

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ANDRÉ LUÍS GUIMARÃES AZEVEDO  
THIAGO FRANCISCO DE LIMA COELHO

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA  
GERADOR EÓLICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

ANDRE LUIS GUIMARÃES AZEVEDO  
THIAGO FRANCISCO DE LIMA COELHO

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA  
GERADOR EÓLICO**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Departamento  
Acadêmico de Eletrotécnica da  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná como requisito para obtenção  
do título de Tecnólogo em Automação  
Industrial.

Orientador: Marco Antônio Buseti de  
Paula

CURITIBA

2014

**ANDRÉ LUÍS GUIMARÃES DE AZEVEDO  
THIAGO FRANCISCO DE LIMA COELHO**

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA  
SUPERVISÓRIO PARA GERADOR EÓLICO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Eletrotécnica**, Modalidade Automação Industrial, do **Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica** da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 19 de março de 2014

---

Prof. José da Silva Maia, M.Sc.  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

---

Prof. Jean Carlos Cardozo da Silva, D.Sc.  
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Marco Antônio Buseti de Paula, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

---

Prof. Jorge Assade Leludak, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Juvenal Akita.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

GUIMARÃES AZEVEDO, André Luís; COELHO, Thiago F. L. **Projeto e implementação de sistema supervisorio para gerador eólico**. 59 f. Trabalho de conclusão de curso – Tecnologia em Eletrotécnica – Modalidade: Automação Industrial, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Em busca de fontes renováveis de geração de energia elétrica, considerando o aumento de demanda e a necessidade de preservação do meio ambiente, a comunidade internacional ampliou investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas fontes de geração, entre elas a eólica. O presente trabalho tem como objetivo o projeto e implementação de um sistema supervisorio para o gerador eólico de pequeno porte instalado na empresa Elco Engenharia de Montagens, a qual pretende avaliar a viabilidade de desenvolver um produto com tecnologia nacional. A finalidade do sistema é manipular os dados gerados, propondo uma interface de supervisão capaz de gerar os seguintes resultados: permitir ao usuário acompanhar o processo de geração em tempo real; gerar relatórios de análise da geração de energia e gráficos para análise do desempenho do sistema. O estudo foi classificado como desenvolvimento tecnológico, pois a partir de uma revisão bibliográfica sobre sistemas supervisorios foi realizada a estruturação do sistema implementado. E com esta foi possível planejar a execução e dividi-la de forma organizada e por etapas. O resultado foi um sistema capaz de processar as informações e gerar relatórios sobre o desempenho do gerador.

### **Palavras-chave:**

- Gerador eólico
- Banco de dados
- Sistema supervisorio
- Energia renovável
- Ferramentas da qualidade

## ABSTRACT

GUIMARÃES AZEVEDO, André Luís; COELHO, Thiago F. L. **Design and implementation of supervisory system for wind generator.** 59 f. Trabalho de conclusão de curso – Tecnologia em Eletrotécnica – Modalidade: Automação Industrial, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

In search of renewable electricity generation, considering the increasing demand and the need to preserve the environment, the international community has expanded investment in research and development of new generation sources, including wind. The objective of this work is the design and implementation of a supervisory system for the small wind generator installed in the company Elco Engineering Assemblies, company that aims to assess the feasibility of developing a product with national technology. The purpose of the system is to handle data generated by the equipment, from a supervisor interface able to generate the following results: allow the user to monitor the process of real-time generation; generate analysis reports generation and graphs for analysis the system performance. The study was classified as technological development because from a literature review on the structuring of supervisory systems, the implemented system was performed. From the structure of the project was possible to plan the implementation and divide neatly and in stages. The result was a system able to process the information and generate reports on the performance of the generator.

Keywords:

- Wind Generator
- Database
- Supervisory system
- Renewable energy
- Quality tools

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da implementação do sistema .....	14
Figura 2 - Fluxo de informação desde a geração de energia .....	16
Figura 3 - Esquema genérico de um gerador eólico.....	20
Figura 4 - Carta de controle.....	28
Figura 5 - Gráfico da relação estatística entre porcentagem e número de desvios padrão .....	29
Figura 6 - Fórmula do cálculo do erro padrão .....	30
Figura 7 - Cálculo dos limites superior e inferior .....	30
Figura 8 - Gráfico de Pareto .....	31
Figura 9 - Esquema de gerador de pequeno porte com lâminas verticais .....	33
Figura 10 - Estrutura do banco de dados .....	34
Figura 11 - Organograma das telas de navegação .....	36
Figura 12 - Diagrama de blocos do sistema supervisorio.....	39
Figura 13 - Etapas da rotina de comunicação .....	42
Figura 14 - Exemplo de <i>query</i> executada a cada ciclo do sistema de supervisão .....	44
Figura 15 - Tela de visão geral e tendências.....	46
Figura 16 - Apresentação de grandezas na tela principal .....	47
Figura 17 - Gráfico de tendência de energia .....	47
Figura 18 - Tela de configurações do sistema.....	48
Figura 19 - Tela de filtro de registros.....	49
Figura 20 - Detalhe da tela de filtro de registros.....	50
Figura 21 - Tela de alarmes ativos e histórico de falhas .....	50
Figura 22 - Exemplo de gráfico de controle gerado.....	52
Figura 23 - Tabela de dados estatísticos calculados.....	52
Figura 24 - Exemplo de gráfico de Pareto gerado.....	53

## LISTA DE SIGLAS

BCC	Block Check Character
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
CLP	Controlador Lógico Programável
CSV	Comma Separated Value
CTA	Centro de Tecnologia Aeroespacial
EP	Erro Padrão
IEA	Instituto de aeronáutica e Espaço
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IHM	Interface Homem Máquina
LED	Light Emitting Diode
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
MA	Média Aritmética
PDF	Portable Document Format
PLC	Programmable Logic Controller
PWM	Pulse Width Modulation
RS-232	Recommended Standard 232
RS-485	Recommended Standard 485
RTU	Remote Terminal Unit
SQL	Structured Query Language
VAC	Voltage Alternate Current
VDC	Voltage Direct Current

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma$	desvio padrão calculado.
$n$	número total de amostras
$x$	número de desvios padrão adotado pelo processo



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	10
1.1	TEMA	10
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	11
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Objetivo geral	12
1.3.2	Objetivos específicos	12
1.4	JUSTIFICATIVA	12
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	13
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
<b>2</b>	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO</b>	16
2.1	ENERGIA EÓLICA	17
2.1.1	Geração eólica no Brasil	17
2.1.2	Princípios da geração eólica	18
2.1.3	Conversão de energia mecânica	18
2.1.4	Conversão eletrônica e elevação da tensão	19
2.1.5	Sistema de supervisão e controle	20
2.2	SISTEMAS SUPERVISÓRIOS	22
2.2.1	Modos de comunicação de um sistema SCADA	23
2.2.2	Protocolo de comunicação <i>ModBus</i>	24
2.2.3	Planejamento de um sistema supervisório	25
2.3	ANÁLISE DE DADOS	28
2.3.1	Carta de controle	28
2.3.2	Gráfico de Pareto	30
<b>3</b>	<b>PROJETO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO</b>	32
3.1	ENTENDIMENTO DO PROCESSO	32
3.2	VARIÁVEIS DO PROCESSO	33
3.3	PLANEJAMENTO DA BASE DE DADOS	34
3.4	PLANEJAMENTO DE ALARMES	35
3.5	PLANEJAMENTO DA HIERARQUIA DE NAVEGAÇÃO	36
3.6	ANÁLISE DOS DADOS	37
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA</b>	38
4.1	ETAPAS DA IMPLEMENTAÇÃO	38
4.2	ESTUDO DA DOCUMENTAÇÃO DO PROJETO	40
4.3	ETAPAS DA COMUNICAÇÃO	41

4.4	IMPLEMENTAÇÃO DAS FUNÇÕES BÁSICAS .....	42
4.5	<i>DEBUG</i> E MELHORIAS .....	43
4.6	ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	43
4.7	ROTINA DE ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES .....	45
4.8	PROBLEMAS DURANTE A IMPLEMENTAÇÃO .....	45
4.9	TESTES DO BANCO DE DADOS.....	45
4.10	TELAS DE NAVEGAÇÃO .....	46
4.11	FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS .....	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

Atualmente muitos processos tem a necessidade de serem controlados, e para que este controle seja eficaz se faz necessário um monitoramento adequado das variáveis. Para esse fim surgiram os sistemas supervisórios, os quais permitem que sejam monitorados os dados de um processo ou instalação física.

"Um sistema supervisório é definido como uma interface de fácil leitura, com o objetivo de converter dados do processo de produção em gráficos ou em "telas amigáveis", de modo a facilitar a percepção e a atuação do operador sobre o processo. De um modo geral é um sistema computacional que obtém os dados do processo e os transforma em dados gráficos, mostrando-os em um monitor." (MOREIRA LOPES, 2009, p. 6).

O presente estudo surgiu a partir da necessidade do usuário do gerador eólico saber de forma fiel quais são as quantidades de energia gerada, e os valores de outras variáveis do processo. Com essa necessidade o tema do trabalho realizado é a aquisição de dados de um gerador eólico para análise de desempenho.

Com a ampliação da pesquisa e desenvolvimento em geração de energia eólica e, baseado nos estudos favoráveis a expansão do parque eólico no Brasil, a utilização deste equipamento traria inúmeros benefícios.

Vários argumentos a favor da expansão do parque eólico no Brasil são identificados, em particular a forte complementaridade entre os períodos de chuva e de vento, o que dá margem para que os parques eólicos possam suprir energia durante a estação seca, propiciando o acúmulo de água nos reservatórios das grandes hidrelétricas e reduzindo a utilização da geração térmica. Ademais, a geração eólica não emite poluentes atmosféricos, contribuindo diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa decorrentes do sistema elétrico nacional. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2008, p. 8)

Deste modo o objetivo do trabalho é propor uma interface de supervisão com facilidade de visualização as grandezas de relativa importância para o processo de geração, e também coletando os dados, armazenando-os em um

banco de dados e manipulando-os de forma que o usuário possa acessá-los e interpretá-los.

Em busca de resultados mais satisfatórios na geração de energia eólica, a empresa Elco Engenharia de Montagens sentiu a necessidade de armazenar os dados relativos ao gerador do fabricante japonês *Sinfonia Technology*. O intuito é analisar estes dados para criar um plano de ações e desenvolver um produto nacional. Para isso é necessária a implantação de um sistema supervisorio para gerar gráficos e filtrar dados para avaliar o potencial de geração do equipamento através da análise das informações obtidas utilizando ferramentas da qualidade. E a partir destas é possível encontrar limitações técnicas e geográficas deste tipo de fonte energética.

A área da empresa que será beneficiada e abordada é o departamento de desenvolvimento em energias alternativas. A empresa em questão é do segmento de engenharia elétrica e fica localizada na região central de Curitiba.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O principal problema encontrado e que motivou o desenvolvimento do trabalho foi a falta de informações sobre o rendimento do gerador eólico no local onde este está instalado.

Em decorrência dessa falta de informação, não é possível saber se o equipamento será capaz de atingir os níveis de geração de energia esperados, e, desta forma verificar se os interesses da empresa serão atendidos.

A partir do problema de falta de informação, foi necessário encontrar uma solução para supervisionar as grandezas do equipamento para obtenção de um maior controle sobre o rendimento do processo.

Com a utilização do sistema supervisorio para o gerador eólico é possível obter um histórico das quantidades de energia gerada, além do acompanhamento dos dados em tempo real, desta forma é solucionado o problema de falta de informações sobre o rendimento do equipamento.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Projetar uma interface que reúna de forma resumida e amigável as informações relevantes do processo de geração de energia, com leituras dos dados em tempo real, armazenamento dos valores e geração de relatórios e gráficos para análise.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Levantar dados na empresa, verificando quais são as características desejadas no supervisório.
- ✓ Revisar bibliografia sobre o geração eólica, sistema supervisório e análise de dados.
- ✓ Estruturar sistema supervisório de acordo com a revisão bibliográfica.
- ✓ Escolher o banco de dados que será utilizado para armazenar e manipular os dados obtidos.
- ✓ Realizar a comunicação entre o equipamento e o software de supervisão.
- ✓ Projetar a interface integrando-a com o banco de dados.
- ✓ Desenvolver sistema de geração de relatórios e gráficos.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

A geração de energia eólica em pequena escala é um assunto relativamente novo no Brasil, já que os primeiros geradores eólicos foram instalados no país no início da década de 1990. O desenvolvimento desta tecnologia requer a avaliação de desempenho dos geradores. Para isto, a interface de supervisão irá realizar a monitoração dos seguintes dados:

- Energia gerada acumulada;
- Potência instantânea;
- Velocidade de rotação da turbina;

- Tensão do banco de baterias;
- Corrente contínua fornecida ao inversor;
- Corrente gerada pelo sistema eólico;
- Corrente gerada pelo sistema solar;
- Velocidade do vento;
- Falhas do sistema;

A partir da monitoração das variáveis citadas anteriormente o sistema supervisorio permitirá um desenvolvimento da tecnologia de geração em pequena escala baseada em informações consistentes sobre o processo, já que o software original desenvolvido pelo fabricante do gerador eólico somente armazena os dados gerados sem interface de pesquisa ou análise.

