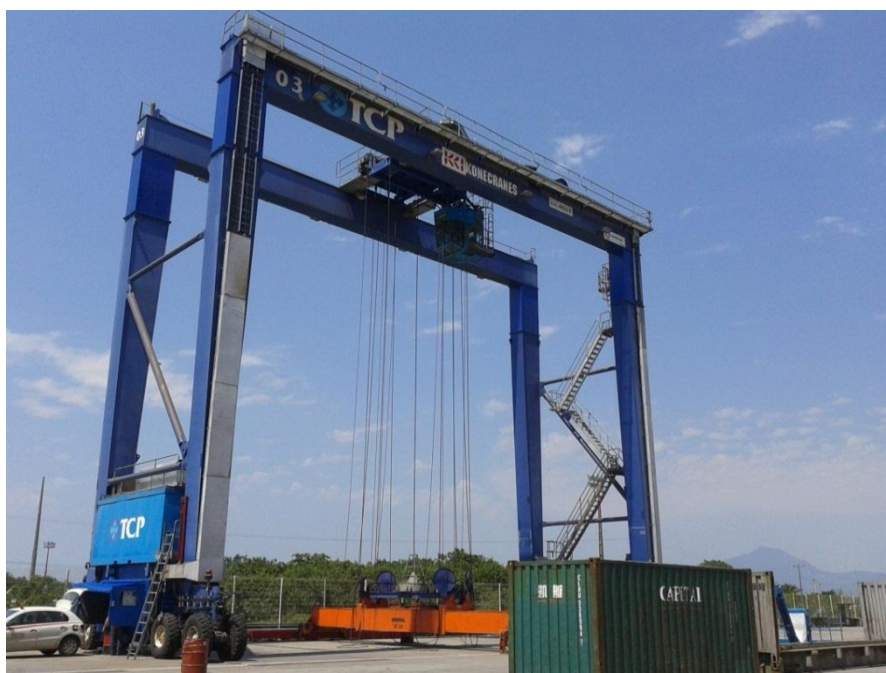


Figura 31 - GMG acoplado na estrutura do RTG
Fonte: Autoria própria.

Inicialmente realizaram-se testes de todos os sensores de corte do motor. Com o interrupção do sinal nos sensores simulou-se alta temperatura, a baixa pressão do motor e um baixo nível de água do radiador. Em todos os casos o motor desligou-se como era previsto. Também se verificou que na interface entre controlador e GMG as leituras de parâmetros estavam todas corretas.



Figura 32 - Painel de comando após montagem e acoplamento no GMG
Fonte: Autoria própria.

Posteriormente teve início a batelada de testes operacionais simulando as faixas de aplicação. Na figura 33 mostra-se uma imagem do *Software* IntelliMonitor onde estão algumas das principais variáveis do processo no *Step 1*. Nota-se que quando a rotação está próxima de 900rpm a tensão de fase-fase fica em torno de 236V.



Figura 33 - Variáveis de controle do Step 1
Fonte: Autoria própria.

Já no segundo Step (figura 34) a rotação é de 1188rpm e a tensão em torno dos 300V.

