

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA ÊNFASE ELETROTÉCNICA**

**SIDNEI LEANDRO DA SILVA**

**ANÁLISE PARA MELHORIA NA ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DE  
SISTEMAS CRÍTICOS EM UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2016**

**SIDNEI LEANDRO DA SILVA**

**ANÁLISE PARA MELHORIA NA ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DE  
SISTEMAS CRÍTICOS EM UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação do curso de Engenharia Industrial Elétrica Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Eloir Rocha

Co-Orientador: Eng. Esp. Antônio Wotecoski

CURITIBA

2016

**Sidnei Leandro da Silva**

## **Análise para melhoria na alimentação elétrica de sistemas críticos em uma indústria Petroquímica**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 30 de junho de 2016.

---

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Joaquim Eloir Rocha, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

---

Antonio Wotecoski, Esp.  
Gerente de manutenção na Refinaria  
Presidente Getúlio Vargas (Repar)  
Co-orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Joaquim Eloir Rocha, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Antonio Wotecoski, Esp.  
Gerente de manutenção na Refinaria  
Presidente Getúlio Vargas (Repar)

---

Marcelo Rodrigues, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Professor orientador Dr. Joaquim Eloir Rocha e ao Eng. Especialista Co-orientador Antônio Wotecoski pela oportunidade que me foi dada em realizar este trabalho e pelo seu suporte e orientação durante a elaboração do mesmo.

Agradeço aos Professores Marcelo Rodrigues e Carlos Henrique Mariano que tão prontamente me atenderam, esclarecendo todas as dúvidas relacionadas à confiabilidade de sistemas.

Gostaria também de expressar meu agradecimento aos amigos e familiares que estiveram ao meu lado durante este período e que com certeza foram de suma importância para que este trabalho se concretizasse.

## RESUMO

SILVA, L. Sidnei. **Análise para melhoria na alimentação elétrica de sistemas críticos em uma indústria Petroquímica**. 2016. 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho apresenta um estudo de diferentes configurações de um Sistema de Energia Ininterrupto, SEI, visando realizar uma análise comparativa entre os valores encontrados de Confiabilidade e custo total de instalação. Os arranjos selecionados para realização do presente trabalho estão instalados em uma indústria Petroquímica. Foram utilizados para concretização do presente estudo conceitos básicos de Sistemas Ininterruptos de Energia e Confiabilidade, viabilizando a realização das modelagens e das análises dos arranjos. Os valores de MTBF dos componentes do Sistema UPS utilizados nas simulações foram obtidos através da média de valores fornecidos por fabricantes. As configurações sob estudo foram modeladas e simuladas através de um *software* computacional, Blocksim da Reliasoft.

**PALAVRAS – CHAVE:** Sistema Ininterrupto de Energia, UPS-CC, UPS-CA, confiabilidade, configurações, Tempo médio entre falhas, MTBF.

## ***ABSTRACT***

SILVA, L. Sidnei. **Analysis for improvement in electrical power critical systems in an industry petrochemical.** 2016. 95 p. Final dissertation (Bachelor of Electrical Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

This paper aims to present a study of different configurations of an uninterruptible Power Supplies, UPS, aiming at performing a comparative analysis between the values found for Reliability and the total installation cost. The selected arrangements for implementation of this work are installed in a petrochemical industry. For completion of this study were used basics of Uninterruptible Power Systems and Reliability, allowing to perform the modeling and analysis of arrangements. The MTBF values of the components of the UPS used in the simulations were obtained through the average values provided by manufacturers. The settings of this study were modeled and simulated by computer software, ReliaSoft BlockSim.

**KEYWORDS:** Uninterruptible Power Supplies, UPS-CC, UPC-CA, reliability, settings, Mean Time Between Failure, MTBF.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Reações químicas nas baterias chumbo-ácidas.....	25
Figura 02 – Expectativa de vida em função da temperatura de trabalho.....	27
Figura 03 – Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga.....	27
Figura 04 – Método a um nível de corrente e um nível de tensão.....	31
Figura 05 – Tensão e corrente na bateria no processo de recarga usando o método a um nível de corrente e um nível de tensão.....	31
Figura 06 – Método a dois níveis de corrente.....	31
Figura 07 – Método a dois níveis de corrente e um de tensão.....	32
Figura 08 – Tensão e corrente no tempo: método da corrente pulsante.....	33
Figura 09 – Fases de carga com carregador ideal.....	34
Figura 10 – Carregador de banco de baterias.....	35
Figura 11 – Retificador trifásico totalmente controlado.....	36
Figura 12 – Exemplo de UPS-CC instalado em uma Indústria Petroquímica.	37
Figura 13 – Carregador com unidades de diodos de queda na saída para as cargas.....	38
Figura 14 – Envelope de tolerância de tensão típico para sistemas críticos..	40
Figura 15 – Modelo de instalação de Inversor CC-CA.....	41
Figura 16 – Modulação por largura de pulsos senoidal.....	42
Figura 17 – Diagrama de blocos dos UPS Passive Standby, funcionamento normal.....	43
Figura 18 – Diagrama de blocos dos UPS Passive Standby, funcionamento no modo bateria.....	44
Figura 19 – Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionamento no modo normal.....	45
Figura 20 – Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionamento no modo bateria.....	45
Figura 21 – Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionamento no modo <i>by-pass</i> .....	46