Para a implementação do sistema supervisorio foram analisadas as opções de mercado existentes, com foco em: licenças, ferramentas de desenvolvimento, suporte e o conhecimento prévio da ferramenta.

Entre estas ferramentas, foram consideradas:

- Elipse E3 – *Software* específico para desenvolvimento de sistemas supervisorio.
- LabVIEW – Plataforma de desenvolvimento de softwares para automação de processos.

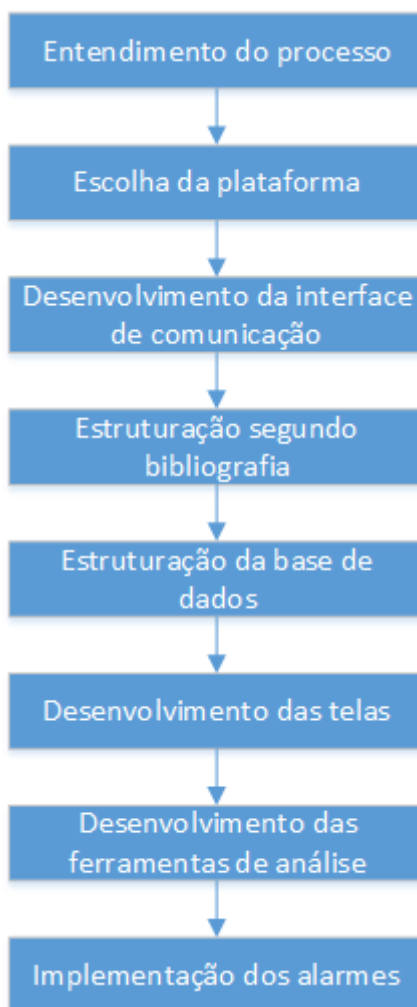
Os motivos relevantes para a escolha da plataforma LabVIEW foram: o prévio conhecimento da linguagem de programação que permite a economia de tempo no desenvolvimento; a forma de distribuição de licenças que permite a médio prazo um menor custo; a flexibilidade da plataforma para desenvolver protocolos de comunicação dedicados, comparado ao Elipse que necessitaria de um *driver* específico para o equipamento.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Classifica-se o estudo proposto como um desenvolvimento tecnológico, devido ao fato de existir um problema específico (falta de informações sobre o processo de geração eólica, e deficiência no armazenamento e análise de dados) e, para resolver este problema foi necessário projetar e implementar

uma solução dedicada seguindo procedimentos descritos em bibliografia específica sobre o tema.

A Figura 1 representa as etapas do desenvolvimento.



**Figura 1 - Etapas da implementação do sistema**  
**Fonte: Autoria própria**

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Prevê-se a seguinte estrutura de divisão do trabalho:

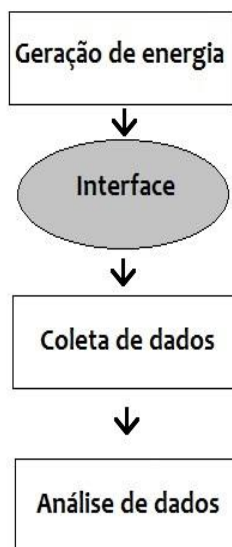
- Capítulo 1 - Introdução com apresentação do tema, problemas, objetivos principais e metodologia da pesquisa.
- Capítulo 2 - Revisão bibliográfica: geração de energia eólica e seus princípios, sistemas supervisórios, ferramentas da qualidade.
- Capítulo 3 - Projeto do sistema supervisório, projeto do banco de dados, detalhamento das ferramentas de qualidade.
- Capítulo 4 - Descrição da implementação do sistema, problemas durante o desenvolvimento e resultados obtidos.
- Capítulo 5 - Conclusão.
- Capítulo 6 - Considerações Finais.
- Capítulo 7 - Referências.



## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

No esquema da Figura 2, pode-se visualizar a sequência do fluxo de informações, desde a geração de energia até a análise dos dados feita pelo usuário após estes terem sido coletados e armazenados. Para um melhor entendimento sobre o processo de geração de energia eólica será descrito posteriormente o entendimento deste segundo Pavinatto (2005). Também pode ser visto na Figura 2 que a interface de supervisão proposta juntamente com o banco de dados, faz a ligação entre o usuário e o equipamento. Para a implementação do sistema supervisorio, primeiramente é necessário realizar o planejamento do sistema onde é possível seguir as etapas propostas por Moraes e Castrucci (2007).

O desenvolvimento do banco de dados e a interface para acesso ao banco também serão baseados na descrição feita por Moraes e Castrucci (2007). E por fim, para a análise dos dados coletados, é possível aplicar algumas das ferramentas de qualidade citadas por Isnard (2010) e definidas por Samohyl (2006) conforme representado na Figura 2.



**Figura 2 - Fluxo de informação desde a geração de energia**  
**Fonte: Autoria Própria**

## 2.1 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica - produzida a partir da força dos ventos - é abundante, renovável, limpa e disponível em muitos lugares. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013). O vento é resultado do movimento de massas de ar ao redor da superfície do globo, provocado por diferenças de temperatura e pressão, e a energia cinética dessas massas de ar constitui uma imensa fonte de energia natural, sendo vista como uma das mais promissoras, a qual pode facilmente ser transformada em energia elétrica através das turbinas eólicas projetadas para este fim.

O uso da energia eólica já é conhecido há quatro milênios quando os egípcios usavam desta força para mover suas embarcações. Depois surgiram entre 2 mil a.C.<sup>1</sup>, na antiga Babilônia, e 200 a.C. na antiga Pérsia os moinhos de vento utilizados para moer grãos. Segundo Pinto (2013) o uso desta fonte para gerar energia elétrica só foi destacado a partir da crise do petróleo em 1973, quando a comunidade internacional buscou novos meios de geração visando diminuir a dependência do petróleo e do carvão, e visando também proteger o meio ambiente. Tendo em vista que em épocas atuais os combustíveis fósseis dominam a produção de energia e aumentam a degradação do meio ambiente.

### 2.1.1 Geração eólica no Brasil

De acordo com Pinto (2013) entre 1973 e 1983 o IEA/CTA construiu e fez ensaios de 15 protótipos de turbinas eólicas. Em 1992 a primeira turbina eólica foi instalada no país, sendo também a primeira da América do Sul. Esses estudos incentivaram uma avaliação do potencial eólico brasileiro em parceria com o governo alemão e o CTA, com destaque para a região nordeste, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

A avaliação técnica do potencial eólico exige um conhecimento detalhado do comportamento dos ventos. Os dados relativos a esse comportamento - que auxiliam na determinação do potencial eólico de uma região - são relativos à intensidade da velocidade e à direção do

---

<sup>1</sup> a.C. - Antes de Cristo.

vento. Para obter esses dados, é necessário também analisar os fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento. Entre eles pode-se citar o relevo, a rugosidade do solo e outros obstáculos distribuídos ao longo da região. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

“O Brasil tem uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. As fontes renováveis respondem por aproximadamente 73% da produção, majoritariamente de fonte hidrográfica. Apenas 0,31% é de fonte eólica (em julho de 2011).” (PINTO, 2012, p. 271).

### 2.1.2 Princípios da geração eólica

A geração de energia eólica se dá através da captação da energia cinética provocada pelo vento, a qual movimentada pás de grandes turbinas que convertem este movimento em energia elétrica. O funcionamento de uma turbina eólica envolve vários campos de conhecimento, incluindo meteorologia, aerodinâmica, eletricidade, controle, bem como a engenharia civil, mecânica e estrutural.

“De uma maneira geral, um aerogerador é constituído principalmente pela turbina eólica, multiplicador mecânico, gerador elétrico e pelos sistemas de conexão elétrica e controle.” (PAVINATTO, 2005, p. 32). A figura 2 apresenta o esquema geral de um gerador eólico.

Como o objetivo deste trabalho não é especificar geradores eólicos e sim mostrar o seu funcionamento de uma forma genérica sobre o controle de um sistema de supervisão, os tipos de turbinas e famílias de geradores não serão abordados. A seguir serão descritas apenas as etapas de conversão de energia de um gerador eólico e os componentes que executam estas funções.

### 2.1.3 Conversão de energia mecânica

Após a incidência dos ventos na turbina eólica se dá início o processo de conversão da energia mecânica em energia elétrica, e esta etapa é

realizada por dois sistemas os quais em seguida serão descritos, sendo estes o multiplicador mecânico e o gerador elétrico, o qual apesar do nome realiza uma função mecânica fundamental.

- Multiplicador mecânico – na grande maioria dos geradores eólicos a turbina trabalha em baixas rotações e o gerador elétrico em altas rotações, então o multiplicador realiza a função de compatibilizar estas rotações, sendo responsável pela conversão de torque e velocidades.
- Gerador elétrico – o gerador elétrico como mostra a Figura 3 faz parte de ambos os processos, conversão em energia mecânica e energia elétrica, justamente por receber a energia mecânica do multiplicador e converter em energia elétrica.

#### 2.1.4 Conversão eletrônica e elevação da tensão

Convertida a energia mecânica em energia elétrica através do gerador, é iniciada a etapa de conversão eletrônica e elevação da tensão, a qual manipula a energia gerada para que esta possa ser introduzida em uma rede elétrica. Em alguns casos esta conversão é inexistente devido ao tipo de gerador eólico, o qual pertence a um dos dois grupos básicos disponíveis no mercado, os de velocidade fixa ou os de velocidade variável. Os geradores de velocidade fixa normalmente são conectados diretamente a rede elétrica, esse tipo de conexão direta faz com que qualquer variação de tensão ou frequência se torne um problema na qualidade da energia, já os de velocidade variável são conectados a rede através do conversor o que isola estas perturbações advindas da turbina.

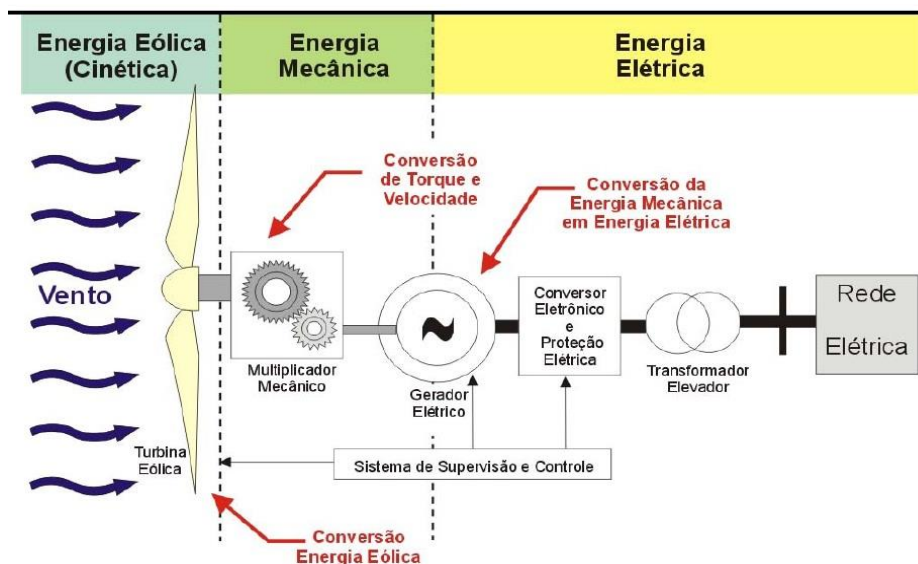


Figura 3 - Esquema genérico de um gerador eólico.  
Fonte: Pavinatto (2005)

- Conversor eletrônico – inicialmente a corrente alternada resultante da geração de energia é retificada, ou seja, é transformada em corrente contínua através do retificador CA-CC. Logo em seguida esta corrente contínua passa por um *link* CC<sup>2</sup> o qual filtra a tensão e esta corrente. E por fim passa por um inversor, o qual realiza o chaveamento desta tensão contínua por meio de IGBT's operando com modulação tipo PWM, convertendo novamente a tensão para CA.
- Transformador elevador – realiza a compatibilização da tensão da rede de distribuição onde o gerador eólico está conectado e a tensão de trabalho do inversor.