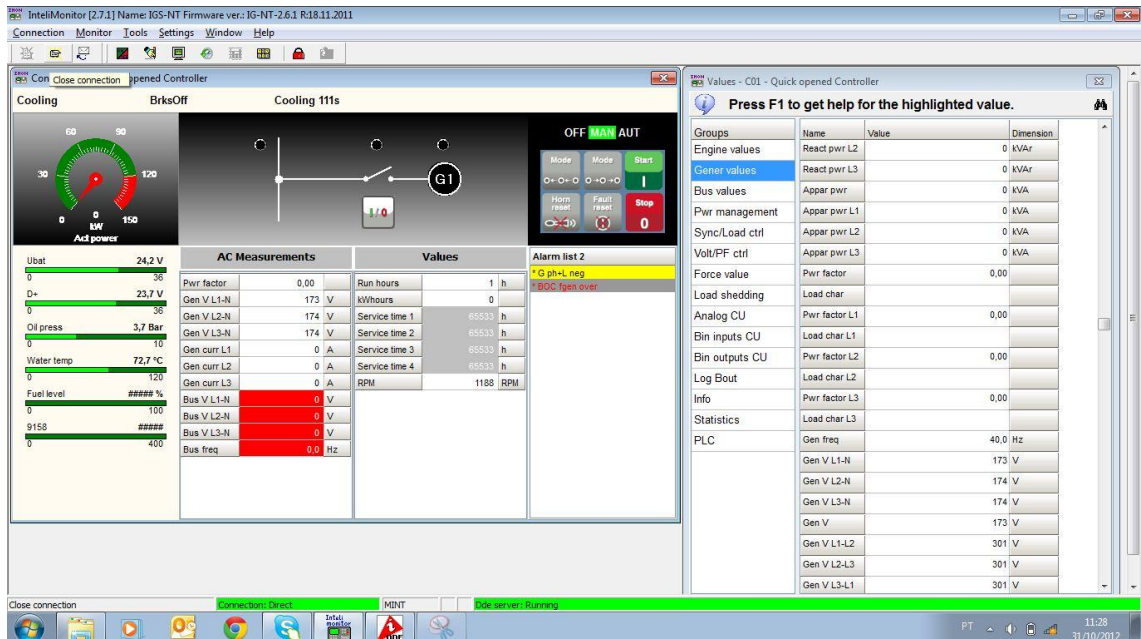


Figura 34 - Variáveis de controle do Step 2
Fonte: Autoria própria.

Quando a rotação atinge uma nominal de 1488rpm (Step 3) a tensão passa dos 370V (figura 35).

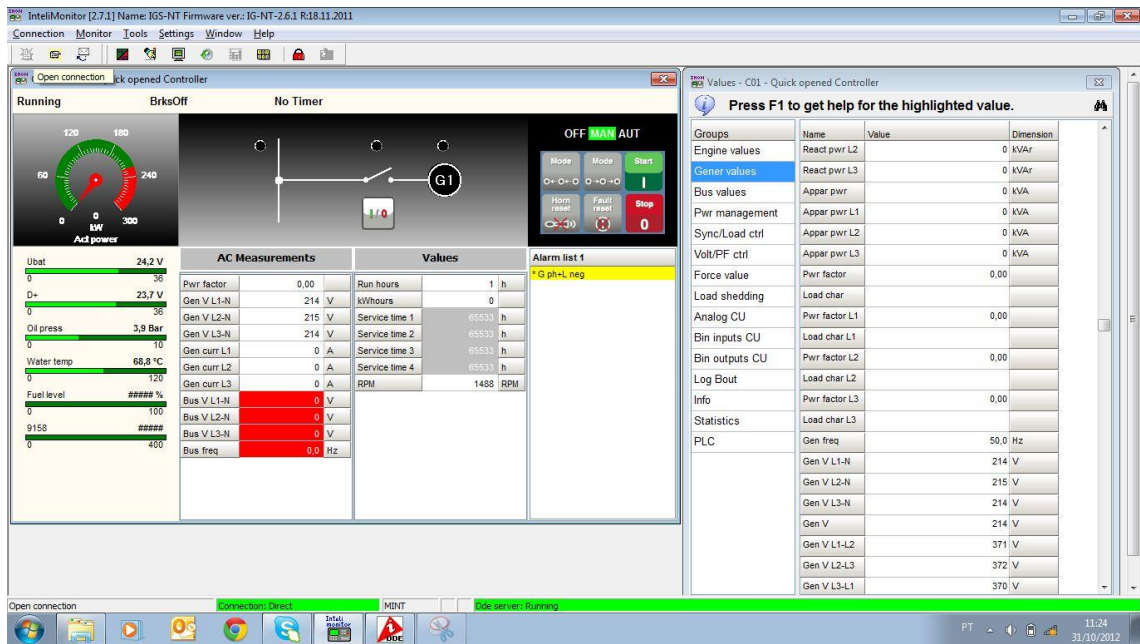


Figura 35 - Variáveis de controle do Step 3.
Fonte: Autoria própria.

Finalmente chegou-se ao ultimo Step da aplicação (figura 36), esta será responsável em suportar o maior nível de carga. A tensão de 439V e gerada a partir de uma rotação de 1764rpm.



Figura 36 - Variáveis de controle do Step 4
Fonte: Autoria própria.