Figura 22 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo normal.....	47
Figura 23 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo bateria.....	47
Figura 24 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo <i>by-pass</i> automático.....	48
Figura 25 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo <i>by-pass</i> manual.....	48
Figura 26 – Exemplo de UPS-CA instalado em uma Indústria Petroquímica.	49
Figura 27 – Diagrama de blocos de uma chave de transferência estática....	51
Figura 28 – Hierarquia de automação de uma refinaria.....	55
Figura 29 – Exemplo de estação de trabalho de uma unidade da Gerência de HRC.....	55
Figura 30 – Sistema de instrumentação e controle das unidades de processos.....	56
Figura 31 - Métodos típicos de redução de riscos em plantas de processo...	57
Figura 32 - O SIS e o BPCS como sistemas independentes.....	58
Figura 33 – Disjuntores principais incluindo o de interligação.....	59
Figura 34 – Curva de Comparativa entre MTBF, MTTR e Confiabilidade.....	62
Figura 35 – Curva da banheira.....	63
Figura 36 – UPS-CC configuração instalada nas unidades antigas.....	66
Figura 37 – UPS-CC configuração instalada nas unidades novas.....	67
Figura 38 – UPS-CA configuração completa.....	68
Figura 39 – UPS-CA configuração instalada nas unidades.....	69
Figura 40 – UPS-CA configuração instalada nas unidades novas.....	70
Figura 41 – Diagrama simplificado da configuração UPC-CC único.....	74
Figura 42 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC única.....	74
Figura 43 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC de unidades antigas.....	76
Figura 44 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC de unidades novas.....	78
Figura 45 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CA de unidades antigas.....	79



Figura 46 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CA de unidades novas.....	81
Figura 47 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC de unidades antigas.....	83
Figura 48 – Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga.....	85
Figura 49 – Relação entre confiabilidade e custo.....	87
Figura 50 – Relação entre confiabilidade e custo total de instalação das diferentes configurações.....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Comparação das principais baterias secundárias.....	21
Tabela 02 – MTBF dos equipamentos do sistema elétrico crítico em UPS-CC e UPS-CA.....	52
Tabela 03 – MTBF dos equipamentos do sistema elétrico crítico.....	71
Tabela 04 – Valores de confiabilidade dos equipamentos.....	72
Tabela 05 – Confiabilidade na configuração UPS-CC único.....	75
Tabela 06 – Confiabilidade na configuração UPS-CC unidades antigas.....	77
Tabela 07 – Confiabilidade na configuração UPS-CC unidades novas.....	78
Tabela 08 – Confiabilidade na configuração UPS-CA unidades antigas.....	80
Tabela 09 – Confiabilidade na configuração UPS-CA unidades novas.....	82
Tabela 10 – Confiabilidade na configuração UPS-CA nova proposta.....	83
Tabela 11 – Comparação de custos de instalação das diferentes configurações.....	88
Tabela 12 – Relação de confiabilidade versus custo das diferentes configurações.....	88

## LISTA DE SIGLAS

BPCS	Sistema de Controle de Processo Básico
BT	Banco de Baterias
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CR	Carregador de baterias
ESD	Emergency shutdown system
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IN	Inversor de Frequência
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MTBF	Mean Time Between Failures
NBR	Norma Brasileira
PCA	Painel de Corrente Alternada
PCC	Painel de Corrente Contínua
PES	Programmable Electronic Systems
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SCMD	Sistema de Monitoração Distribuído
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SE	Subestação
SEC	Sistema Elétrico Crítico
SIS	Sistema Instrumentado de Segurança
UDQ	Unidade de Diodos de Queda
UPS	Uninterruptible Power Supply
UPS-CC	Uninterruptible Power Supply - direct current
UPS-CA	Uninterruptible Power Supply - alternating current

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 TEMA.....	14
1.1.1 Delimitação do Tema.....	14
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 JUSTIFICATIVA.....	16
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
2.1 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE CARGAS CRÍTICAS.....	18
2.2 BATERIAS.....	19
2.2.1 Método de cargas das baterias.....	29
2.3 CARREGADOR DE BATERIAS.....	34
2.4 UPS-CC: ESTRUTURA REAL DE UMA INDÚSTRIA.....	36
2.5 CONVERSORES.....	39
2.5.1 Conversores CC-CA.....	40
2.5.2 Conversores monofásicos CC-CA.....	41
2.5.3 Classificação da topologia das UPS e inversores.....	43
2.5.3.1 Topologia <i>Passive Standby</i> .....	43
2.5.3.2 Topologia <i>Line Interative</i> (Linha Interativa).....	44
2.5.3.3 Topologia <i>Double Conversion</i> (Dupla Conversão).....	46
2.6 UPS-CA: ESTRUTURA REAL DE UMA INDUSTRIA .....	49
2.7 CHAVE ESTÁTICA.....	50
<b>3 NECESSIDADE DE UPS-CC/CA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA.....</b>	<b>53</b>
<b>4 CONCEITOS E ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE UPS's.....</b>	<b>60</b>
4.1 CONFIABILIDADE.....	60
4.2 ANÁLISE DE FALHAS.....	60
4.3 TAXA DE FALHAS.....	60
4.4 TEMPO MÉDIO PARA REPARO (MTTR).....	61