### 2.1.5 Sistema de supervisão e controle

A Figura 3 - Esquema genérico de um gerador eólico.<sup>3</sup> mostra também uma camada de controle, a qual realiza funções em ambas as etapas, devido à monitoração de processos mecânicos e elétricos. Geradores eólicos em geral contêm módulos que realizam determinadas funções, os quais atuam sobre as

<sup>2</sup> Conjunto de capacitores de filtragem e banco de baterias.

<sup>3</sup> O esquema representado na Figura 3 possui um bloco unificado para supervisão e controle. No sistema implementado estas funções estão separadas sendo o controle realizado pelo inversor de frequência instalado no gerador e a supervisão realizada pelo *software* desenvolvido.

grandezas relacionadas ao processo de geração. Em seguida serão descritos segundo Pavinatto (2005) os principais módulos existentes em um gerador eólico.

- Módulo controlador de velocidade – o controlador de velocidade realiza medições periódicas da velocidade do conjunto rotativo, e então envia um sinal que controla o valor da corrente retificada, aumentando ou diminuindo esta, resultando assim num controle de torque do gerador.
- Módulo de proteção – Monitora grandezas mecânicas e elétricas enviando um sinal de parada caso alguma variável ultrapasse um determinado valor pré-definido por certo período de tempo.
- Módulo do Link CC – Composto basicamente de um banco de baterias com tensões monitoradas, sendo estas que armazenam temporariamente a potência elétrica advinda do retificador.
- Módulo do inversor de frequência – Transforma a corrente contínua acumulada no módulo do Link CC para corrente alternada.

Ou seja,

Cada aerogerador, individualmente, possui um sistema de controle principal que monitora, otimiza e protege o aerogerador de operações indevidas. O sistema de controle monitora as principais grandezas mecânicas e elétricas da máquina. (PAVINATTO, 2005, p. 34).

Esse sistema de controle além de receber as variáveis advindas dos módulos acima descritos realiza a comunicação com um sistema de supervisão, o qual monitora e atua sobre as variáveis enviando ao controle um comando a ser executado caso estas ultrapassem limites pré-definidos, então o sistema o qual pode ser um microcontrolador, CLP ou outros tipos de controladores, atua em conjunto com os módulos efetuando o controle das variáveis em não conformidade.

## 2.2 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

“Sistemas supervisórios são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis de processo. Estas são atualizadas continuamente e podem ser guardadas em bancos de dados locais ou remotos para fins de registro histórico.” (MORAES; CASTRUCCI, 2007, p. 117).

Todo processo é composto de variáveis, e são estas que definem o bom funcionamento de um sistema. Para que se possa tomar medidas de controle é necessário saber continuamente sobre as variáveis para que seja possível atuar de forma mais eficiente sobre estas. Para exemplificar pode-se citar um gerador eólico, o qual possui variáveis que devem ser constantemente controladas, como a velocidade do vento, capacidade de geração ou a tensão da bateria.

O tipo de sistema supervisório mais comum é o sistema SCADA<sup>4</sup>, segundo Moraes e Castrucci (2007, p. 120) este sistema foi criado para controlar grandes quantidades de variáveis, sejam estas digitais ou analógicas.

Os sistemas SCADA iniciaram basicamente com a telemetria, a qual informava através de lâmpadas e indicadores, o estado corrente de um processo sem que houvesse qualquer interface. Atualmente os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para realizar a aquisição de dados dos processos, geralmente localizados geograficamente distantes, conforme Moreira Lopes (2009) a respectiva apresentação destes dados ao operador é feita de forma amigável por uma interface gráfica com recursos os quais ajudam a interpretação destes. Para Moraes e Castrucci (2007) esses sistemas visam à integridade física dos equipamentos e operadores, devido à identificação de falhas. Para que se possa classificar um sistema como SCADA, basta este conter uma IHM e um controlador.

---

<sup>4</sup> *Supervisory Control And Data Acquisition*

### 2.2.1 Modos de comunicação de um sistema SCADA

“A rede de comunicação é a plataforma por onde as informações fluem dos PLCs/RTUs para o sistema SCADA e, levando em consideração os requisitos do sistema e a distância a cobrir, pode ser implementada através de cabos Ethernet, fibras ópticas, linhas dial-up, linhas dedicadas, rádio modems, etc.” (SILVA; SALVADOR, 2005).

Existem dois modos de comunicação dos sistemas SCADA, conhecidas como comunicação por *polling* e por interrupção (*Report by Exception*). O modo *polling* designado também de *Master/Slave*, possui um controle centralizado das comunicações numa estação principal (*Master*), a qual efetua sequencialmente a leitura dos dados das estações remotas (*Slave*), sendo que estas só respondem a estação central após a recepção de um pedido. Um exemplo de comunicação por *polling* é o protocolo conhecido como *Modbus*, descrito na seção 2.2.2, o qual é utilizado atualmente em milhares de equipamentos devido ao baixo custo e a adaptação a diversos meios físicos.

Segundo Moraes e Castrucci (2007) este tipo de comunicação possui vantagens devido a ser um processo simples de aquisição de dados, no qual inexistem colisões no tráfego da rede, mas também possui desvantagens ocasionadas pela incapacidade por parte das estações remotas de comunicar situações que requeiram tratamento imediato por parte da estação central, além de que um aumento do número de estações remotas reflete em impactos negativos no tempo de espera.

No modo de comunicação por interrupção a estação remota monitora os seus valores de entrada e ao detectar alterações significativas ou valores que ultrapassem os limites definidos, inicia a comunicação com a estação central e a consequente transferência de dados. Dessa forma evita a transferência de informação desnecessária diminuindo o tráfego na rede e permite uma rápida detecção de informação urgente. Mas possui a desvantagem de que a estação central consegue detectar falhas na ligação apenas quando efetua *polling* no sistema.

Independentemente do tipo de comunicação escolhida, sendo por *polling* ou por interrupção, os diversos parâmetros associados a um processo devem fluir entre o equipamento e a estação de monitoramento de forma que



ambas as partes entendam as mensagens enviadas e recebidas. Para isso existe uma camada física que define as características da ligação, o meio de transmissão e o tipo de sinais que os equipamentos deverão respeitar para que se possa efetuar uma transferência de dados, além dos protocolos de comunicação, que nada mais são do que uma descrição do modo de como a informação deve ser transmitida entre dois equipamentos numa rede, independente do *hardware* utilizado.

### 2.2.2 Protocolo de comunicação *ModBus*

O protocolo *ModBus* nada mais é do que um sistema de comunicação em rede o qual tem o objetivo de comunicar um dispositivo de controle, como controladores lógicos programáveis, a computadores.

Este protocolo “é baseado em um modelo de comunicação mestre-escravo, onde um único dispositivo, o mestre, pode iniciar transações denominadas *queries*. Os demais dispositivos da rede (escravos) respondem, suprimindo os dados requisitados pelo mestre ou executando uma ação por ele comandada. Geralmente o mestre é um sistema supervisor e os escravos são controladores lógico programáveis. Os papéis de mestre e escravo são fixos, quando se utiliza comunicação serial, mas em outros tipos de rede, um dispositivo pode assumir ambos os papéis, embora não simultaneamente.” (INSTITUTO..., 2009, p. 2). Os meios físicos comumente utilizados são o RS-232 e RS-485.

Segundo Omega (2014) o padrão RS-232 pode ser definido como o meio de comunicação entre um equipamento transmissor de dados e um receptor, realizando a transmissão de dados um de cada vez, com tensões que podem variar de +5 a +15 VDC para representar o número binário “0”, e de -5 a -15 VDC para representar o número binário “1”.

De acordo com a Texas Instruments (2008) o padrão RS-485 define as características elétricas de transmissão de dados entre emissores e receptores. O sinal é transmitido por uma diferença de potencial entre os pares trançados do cabo variando entre -7 e +12 VDC. E este padrão pode conter até 32 equipamentos conectados no mesmo barramento.

### 2.2.3 Planejamento de um sistema supervisorio

Conforme Moraes e Castrucci (2007) são recomendadas etapas essenciais para o desenvolvimento de um sistema supervisorio, dentre elas estão:

- Entendimento do processo
- Variáveis do processo
- Planejamento da base de dados
- Planejamento de alarmes
- Planejamento da hierarquia de navegação entre telas
- Desenho de telas

O entendimento do processo é etapa essencial, onde se faz necessário reunir inúmeras informações de como o processo se dará, para isso conversar com operadores e especialistas ajuda a entender as necessidades, requisitos mínimos. Depois de formar uma ideia sólida sobre o processo, separar este em partes e criar um diagrama de blocos de modo a entender todas as interações entre as partes e obter uma ideia do volume de informações trocadas entre elas.

Após o entendimento do processo, deve ser feito um levantamento de todas as variáveis deste, as quais são de suma importância na etapa de registro histórico, devido a estas definirem possíveis intervenções no processo e condições de alarme. E para obtenção de uma transferência de dados mais eficiente e segura entre estação remota e central, um processo de identificação conhecido como “*tag*” é aplicado.

Os sistemas SCADA identificam os *tags*, que são todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação, podendo executar funções computacionais (operações matemáticas, lógicas, com vetores ou *strings*, etc.) ou representar pontos de entrada/saída de dados do processo que está sendo controlado. Neste caso, correspondem às variáveis do processo real (ex: temperatura, nível, vazão etc.), se comportando como a ligação entre o controlador e o sistema. É com base nos valores das *tags* que os dados coletados são apresentados ao usuário. (SILVA; SALVADOR, 2005).

Em seguida deve ser feito o planejamento da base de dados, parte essencial de um sistema supervisório, tendo em vista que o histórico de informações do processo será armazenado neste, e esta deve ser feita pensando em apresentar apenas os dados essenciais do processo de maneira que o supervisório se torne conciso, porque um grande tráfego de informações pode prejudicar o desempenho total do sistema. “A preparação da base de dados deve levar em conta que não importa quão rápido o seu sistema seja, uma base de dados otimizada representa maior eficiência de troca de dados, permitindo tempos de atualização menores e menor chance de problemas futuros.” (MORAES; CASTRUCCI, 2007, p. 141).

O planejamento dos alarmes cabe ao sistema como parte imprescindível devido a fazer parte da manutenção do sistema de uma forma geral. Nesta etapa serão verificados os fatores de risco do processo, onde as variáveis de importância mais significativa serão acompanhadas continuamente. É necessário verificar quais condições irão disparar os alarmes e como estes irão indicar ao operador a informação desejada, bem como como será feito o reconhecimento deste.

Como um sistema SCADA tem uma característica muito visual, deve existir um planejamento da hierarquia de navegação entre telas, a qual deve fornecer progressivamente detalhes das plantas e seus constituintes à medida que se navega através do aplicativo. Ao adotar uma boa estratégia de organização e navegação o sistema se torna claro e consistente com a realidade, guiando o serviço dos usuários.

Ao planejar a navegação nas telas é necessário idealizar o desenho destas de acordo com os níveis de acesso. Para Moraes e Castrucci (2007) existem os seguintes grupos típicos de telas:

- Telas de visão geral – dão uma visão geral do processo, onde são apresentados os dados mais significantes a operação e objetos que representam o processo.
- Telas de grupo – São telas representativas de cada processo ou unidade, apresenta objetos e dados de uma determinada área de modo a relacionar funções, os objetos devem ter características dinâmicas, as quais representam valores quantitativos dos parâmetros supervisionados.

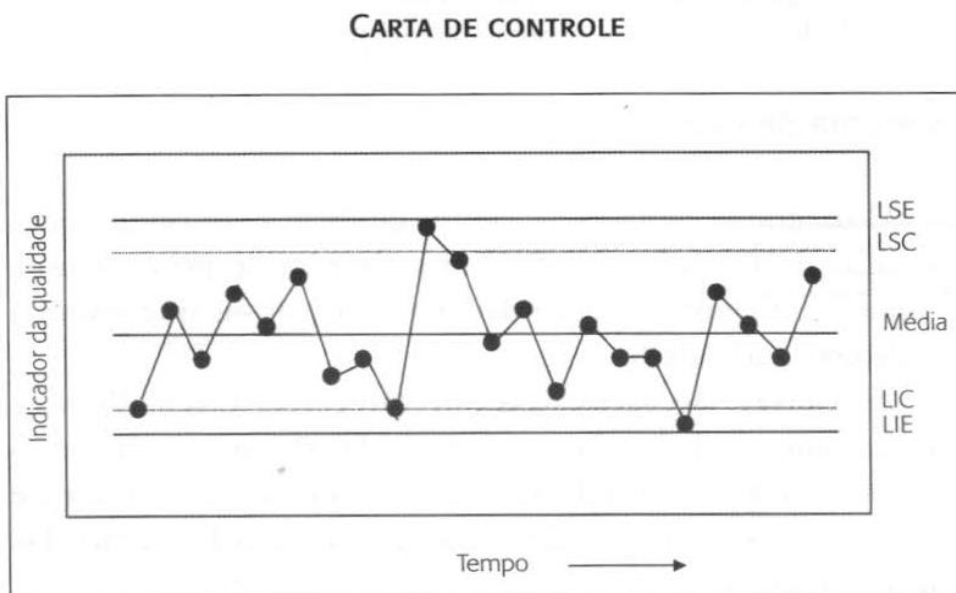
- Telas de detalhe – São telas que atendem a pontos e equipamentos controlados individualmente, são compostas também quando possível por características dinâmicas, que representam o estado do equipamento. Essas telas devem possibilitar alterar os parâmetros do equipamento.
- Telas de malhas – São telas que apresentam estados das malhas de controle, apresentam as variáveis controladas, os set-points, limites e condição dos alarmes, também demonstrados em formas de gráfico.
- Telas de tendências – Apresentam as variáveis de forma gráfica, e calculam as tendências no tempo destas variáveis, e mostram graficamente esta tendência.
- Telas de manutenção – São telas tipo relatório, compostas por informações de problemas, alarmes, defeitos e dados de manutenção de diversas áreas.