3.11 FUNCIONAMENTO

Simplificadamente, o sistema do RTG funciona da seguinte maneira: Ao sair do gerador a tensão é retificada formando um “barramento de tensão contínua”. Depois é transformada em tensão alternada novamente que alimentará todos os componentes do equipamento, possibilitando assim o trabalho em qualquer nível de frequência da fonte geradora.

Da cabine de operação virão sinais de partida, parada e de seleção de *Step* de operação. Essas mensagens serão interpretadas pelo CLP do controlador do GMG que atuará de acordo com o programado. Quando um *Step* for selecionado, o uma saída CLP acionará uma saída virtual que mudará todos os parâmetros necessários. Também acionará uma saída física, que atuará na lógica externa de seleção de velocidade, interferindo no REV que fará a alteração de velocidade. Já o modulo IG-NT responde essa comunicação com o sinal funcionamento ou de falha de GMG.

3.12 ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS

Com o andamento do projeto, algumas alterações solicitadas pela empresa responsável à montagem do sistema de controle e acionamento do RTG foram necessárias. Dentre as principais, temos:

- Definiu-se que o Primeiro *Step* do Grupo Motor-gerador com tensão 230Vac e rotação de 900rpm seria eliminado, pois o sistema do CLP integrado no RTG necessitava de uma tensão superior a 300Vac. Esta característica não pode ser obtida, pois para alcançá-la ultrapassaria a corrente de excitação limite que o alternador suporta (2,5Acc). Essa “surpresa” poderia ter sido evitada com uma melhor comunicação entre as partes do projeto, durante sua execução, evitando retrabalho e custos desnecessários.
- Na partida remota deixou-se um tempo de 30 segundos entre o momento em que o comando de ligar o motor era dado ao momento que ele realmente ligava. Ficou acordado em diminuir esse tempo para 5 segundos.

Para atender a essa solicitação alterou-se a lógica do sistema, pois a função padrão que o controlador trazia para partida não deixava alterar esse intervalo.

- O sinal de partida também foi revisado, pois seriam necessários dois botões, um de partida e outro de parada. No escopo inicial havia apenas um botão, que na posição normalmente aberta (NA) deixava o motor desligado e na posição normalmente fechada (NF) ligava-o. Essa lógica foi implementada no CLP do controlador.

- No sistema inicial colocou-se um relé temporizado, pois o regulador de tensão necessitava de uma rotação acima de 1500rpm para iniciar a excitação. Esse relé manteria o sistema em 1800rpm até a tensão ser gerada e depois caso não haja nenhum comando, retorna para a velocidade de marcha lenta. Como o sistema do CLP do RTG precisa de aproximadamente 25 segundos em 1800rpm para ligar e como gerador é a única fonte de energia do sistema, foi necessário colocar um relé temporizado de 30 segundos, suprimindo assim as duas necessidades.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalização dos estudos realizados pode-se provar que é possível implementar um sistema com as características exigidas inicialmente, fazendo uma atualização do sistema e acrescentando alguns componentes essenciais.

Com um olhar amplo, percebe-se que um dos principais pontos negativos foi a falta de comunicação entre todas as “pontas” envolvidas na aplicação. Isso mostra o quão é importante toda e qualquer alteração ser reportada o mais rápido possível, evitando assim que os objetivos tivessem que ser moldados para se adaptarem as alterações impostas e conseqüentemente retrabalhos. Porém, importante lembrar que desde o início, todas as partes envolvidas tinham conhecimento da possibilidade de não se obter êxito, pois se tratava um protótipo.

Apesar de não se ter conseguido executar os testes definitivos no RTG, com os resultados obtidos nos testes internos pode-se projetar que a aplicação original, considerando o *Step* de 900rpm, seria viável, trazendo uma economia de combustível considerável e aumentando a confiabilidade do sistema.

Profissionalmente, esse projeto possibilitou um crescimento em diversas áreas de conhecimento, pois permitia participar ativamente de praticamente todas as etapas envolvidas, desde a parte comercial de realmente “fechar o negócio”, passando pelo planejamento, coordenação e participação das atividades diretas ao projeto, até o levantamento dos resultados obtidos, tanto funcionalmente quanto financeiramente.