## 2.3 ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados tem por objetivo a manutenção e melhoria de processos. Então para que possamos ter um maior controle sobre o rendimento do gerador eólico, usaremos duas ferramentas de qualidade que poderão nos dar indicativos sobre os desvios deste sistema, sendo estas a carta de controle e o gráfico de Pareto.

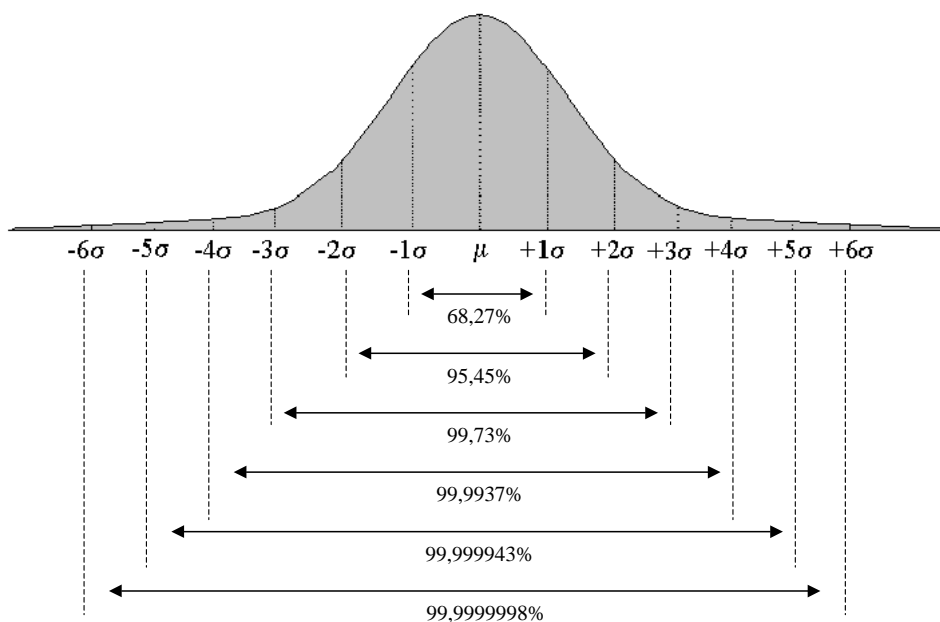
### 2.3.1 Carta de controle

A ferramenta a ser utilizada para analisar determinadas variáveis do processo de geração eólica como energia acumulada, tensão da bateria e outras, conhecida como carta de controle, “é um tipo específico de gráfico de controle que serve para acompanhar a variabilidade de um processo, identificando suas causas comuns (intrínsecas ao processo) e especiais (aleatórias).” (ISNARD et al., 2010, p. 105). A Figura 4 apresenta um exemplo de carta de controle e suas características.



**Figura 4 - Carta de controle**  
Fonte: ISNARD (2010)

De acordo com Samohyl (2006) o gráfico consiste na plotagem de três linhas e os pontos representam as médias das amostras de medições periódicas. Estas linhas representam dois limites de controle, um superior (LSC) e outro inferior (LIC), e sendo a linha central a média aritmética (MA) das amostras. Na maioria dos casos as linhas de controle se localizam a três desvios padrões do alvo do processo, sendo este número arbitrário e dependente do nível de confiança que o processo requer. Este nível depende da variabilidade do processo, e como cada variável do gerador eólico passível de análise está diretamente relacionada a outras, o nível de confiança a ser escolhido deve abranger uma grande faixa de valores devido a grande variabilidade. Na Figura 5 são mostrados os níveis de confiança em porcentagem para cada desvio padrão.



**Figura 5 - Gráfico da relação estatística entre porcentagem e número de desvios padrão**  
Fonte: Samohyl (2006)

Usar determinado desvio padrão como nível de confiança do processo significa que “n”% das amostras vão estar compreendidas dentro das faixas delimitadas, como relaciona a Figura 5.

Para realizar o cálculo dos limites de controle primeiramente é necessário calcular o erro padrão, segundo Samohyl (2006) este é obtido a partir da divisão do desvio padrão da população pela raiz quadrada do tamanho da amostra, também denominado erro padrão, como demonstra a fórmula da Figura 6.

$$EP = x. \sigma / \sqrt{n}$$

**Figura 6 - Fórmula do cálculo do erro padrão**  
Fonte: autoria própria

Em seguida são feitos os cálculos dos limites de controle superior (LSC) e inferior (LIC). Estes são feitos como demonstram a fórmula abaixo, onde MA é o valor da média aritmética das amostras e EP o erro padrão como representado na Figura 7.

$$LSC = MA + EP$$

$$LIC = MA - EP$$

**Figura 7 - Cálculo dos limites superior e inferior**  
Fonte: Autoria própria

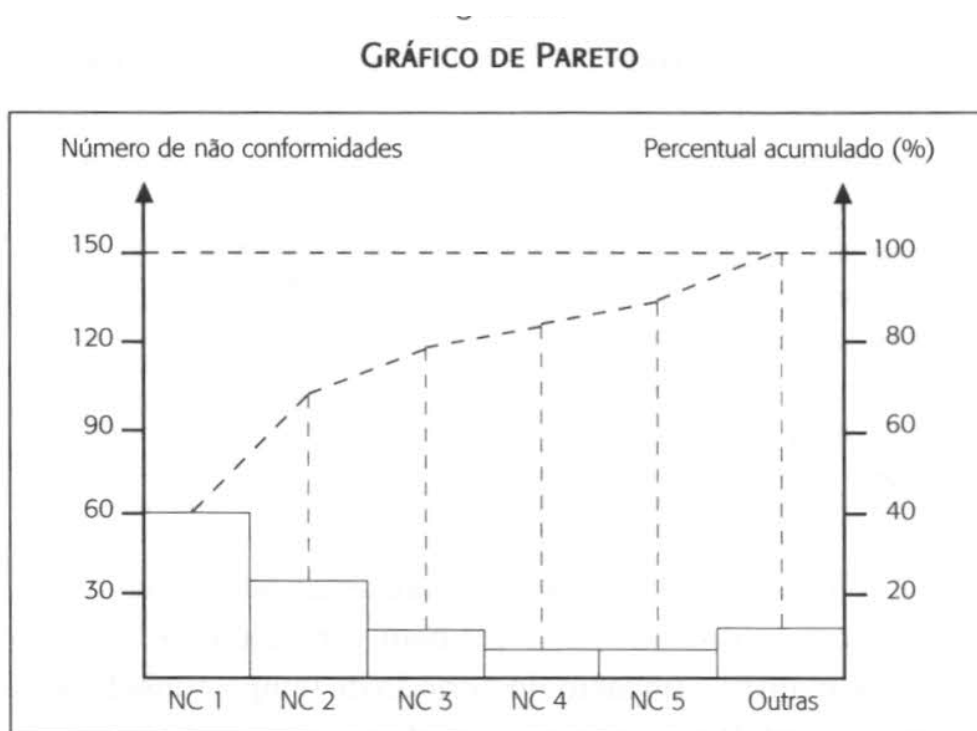
Obtendo estes três valores fundamentais além do valor de todas as amostras, o gráfico pode ser devidamente plotado e partir disto analisado.

### 2.3.2 Gráfico de Pareto

Os geradores eólicos, em geral, ao realizar a comunicação com algum tipo de sistema SCADA além de transmitir as amostras das grandezas também enviam a ocorrência de falhas existentes no sistema, estas na camada de supervisão podem ser representadas por sinais luminosos, sonoros, ou algum

outro tipo de indicação ao operador do sistema. Havendo um registro das falhas ocorridas em determinado período é possível analisar o comportamento deste sistema para que se possa atuar sobre os erros do equipamento. Para uma análise de vários tipos de ocorrências uma ferramenta da qualidade pode ser aplicada, conforme exemplo na Figura 8, esta conhecida como gráfico de Pareto,

É uma representação gráfica utilizada para evidenciar os fatores que contribuem para ressaltar a importância relativa entre vários problemas ou de determinadas situações. Baseia-se no princípio de Pareto, onde 20% dos fatores respondem por 80% dos resultados. (VALLE et al., 2007, p. 154).



**Figura 8 - Gráfico de Pareto**  
**Fonte: ISNARD (2010)**

Para montar o gráfico de Pareto, devem ser colhidas as amostras, as quais normalmente são falhas de um processo, e somadas para resultar em um número total de não conformidades do processo. Este valor é colocado em uma legenda vertical na linha localizada à esquerda. Em seguida são separados cada tipo de não conformidade e colocadas em ordem de maior



valor da esquerda para direita em barras em cima de uma linha horizontal. Ao lado direito do gráfico a linha vertical é dividida em valores de zero a cem, os quais representam a porcentagem total de não conformidades. E a última etapa é tracejar uma linha sobre as barras até o valor da porcentagem a qual está representada no valor total de não conformidades do processo. Todas estas etapas são demonstradas na Figura 8.

Ou seja, o gráfico de Pareto tem como objetivo demonstrar graficamente as principais causas ou ocorrências de determinado problema.

### **3 PROJETO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO**

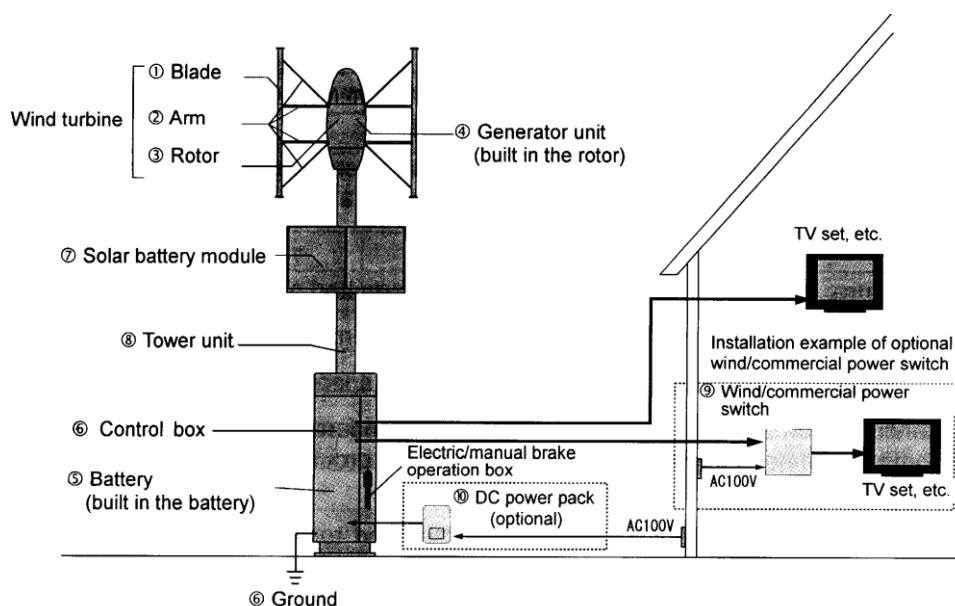
Durante a fase de projeto foram executadas as etapas descritas por Moraes e Castrucci (2007) para o planejamento de um sistema supervisório. Estas etapas contêm uma subdivisão da estrutura do sistema de supervisão, propondo o projeto em diferentes etapas:

- Entendimento do processo;
- Variáveis do processo;
- Planejamento da base de dados;
- Planejamento de alarmes;
- Planejamento da hierarquia de navegação entre telas;
- Desenho de telas.

#### **3.1 ENTENDIMENTO DO PROCESSO**

O gerador estudado no projeto é um produto desenvolvido para geração de pequeno porte em áreas urbanas.

O sistema gerador possui uma torre com a turbina que desenvolve giro no eixo horizontal. A turbina possui lâminas (pás) sustentadas mecanicamente por braços. Estas lâminas direcionam a energia do vento de forma que a turbina gire e ocorra a geração de energia elétrica no rotor da unidade de geração, como representado na Figura 9.



**Figura 9 - Esquema de gerador de pequeno porte com lâminas verticais**  
**Fonte: Sinfonia Technology (2009)**

Este modelo de geração utiliza lâminas verticais para aproveitar a força dos ventos em conjunto com células de captação solar montadas em uma torre. Na base da torre existe o controle do sistema, um banco de baterias e o sistema de freio elétrico e manual.

A energia gerada é armazenada em baterias e transformada por um inversor para a utilização.

### 3.2 VARIÁVEIS DO PROCESSO

As variáveis monitoradas para um controle eficiente deste tipo de processo de geração eólica são:

- Energia gerada acumulada;
- Potência instantânea;
- Velocidade de rotação da turbina;
- Tensão do banco de baterias;
- Corrente CC fornecida ao inversor;
- Corrente gerada pelo sistema eólico;
- Corrente gerada pelo sistema solar;
- Velocidade do vento;

### 3.3 PLANEJAMENTO DA BASE DE DADOS

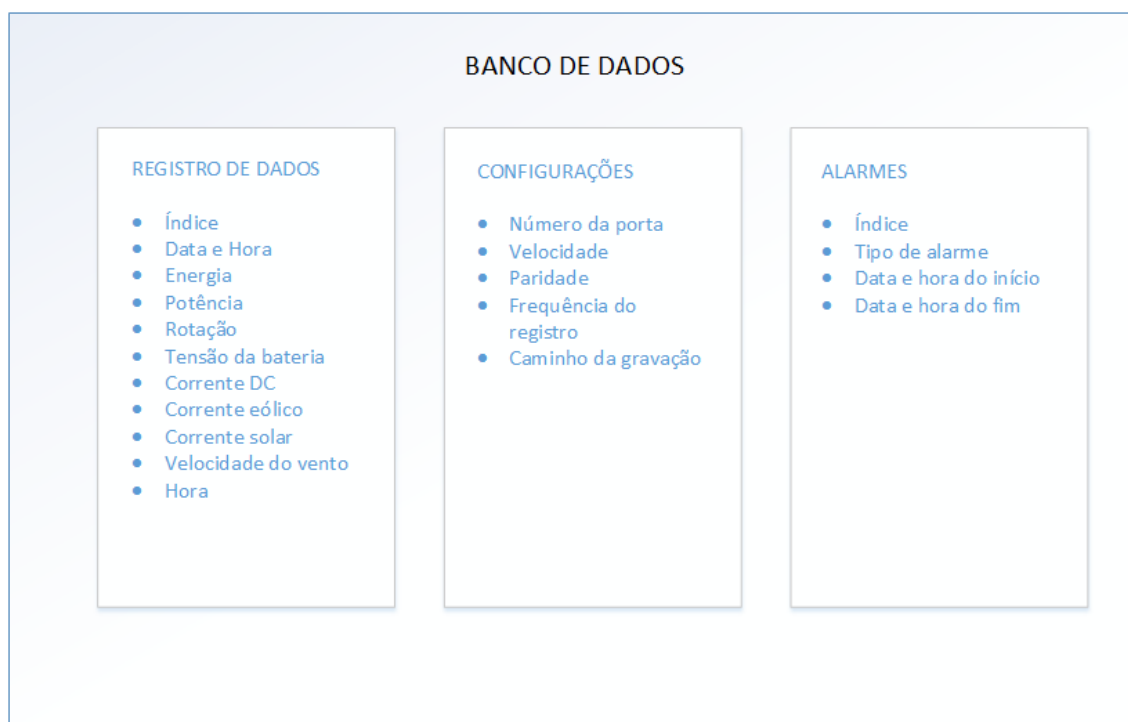
A base de dados foi planejada para ser otimizada, com o mínimo de informação adicional aos valores das variáveis de processo, visando reduzir a quantidade de *bytes* necessários a cada registro pois o sistema precisa ser capaz de registrar os dados referentes a quatro anos de geração considerando de 6 a 60 registros por minuto.

Os registros das grandezas monitoradas são armazenados em uma tabela dedicada do banco de dados e cada registro recebe uma informação adicional com a data e a hora do evento. Nesta tabela a hora é duplicada em outra coluna para atender as necessidades de filtrar os dados.

Além do registro das variáveis de processo, há espaço reservado para o registro de alarmes e para gravar informações das configurações do sistema.

O registro dos alarmes é realizado com a adição da data e hora de início e data e hora do fim do alarme. Já as configurações armazenadas tem informações da comunicação e da configuração dos registros.

A estrutura do banco de dados está representada na Figura 10.



**Figura 10 - Estrutura do banco de dados**  
Fonte: Autoria própria

### 3.4 PLANEJAMENTO DE ALARMES

Os alarmes do sistema têm como objetivo auxiliar a detecção de problemas e manter o sistema em funcionamento de forma adequada.

Os sistemas geradores possuem alarmes relativos aos componentes como a turbina, baterias e freio. Os alarmes considerados no processo do modelo de gerador estudado são:

- Carga da bateria completa: este alarme acontece quando a tensão da bateria excede o valor limiar de segurança;
- Rotação da turbina acima do limite adequado: este alarme acontece quando a rotação da turbina excede o valor limiar de segurança;
- Bateria com nível muito baixo: este alarme acontece quando a tensão da bateria está muito abaixo do valor limiar de proteção;
- Sobrecarga: este alarme acontece quando a corrente da carga do inversor está acima do limiar de segurança;
- Erro de funcionamento do inversor: este alarme acontece quando há um erro de funcionamento do inversor;
- Sobreaquecimento do controlador: este alarme acontece quando a unidade de carga está com a temperatura acima do limiar de segurança;
- Erro do controlador: este alarme acontece quando há um erro de funcionamento na placa do controlador;
- Rompimento do cabo do sensor de rotação: este alarme acontece quando é rompido o cabo do sensor de rotação;
- Desligamento por ventos excessivamente fortes: este alarme ocorre quando a velocidade da turbina é alta a ponto do freio elétrico não desacelerar o sistema;
- Erro do freio elétrico: este alarme ocorre quando há erro de funcionamento do freio elétrico;
- Tensão da bateria anormal.

No projeto foi previsto uma tela para acompanhar alarmes ativos e o histórico recente. A descrição dos alarmes está de acordo com o manual do gerador.

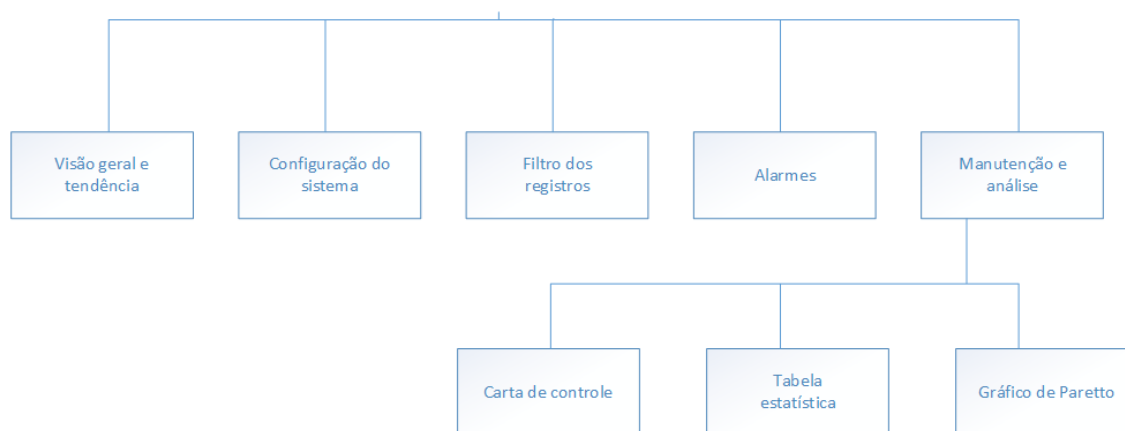
### 3.5 PLANEJAMENTO DA HIERARQUIA DE NAVEGAÇÃO

O planejamento das telas foi essencial para facilitar a visualização das informações de forma intuitiva e gradual, segundo Moraes e Castrucci (2007).

No projeto foram previstas as telas:

- Visão geral e tendência<sup>5</sup> – com o valor instantâneo das variáveis de processo e gráfico de tendência das variáveis mais relevantes;
- Configuração do sistema – seleção da configuração da comunicação e intervalo entre registros;
- Alarmes – tela para indicador de alarmes ativos e histórico.
- Filtro dos registros – tela específica para consulta dos registros que são utilizados pelas ferramentas de análise.
- Manutenção e análise – subdividida em carta de controle, tabela estatística e gráfico de Pareto<sup>6</sup>.

A organização das telas e as possibilidades de navegação estão representadas na Figura 11.



**Figura 11 - Organograma das telas de navegação**  
Fonte: Autoria própria

<sup>5</sup> Como o sistema possui poucas variáveis, foi possível conciliar a tela de visão geral e tendência sem poluir o visual e agrupando mais informações.

<sup>6</sup> Agrupa as telas que mostram dados relevantes para a manutenção do sistema.

### 3.6 ANÁLISE DOS DADOS

As ferramentas de análise estão divididas em produção e manutenção.

Para realizar a análise dos dados referentes a produção de energia foi desenvolvida uma ferramenta de geração de gráfico de carta de controle. Esta ferramenta permite a geração de gráfico baseado na estatística dos dados pesquisados na tela de filtro de registros.

Os dados são organizados em amostras de doze elementos cada. São calculadas as médias amostrais e o erro padrão para o cálculo dos limites de controle.

Para montar o gráfico de controle da potência, calcula-se:

1. Média amostral:  $\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n}$
2. Média das amostras:  $\bar{\bar{P}} = \frac{\bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \dots + \bar{P}_n}{n}$
3. Erro padrão:  $EP = \frac{x \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$
4. Limite superior da carta:  $LSC = \bar{\bar{P}} + \left( \frac{x \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \right)$
5. Limite inferior da carta:  $LIC = \bar{\bar{P}} - \left( \frac{x \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \right)$

Para a manutenção do sistema de forma geral foi criada uma ferramenta de geração de gráfico de Pareto para avaliar o impacto das diferentes falhas no funcionamento do sistema.

Para a formação do gráfico de Pareto, são sobrepostos dois gráficos:

- O primeiro é um gráfico de barras onde cada barra é a porcentagem de uma falha em relação ao total de falhas;
- O segundo é uma linha onde os pontos são formados pela somatória das porcentagens das falhas.

## 4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

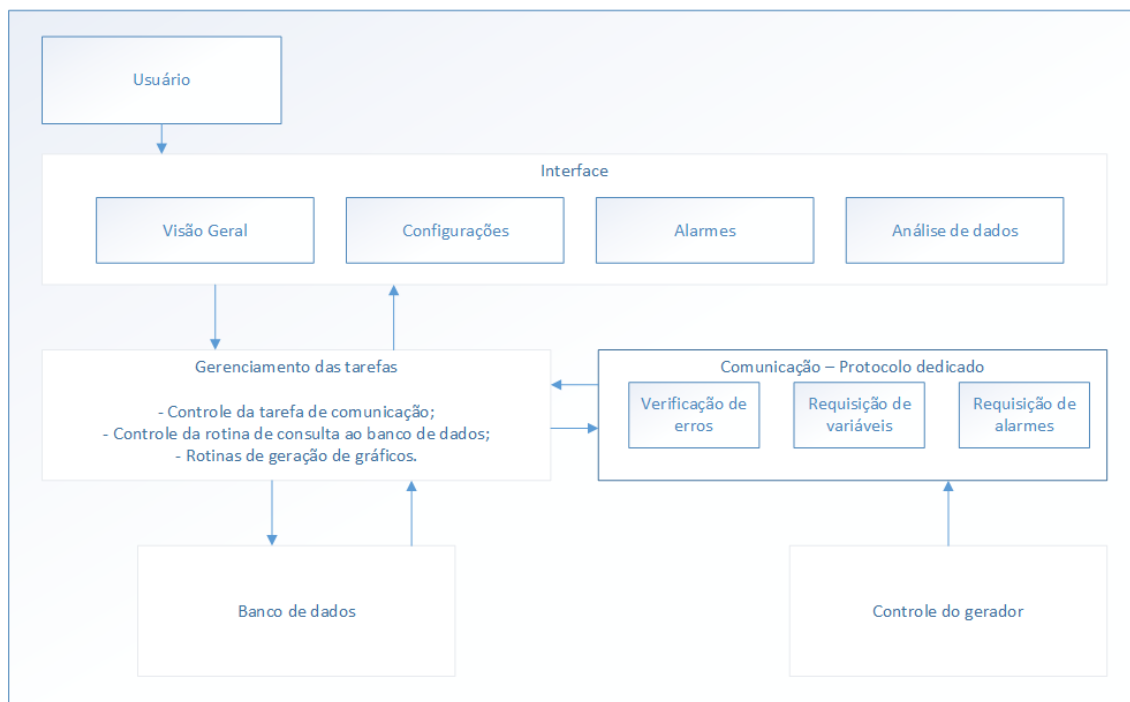
O sistema supervisor desenvolvido foi criado para atender especificamente as necessidades da empresa Elco Engenharia de Montagens, localizada no bairro Parolin, na cidade de Curitiba.