Pessoalmente, tornou-se uma grande oportunidade de expor-se a contratemplos, imprevistos e relações interpessoais, exigindo uma melhoria constante a capacidade de se flexibilizar ao que está sendo momentaneamente exigido e a comunicar-se de forma clara e objetiva.

REFERENCIAS

AMARO, Filipe Henrique da Silva et al. **Sistema de Gerenciamento de um motor eletrônico. NET**, [2009?] 2p. Disponível em: < http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aeHS-hu6-agJ:xa.yimg.com/kq/groups/24043818/1144858834/name/Gerenciamento%2Bde%2Bmotor_artigo.pdf+%&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 17 ago. 2013.

BOSCH. **Sistemas de Injeção Eletrônica Diesel**. Campinas: Robert Bosch Ltda. 2009. 63p. Disponível em: <http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/diesel/downloads/Cat_Sistemas_de_Injecao_Eletronica_Diesel_2009.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2013.

COMAP. **Inteli New Technology Modular Gen-set Controller – Application Guide**. 2011. 69p.

_____. **Inteli New Technology Modular Gen-set Controller – Installation Guide**. 2011. 115p.

_____. **Inteli New Technology Modular Gen-set Controller – Operator Guide Guide**. 2011. 36p.

_____. **Inteli New Technology Modular Gen-set Controller – Troubleshooting Guide**. 2011. 39p.

COSTA Antonio J.A. Simões et al. **Controle e Estabilidade de Sistemas Elétricos de Potência**. Florianópolis: 2000. 193p. Disponível em: < <http://www.labspot.ufsc.br/~simoies/dincont/dc-cap5.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2013.

CUMMINS. **Manual de Operação e Manutenção Motores NT/NTA855 Big Cam III**. nº 3653357. Guarulhos: Cummins Brasil 2009. 336p.

_____. **Sistema de Combustível PT: Teoria e operação**. BOLETIM nº 3387213-P-01. [S.I.]: Unidade de treinamento Cummins, 1983. 34p.

FITZGERALD, Arthur. **Máquinas Elétricas**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman 2006. 648p.

GAC. **Regulador de Velocidade Série EDG5500 - Manual - 2011 - Português.** Fornecido pela Servintel Internacional, distribuidor oficial GAC.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina** 1997. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERT_ACAO_Enedir_Ghisi.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2013.

KOSOW, Irving. **Máquinas Elétricas e Transformadores.** 15.ed. São Paulo: Globo 2005. 667p.

MARCONI, Marina de Andrade et al. **Metodologia do trabalho científico**, 6^a ed. São Paulo, Atlas, 2001.

MARKUS, Otávio. **Circuitos Elétricos – Corrente Contínua e Corrente Alternada.** 9.ed. São Paulo: Érica, 2004. 286p.

MARTIGNONI, Alfonso. **Máquinas Síncronas.** Vol.4. São Paulo: Edart, 1967. 106p.

Mecatrônica Atual, Retrofitting: **Implementação de Controladores de Equipamentos.** Artigo publicado na Revista Mecatrônica N°. 42 de novembro de 2001. Disponível em: < <http://www.mecatronicaatual.com.br/artigos/1300-retrofitting-implementao-de-controladores-de-equipamentos>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno.** 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 813p.

PEREIRA, José Claudio. **Motores e Geradores.** Revisão 3. 2006. 121p Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/apost.html>> Acesso em: 25 ago. 2012

PUGLIESI, Márcio. **Manual Completo do Automóvel: Motores Diesel.** 4. ed. São Paulo: Érica, 1991. 810p.

TORO, Vicent. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 550p.

ROSIQUE, Martín. Grupos Geradores: Energia sem fronteiras!. **NET**, out.2009. Disponível em: < <http://www.mosa.pt/media/File/noticias-prensa/articulo-MOSA-Infraestruturas-Africa-n01-Outubro09.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

VALE, Maurício Soares do. **Diretrizes para racionalização e atualização das edificações**: segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do retrofit. 2006. 207 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro 2006. Disponível em: < http://teses.ufrj.br/FAU_M/MauricioSoaresDoVale.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2013.

VARELLA, Carlos Alberto Alves et al. **Noções Básicas de Motores Diesel**. Seropédica, 1ª Edição jul. 2010. 45p. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2013.