A empresa adquiriu um sistema gerador de pequeno porte de fabricado pela empresa japonesa *Sinfonia Technology*. Esse gerador foi adquirido para o estudo e desenvolvimento de um produto com tecnologia nacional.

Para desenvolver o produto, a empresa Elco necessita avaliar o desempenho do sistema nas diferentes condições climáticas. O sistema de geração possui sensores que avaliam instantaneamente as grandezas relevantes ao processo e enviam seus sinais ao inversor. O inversor se comunica com um software e os dados são armazenados em arquivos de planilha em formato .CSV. O armazenamento de dados realizado pelo sistema *Sinfonia* não atende as necessidades de avaliar grandes quantidades de dados ou pesquisar dados de diferentes datas.

### 4.1 ETAPAS DA IMPLEMENTAÇÃO

O *software* desenvolvido tem como objetivo monitorar os valores das grandezas envolvidas em um sistema de geração de energia eólica, armazenar os dados coletados em um banco de dados estruturado, disponibilizar ferramenta de busca e filtro dos dados armazenados e gerar relatórios com ferramentas de análise que permitam aos usuários avaliar os resultados da geração de energia e os problemas recorrentes do processo. A Figura 12 representa o diagrama de blocos e fluxo de informações do sistema implementado.



**Figura 12 - Diagrama de blocos do sistema supervisório**  
**Fonte: Autoria própria**

Os blocos do sistema representam a organização do projeto do *software*.

Durante a implementação foram realizadas reuniões para entender as necessidades do usuário final e requisitadas as documentações dos equipamentos instalados que necessitam se comunicar com o supervisório.

Ao entender o funcionamento do gerador utilizado, primeiramente foi decidida a plataforma de desenvolvimento e em seguida foi realizada uma proposta de implementação e uma lista de etapas de desenvolvimento. A lista de atividades foi criada para representar cronologicamente as etapas de desenvolvimento:

- Estudo da documentação do gerador instalado;
- Implementação das funcionalidades do *software* original do gerador;
- *Debug* da versão inicial, correções e melhorias (gráficos autoconfigurados para tendência das grandezas);
- Criação de banco de dados em plataforma SQL;
- Implementação de rotina de inserção das informações no banco de dados criado;



- Implementação de software auxiliar para realocar os registros anteriores das planilhas existentes no banco de dados;
- Criação de rotina de formatação dos registros existentes;
- Desativação das rotinas de criação de arquivos CSV;
- Criação de interface de consulta ao banco de dados;
- Criação de sinalização de alarmes e erros do sistema;
- Criação de interface de geração de gráficos de análise.

## 4.2 ESTUDO DA DOCUMENTAÇÃO DO PROJETO

Inicialmente realizou-se um estudo do funcionamento geral do gerador eólico e realizar o levantamento das especificações da capacidade de geração, limites de velocidade e outras grandezas como tensão e corrente. Estes dados são importantes para entender o funcionamento básico do sistema e documentar as possibilidades de implementação.

Segundo Sinfonia Technology Co, Ltda (2009), o gerador utilizado possui as características:

- Velocidade do vento – *range* produtivo: 2m/s a 14m/s;
- Sistema de geração trifásico de imã permanente, sem escovas;
- Capacidade de geração: 1070W;
- Potência instantânea máxima gerada: 1320W;
- Tensão nominal das baterias: 48VDC;
- Tensão de saída gerada: 100VAC;
- Frequência da tensão de saída: 50/60Hz (selecionável).

Num segundo momento, foi estudada a especificação do protocolo de comunicação utilizado pelo controlador do inversor para informar e armazenar os dados de geração. O fabricante disponibilizou as informações necessárias, quando solicitado, em arquivo .PDF para realizar o desenvolvimento da aplicação.

O gerador utiliza a comunicação via RS-232 como meio físico com um protocolo proprietário em modo mestre/escravo onde há uma lista de comandos que um dispositivo pode solicitar as informações ao controlador<sup>7</sup>.

O modo de comunicação do sistema segue o padrão denominado *polling* e suas características permitiram que o *software* desenvolvido tivesse o controle dos momentos onde é solicitada a comunicação. No caso do sistema de geração de pequeno porte, a quantidade de *Tags* e a criticidade dos eventos faz com que o sistema seja robusto e atenda às necessidades de taxa de atualização dos valores das grandezas.

Sendo o protocolo proprietário, para implementar corretamente o código, foram armazenadas amostras do código recebido na porta serial do computador e realizados testes de conversão para confirmar a tabela de respostas padrões aos comandos. Ao padronizar a tradução de todas as mensagens recebidas do controlador, foi possível esboçar uma interface provisória para a primeira implementação.

#### 4.3 ETAPAS DA COMUNICAÇÃO

Após a realização dos testes, foram definidas as etapas da comunicação, ou seja, a ordem de troca de mensagens, formas de verificação e confirmação de dados e diagnóstico.

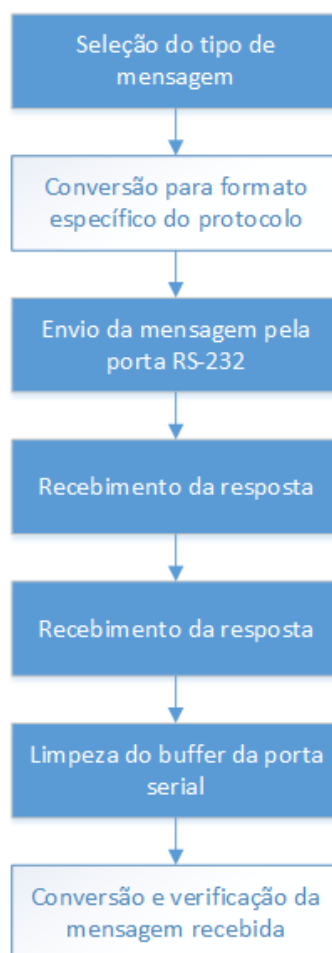
A ordem de mensagens segue um esquema de comunicação onde:

- Primeiramente é enviada uma verificação de erros de comunicação;
- Mensagens solicitando os valores das grandezas específicas;
- Verificação de falhas de processo ou alarmes.

Foi definido que desta forma é garantido que a comunicação dos dados de processo iniciem efetivamente após verificação do estado do sistema e após as atualizações de valores são atualizados os anunciadores de alarmes. A Figura 13 representa detalhadamente a execução da rotina de comunicação.

---

<sup>7</sup> O foco do projeto é a estrutura e funcionalidades de armazenamento e análise, portanto, o fato de possuir protocolo exclusivo não interfere no desenvolvimento do sistema.



**Figura 13 - Etapas da rotina de comunicação**  
**Fonte: Autoria própria**

Os dois blocos destacados representam as etapas dedicadas ao protocolo de comunicação do equipamento.

#### 4.4 IMPLEMENTAÇÃO DAS FUNÇÕES BÁSICAS

Utilizou-se o *software* original do fabricante do sistema de geração como modelo para tela principal, para distribuir as informações de forma que o usuário final pudesse ter familiaridade. Definida a interface básica, foram criadas as rotinas das tarefas.

Ao abrir a janela principal do *software*, o usuário primeiramente necessita configurar a interface de comunicação com o sistema de geração. Para isso, deve acessar a aba de configurações do sistema e configurar a porta serial. Com a porta de comunicação configurada, o sistema solicita as informações de

geração e alarmes sequencialmente, e à medida que recebe as respostas atualiza os *displays* na tela principal.

Paralelamente é realizado o registro dos dados a cada fim de ciclo.

O ciclo de registro é configurável, com as opções de escolha do tempo entre os registros e a pasta onde o arquivo é gravado. Os registros são armazenados em formato CSV.

Os alarmes são exceções, que a cada segundo são atualizados os registros de alarmes ativos e atualizada a tabela de histórico.

#### 4.5 *DEBUG* E MELHORIAS

Após a implementação, foram feitas correções na rotina de comunicação para garantir a confiabilidade dos dados recebidos.

Além das melhorias na rotina de aquisição dos dados, o *software* utiliza o BCC para garantir a confiabilidade das mensagens recebidas na porta de comunicação. Este esquema de verificação utiliza uma fórmula matemática padronizada no protocolo do equipamento que deve ser conferida após o envio de alguma mensagem de comunicação.

Foi definido o tempo máximo do ciclo de comunicação em 1 segundo e uma rotina de limpeza do *buffer* da porta serial.

Além das correções foi implementado um registro gráfico dos últimos 100 pontos de grandezas selecionadas para avaliar tendências de funcionamento do gerador.

#### 4.6 ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Durante a fase inicial do projeto, foi discutida a necessidade de implantação de um banco de dados para substituir a gravação dos arquivos .CSV. Entre os principais motivos estão a concentração dos dados em uma única estrutura (ao contrário dos inúmeros arquivos .CSV) e o aumento da confiabilidade e possibilidades de consulta e backups, visto que o total de

dados armazenados não permitiria a concentração dos dados em um arquivo único em formato .CSV.

O banco de dados foi planejado para atender as necessidades, com poucas tabelas relacionais. Para o uso projetado do *software*, foi considerada desnecessária a restrição de acesso as funcionalidades do sistema de supervisão.

A estrutura é dividida em configurações do sistema, registros de dados do gerador e registros de alarmes. O banco de dados foi organizado para que os dados necessários no carregamento do *software* e os registros sejam armazenados num só documento.

A cada ciclo de comunicação é executada uma *query* para armazenamento dos dados lidos, conforme exemplo na Figura 14. Uma tarefa a parte permite a execução de consultas para pesquisa dos dados armazenados com algumas opções de filtros.

```

INSERT INTO [ELCO].[dbo].[Registros_Dados_v2]
    ([DATA_HORA]
    , [ENERGIA_F]
    , [POTENCIA_F]
    , [RPM_F]
    , [TENSAO_DA_BATERIA_F]
    , [CORRENTE_DC_INVERSOR_F]
    , [CORRENTE_EOLICO_F]
    , [CORRENTE_SOLAR_F]
    , HORA
    )
VALUES
('09/02/2014 15:14:04',0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0
,'15:14:04')|

```

**Figura 14 - Exemplo de *query* executada a cada ciclo do sistema de supervisão**  
**Fonte: Autoria própria**

Os filtros foram desenvolvidos para atender as necessidades de pesquisa da aplicação específica. Estes funcionam de forma que é possível delimitar os dados pesquisados com limites mínimo e máximo.

Após os testes no ambiente de desenvolvimento foi necessário criar a rotina do software para a execução das consultas e um software dedicado a

selecionar os dados de todos os arquivos .CSV e salvar no banco de dados, como descrito no tópico seguinte.

#### 4.7 ROTINA DE ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Foi desenvolvida uma tarefa paralela no sistema supervisorio para gravar os dados no banco, registrando uma cópia do conteúdo dos arquivos .CSV. Esta rotina permitiu avaliar a robustez do banco sem comprometer o armazenamento dos dados. No banco de dados foi criada uma especificação de unicidade da data e hora do registro, de forma que ao executar o armazenamento dos dados gravados em arquivos .CSV os dados duplicados fossem ignorados.

#### 4.8 PROBLEMAS DURANTE A IMPLEMENTAÇÃO

Durante o desenvolvimento, foram detectados problemas nas consultas filtradas. O problema consistiu em erro de conversão automática dos dados numéricos armazenados como *strings*. Segundo Microsoft suporte (2014) à ferramenta de desenvolvimento de banco de dados continha informações que há limitações de memória para conversões automáticas.

Com esta limitação, somente seria possível obter como resultado das pesquisas 65000 linhas, e o sistema poderia ficar comprometido para a utilização proposta.

A solução encontrada foi a criação de colunas duplicadas no banco de dados com a formatação do tipo numérico. Para a duplicação dos dados foi criada uma rotina para copiar cada linha das colunas e salvar em formato numérico.

#### 4.9 TESTES DO BANCO DE DADOS

Durante a etapa final de desenvolvimento do banco de dados, foram testados os filtros simples do sistema supervisorio e desativadas as rotinas de criação de arquivos .CSV. Em seguida, foi criada a rotina de filtro e organização dos dados para análises do funcionamento do gerador.

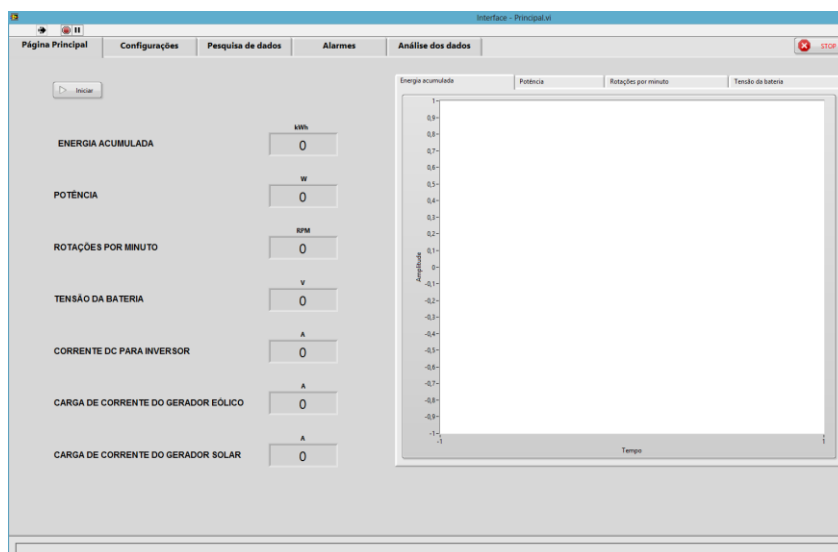
Para validação dos filtros foi considerado o intervalo de tempo de um mês, para que durante este período o *software* pudesse ser testado de acordo com as necessidades.

Enquanto os testes foram realizados, foi desenvolvida uma ferramenta de consulta e agrupamento dos dados para as análises através das ferramentas de qualidade.

#### 4.10 TELAS DE NAVEGAÇÃO

Baseado no projeto do sistema descrito no capítulo 3, as telas foram criadas para navegação amigável do usuário, apresentando os dados de forma clara e organizada.

A tela principal, representada na Figura 15, mostra uma visão geral do sistema com dados instantâneos das variáveis do processo e um gráfico de tendência das grandezas mais relevantes.



**Figura 15 - Tela de visão geral e tendências**  
**Fonte: Autoria própria**

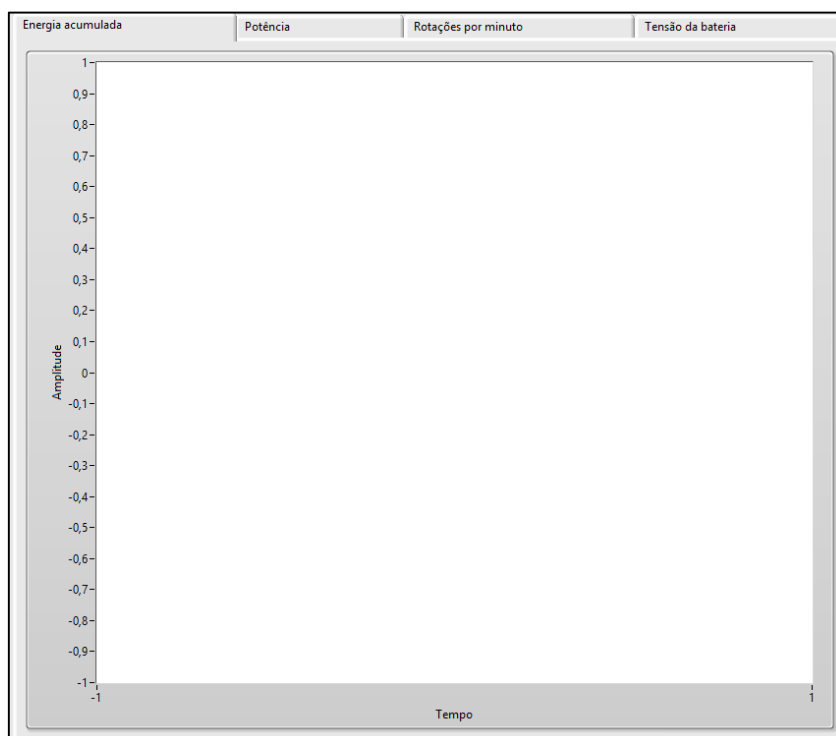
É possível verificar a presença de um botão para iniciar ou parar a operação de registros à esquerda, um botão para desativar o programa no alto à direita, uma lista com as variáveis de processo e os gráficos de tendência.

As grandezas da lista são identificadas à direita e com a sua respectiva unidade acima. Estas grandezas são apresentadas ao usuário com um dígito de precisão, conforme representado na Figura 16.



**Figura 16 - Apresentação de grandezas na tela principal**  
Fonte: Autoria própria

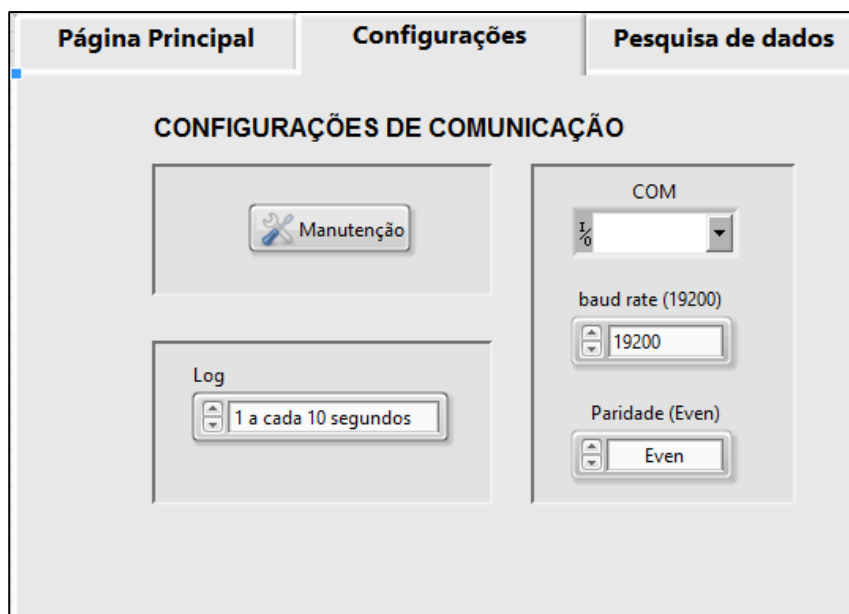
A Figura 17 mostra os gráficos de tendência, que são atualizados a cada segundo e possuem ajuste automático de escala para que a visualização seja mais adequada.



**Figura 17 - Gráfico de tendência de energia**  
Fonte: Autoria própria



A Figura 18, segunda tela na hierarquia da navegação, é onde são realizadas as configurações de comunicação e intervalo de gravação de registros.

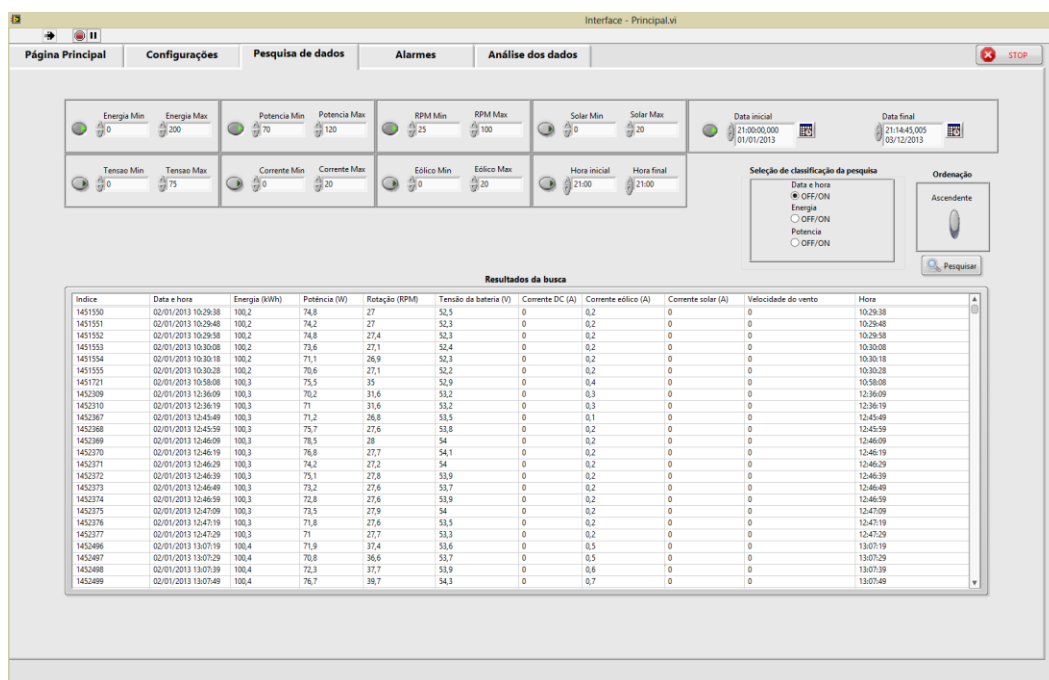


The screenshot displays a web interface with three tabs: 'Página Principal', 'Configurações', and 'Pesquisa de dados'. The 'Configurações' tab is active, showing the 'CONFIGURAÇÕES DE COMUNICAÇÃO' section. This section includes a 'Manutenção' button with a wrench icon, a 'Log' section with a dropdown menu set to '1 a cada 10 segundos', and a 'COM' section with a dropdown menu for the serial port (showing '1'), a 'baud rate (19200)' section with a dropdown menu set to '19200', and a 'Paridade (Even)' section with a dropdown menu set to 'Even'.

**Figura 18 - Tela de configurações do sistema**  
Fonte: Autoria própria

Nesta tela há um botão para realizar a atualização das configurações com os valores dos controles. Entre os controles, o número da porta serial, velocidade de comunicação, paridade dos dados e o intervalo de gravação dos registros.

A Figura 19, terceira tela da hierarquia, filtra os registros do banco de dados conforme a necessidade e permite selecionar os dados que serão utilizados pela ferramenta de análise.



**Figura 19 - Tela de filtro de registros**

Fonte: Autoria própria

Esta tela é organizada em filtros, classificação dos resultados, ordem de classificação, um botão para executar a pesquisa e a tabela dos resultados.

Os filtros permitem a seleção de uma faixa de valores para cada grandeza do sistema e também um filtro por data e hora do registro.

Cada filtro possui um botão com LED de indicação de estado para ativar ou desativar individualmente. A tela também possui uma caixa de opções de classificação (por data e hora, valor da energia e potência instantânea) e a ordem de classificação ascendente e descendente, como representado na Figura 20.

**Figura 20 - Detalhe da tela de filtro de registros**  
**Fonte: Autoria própria**

O sistema possui uma tela específica para sinalização de alarmes, representada na Figura 21, que possui uma tabela com o histórico recente de falhas.

Índice	Alarme	Data inicial	Data final
63	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:12:46	29/01/2014 18:12:47
62	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:12:44	29/01/2014 18:12:45
61	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:12:42	29/01/2014 18:12:43
60	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:12:40	29/01/2014 18:12:41
59	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:12:38	29/01/2014 18:12:39
58	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:12:06	29/01/2014 18:12:37
57	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:12:04	29/01/2014 18:12:05
56	Tensão da bateria anormal	29/01/2014 18:09:54	29/01/2014 18:09:55
55	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:07:08	27/01/2014 23:07:09
54	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:07:06	27/01/2014 23:07:07
53	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:07:04	27/01/2014 23:07:05
52	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:07:02	27/01/2014 23:07:03
51	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:07:00	27/01/2014 23:07:01
50	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:06:58	27/01/2014 23:06:59
49	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:06:56	27/01/2014 23:06:57
48	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:06:54	27/01/2014 23:06:55
47	Tensão da bateria anormal	27/01/2014 23:06:52	27/01/2014 23:06:53
46	Erro do freio elétrico	27/01/2014 23:05:50	27/01/2014 23:05:51
45	Erro do freio elétrico	27/01/2014 23:05:46	27/01/2014 23:05:47
44	Desligamento por ventos muito fortes	27/01/2014 23:05:26	27/01/2014 23:05:27
43	Desligamento por ventos muito fortes	27/01/2014 23:05:24	27/01/2014 23:05:25
42	Desligamento por ventos muito fortes	27/01/2014 23:05:22	27/01/2014 23:05:23

**Figura 21 - Tela de alarmes ativos e histórico de falhas**  
**Fonte: Autoria própria**

A última tela da hierarquia é para manutenção, análise dos dados e geração de relatórios da produção de energia e das falhas do sistema.

Esta tela é subdividida em: gráfico de controle, tabela dos dados estatísticos do gráfico de controle e gráfico de Pareto.

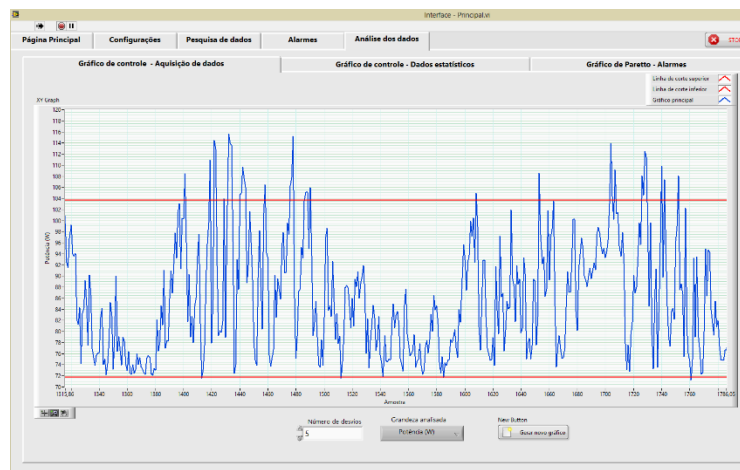
#### 4.11 FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS

Com as funcionalidades padronizadas e o sistema de armazenamento robusto foi possível focar o desenvolvimento das ferramentas de análise.

Este trabalho propôs a implementação de duas ferramentas para a avaliação de desempenho do gerador eólico: gráfico de Pareto e carta de controle.

Para atingir os objetivos propostos as ferramentas são limitadas em opções de análise. As opções implementadas para a carta de controle analisam os dados baseados nas grandezas com limite de 260.000 linhas filtradas para um gráfico. Na geração do gráfico de Pareto não há configurações de filtro e o gráfico analisa o total de alarmes e gera o gráfico para avaliar o impacto de cada falha no sistema.

Após a realização da pesquisa e filtro dos dados na tela de geração de gráfico de controle, há controles, demonstrados na Figura 22, para configurar a quantidade de desvios considerados na análise, uma caixa de seleção para escolher a grandeza a ser analisada e um botão para a ordem de gerar o gráfico.



**Figura 22 - Exemplo de gráfico de controle gerado**  
**Fonte: Autoria própria**

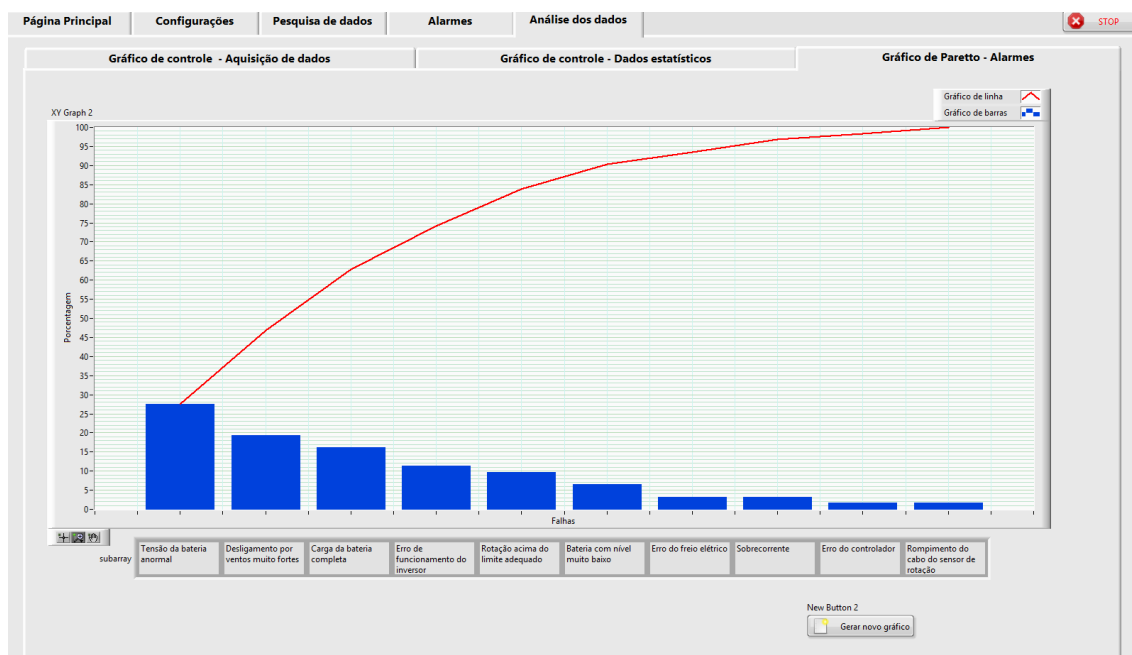
O gráfico possui ferramentas para ampliar ou reduzir a escala mostrada, e os pontos são identificados no eixo das abscissas pela ocorrência para facilitar a identificação na tabela de resultados estatísticos.

A tela de dados estatísticos possui uma tabela com os dados calculados que foram considerados na formação do gráfico, como representado na Figura 23.

Potência (W)	Rotação (RPM)	Tensão da bateria (V)	Corrente DC (A)	Corrente eólica (A)	Corrente solar (A)	Velocidade do vento
73,4	28,6	52,9	0,0	0,2	0,0	0,0
73,3	31,0	53,8	0,0	0,3	0,0	0,0
72,8	33,3	54,8	0,0	0,3	0,0	0,0
72,5	27,8	55,9	0,0	0,1	0,0	0,0
73,6	30,3	56,2	0,0	0,2	0,0	0,0
71,1	28,9	54,8	0,0	0,1	0,0	0,0
71,0	29,0	54,3	0,0	0,1	0,0	0,0
71,1	27,3	54,4	0,0	0,1	0,0	0,0
71,2	28,1	54,2	0,0	0,0	0,0	0,0
71,3	28,9	54,2	0,0	0,1	0,0	0,0
71,9	27,3	55,1	0,0	0,0	0,0	0,0
73,2	28,0	55,1	0,0	0,1	0,0	0,0
73,8	27,6	55,4	0,0	0,0	0,0	0,0
73,5	29,0	55,1	0,0	0,1	0,0	0,0
71,7	28,3	54,3	0,0	0,1	0,0	0,0
73,3	28,0	54,7	0,0	0,0	0,0	0,0
73,8	28,8	54,8	0,0	0,1	0,0	0,0
72,7	27,6	54,6	0,0	0,1	0,0	0,0
71,8	28,4	53,9	0,0	0,1	0,0	0,0
73,2	30,1	53,7	0,0	0,2	0,0	0,0
74,6	26,6	53,7	0,0	0,1	0,0	0,0
77,3	26,8	53,8	0,0	0,0	0,0	0,0
84,4	28,7	54,8	0,0	0,1	0,0	0,0
78,0	26,8	53,7	0,0	0,0	0,0	0,0
73,5	26,9	53,6	0,0	0,0	0,0	0,0
73,4	27,4	53,5	0,0	0,0	0,0	0,0
72,6	27,2	53,7	0,0	0,1	0,0	0,0
72,4	30,9	55,0	0,0	0,2	0,0	0,0
73,1	27,1	54,6	0,0	0,1	0,0	0,0
74,7	30,2	55,4	0,0	0,2	0,0	0,0
71,9	29,4	55,0	0,0	0,2	0,0	0,0
72,2	28,9	55,8	0,0	0,2	0,0	0,0
71,3	30,7	54,4	0,0	0,2	0,0	0,0

**Figura 23 - Tabela de dados estatísticos calculados**  
**Fonte: Autoria própria**

O gráfico de Pareto é gerado através do histórico de todas as falhas, como o exemplo da Figura 24, para verificar o impacto de cada falha no desempenho do sistema.



**Figura 24 - Exemplo de gráfico de Pareto gerado**  
**Fonte: Autoria própria**

Esta tela possui somente a opção de atualizar o gráfico com os dados mais recentes.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos estudos realizados e do entendimento do processo específico da Elco Engenharia de Montagens foi observada a real necessidade de um sistema de supervisão. Considerando a enorme quantidade de registros gerados pelo sistema é essencial uma ferramenta de armazenamento e geração de relatórios para tornar possível a avaliação do sistema de geração.

Ao entender o problema foi realizado um levantamento bibliográfico que nos permitiu compreender o processo de geração eólica, assim como entender as etapas de projeto de um sistema SCADA e a utilização de ferramentas de qualidade para a análise de dados.

O objetivo de criar uma interface amigável ao usuário que permita a visualização das variáveis de forma simplificada foi atingido com sucesso devido a aplicação dos procedimentos estudados para estruturação de sistemas supervisórios. A estruturação foi dividida em etapas que, durante o projeto se transformaram na lista de atividades executadas.

A escolha do banco de dados foi realizada baseada em padrões de mercado, a estruturação das tabelas e a manipulação dos dados foi implementada considerando as necessidades encontradas durante a fase de estudo do processo.

A rotina de comunicação foi implementada conforme as características do produto e a compreensão do modelo de comunicação se deu a partir dos estudos que abordam formas de comunicação de sistemas SCADA.

A criação da interface e da navegação entre telas foi concebida de forma a suprir as necessidades do processo e manter a familiaridade com o *software* original do fabricante do equipamento.

A forma de geração dos gráficos do sistema é feita através de ferramentas de controle estatístico que possibilitam a análise do desempenho do equipamento a partir do resultado gerado. A ferramenta implementada permite ao usuário escolher a grandeza a ser avaliada e ajustar o cálculo adaptando ao processo.

Com o sistema implementado foi solucionado o problema de falta de informações concisas sobre o processo de geração. Através das ferramentas da qualidade incorporadas no sistema desenvolvido o usuário pode avaliar o desempenho do equipamento de forma a complementar os estudos realizados para o desenvolvimento do produto com tecnologia nacional.

Também foi relevante para o êxito do sistema implementado às considerações realizadas pelo usuário final sobre a qualidade da ferramenta.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do sistema de geração eólico *Sinfonia Technology* em conjunto com a implementação do sistema nos permitiu identificar a necessidade de sistemas dedicados para geração de energia. Este desenvolvimento foi focado em características genéricas de sistemas de geração eólica, o que permite que esta interface possa ser aplicada e/ou adaptada para outros geradores.

O presente trabalho possibilita continuação do desenvolvimento em futuras oportunidades, com foco em outros protocolos de comunicação e criação de outras ferramentas de análise que, por limitação de tempo, não foram possíveis de implementar.

O estudo realizado também é relevante para a comunidade da área e, para divulgar os resultados obtidos, está sendo preparado um artigo para publicação em revista especializada.

## 7 REFERÊNCIAS

CASTRUCCI, Plínio; MORAES, Cícero Couto de. **Engenharia de Automação Industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007.

Energia Eólica Panorama mundial e perspectivas no Brasil. **Confederação nacional das indústrias**, Brasília, 2008.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO. **Apostila de Tecnologia da Comunicação**. Cubatão, São Paulo: 2009. 75 p.

MARSHALL JUNIOR, Isnard [et al.]. **Gestão da qualidade**. 10 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010.

MICROSOFT SUPORTE. Disponível em:  
<http://support.microsoft.com/ph/1044>. Acesso em 15 jan. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em:  
<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica> .  
Acesso em 02 dez. 2013.

MOREIRA LOPES, Marco Aurélio. **A importância dos sistemas supervisórios no controle de processos industriais**. Ouro Preto, 2009.

OMEGA. Disponível em:  
<http://www.omega.com/techref/pdf/RS-232.pdf>. Acesso em 26 fev. 2014.

PAVINATTO, Eduardo Fiorini. **Ferramenta para auxílio à Análise de Viabilidade Técnica da Conexão de Parques Eólicas a Rede Elétrica**. 2005. 165 f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PINTO, Milton Oliveira. **Fundamentos de Energia Eólica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico de Processo e Ferramentas da Qualidade**. In: MONTEIRO, M. (coord.). **Gestão da Qualidade, teoria e casos**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier/Campus, 2006.

SILVA, Ana Paula Gonçalves; SALVADOR, Marcelo. O que são sistemas supervisórios?. **Elipse Software Ltda**, 20 dez. 2005. Disponível em:  
<http://www.elipse.com.br/download/artigos/rt025.04.pdf> . Acesso em: 12 nov. 2009.

Sinfonia Technology Co, Ltda. **Compact Wind turbine generator – Operation manual.** Japão, 2009. 38 p.

TEXAS INSTRUMENTS. **The RS-485 Design Guide.** Dallas, Texas: 2008. 8 p.