4.5 TEMPO MÉDIO PARA FALHAR (MTTF).....	61
4.6 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF).....	61
4.7 DISPONIBILIDADE.....	61
4.8 CONFIGURAÇÕES SOBRE TAXA DE FALHA.....	62
<b>5 ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO DA UPS MAIS ADEQUADA.....</b>	<b>65</b>
5.1 ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES UPS-CC.....	65
5.2 ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES UPS-CA.....	67
5.3 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS.....	71
5.4 SIMULAÇÕES NO SOFTWARE RELIA/BLOCKSIM.....	73
5.4.1 UPS-CC: Configuração UPS único.....	73
5.4.2 UPS-CC: Configuração das unidades antigas.....	75
5.4.3 UPS-CC: configuração das unidades novas.....	77
5.4.4 UPS-CC: Análise preliminar quanto a melhor configuração.....	79
5.4.5 UPS-CA: Configuração das unidades antigas.....	79
5.4.6 UPS-CA: Configuração das unidades novas.....	81
5.4.7 UPS-CA: Proposta para uma configuração mais confiável.....	82
5.4.8 UPS-CA: Análise preliminar quanto a melhor configuração.....	84
<b>6 DISCUSSÃO SOBRE OS CUSTOS.....</b>	<b>85</b>
6.1 CUSTO DA QUALIDADE.....	85
6.2 ESTUDO DE CUSTOS VERSUS CONFIABILIDADE.....	87
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>90</b>
7.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	91
7.1.1 Estudo de modelagem de um conversor CC-CC como alternativa para as unidades de diodos de queda.....	91
7.1.2 Possibilidade de introdução de controle automático de variação da tensão de flutuação de acordo com a temperatura ambiente.....	91
7.1.3 Possibilidade de introdução de um sistema de abertura do circuito elétrico entre banco de baterias e consumidores quando o valor da tensão atinge o limite mínimo.....	91
REFERÊNCIAS.....	92

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

Análise de propostas para melhoria na alimentação elétrica de sistemas críticos em uma indústria petroquímica.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

O estudo deste trabalho é baseado no sistema de alimentação elétrica de cargas críticas em uma Indústria Petroquímica. As cargas críticas representam todos os equipamentos que não podem permanecer sem alimentação elétrica, mesmo numa eventual falha de fornecimento da concessionária de energia. Dentre as cargas críticas estão os controladores de máquinas, SDCDs, SCMDs, PLCs, sistemas de proteção, acionadores de válvulas e instrumentação da refinaria. Estes sistemas visam, além de manter a operação, garantir que a parada do sistema seja realizada de maneira segura para os operadores, para as instalações e meio ambiente.

A refinaria possui um sistema de alimentação para cargas críticas através UPS-CC e UPS-CA, que fornece energia elétrica em situações de emergência tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada. A alimentação de cargas críticas durante a emergência é realizada por meio de chaveamento entre a fonte principal (concessionária de energia) e a fonte de emergência (banco de baterias), sendo que a alimentação em corrente alternada é possibilitada através de inversores de frequência e chaves estáticas.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Em 2006 o Eng. Esp. Antonio Wotecoski realizou um estudo e identificou os problemas típicos de projeto, instalação, operação e manutenção do sistema de alimentação elétrica dos sistemas críticos, tais como falta de flexibilidade e redundância, falhas humanas e falhas na especificação de equipamentos.

Com o estudo realizado foi obtido um novo conceito de equipamento e sistema de alimentação em corrente alternada, através de um *No-Break* fabricado de

acordo com as especificações e necessidades da Indústria Petroquímica e foi implantado nas unidades operacionais.

Em 2007, com a ampliação da da empresa em estudo e construção de novas unidades operacionais, verificou-se que as configurações de UPS-CC e UPS-CA nas unidades novas teriam um projeto diferente das unidades antigas, ou seja, mudaria a configuração dos sistemas. Porém não há um estudo que comprove qual das configurações tem um maior grau de confiabilidade. Este trabalho visa comparar a confiabilidade de todos os sistemas instalados na Indústria Petroquímica em estudo e identificar qual deles possui maior confiabilidade. Outra demanda deste trabalho é realizar uma análise dos custos de implantação de cada configuração, UPS-CC e UPS-CA, e através de um estudo mostrar qual possui melhor custo benefício para a empresa em estudo, afim de padronizar os projetos e instalações futuras de UPS-CC e UPS-CA.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Identificar, utilizando critérios de confiabilidade e custo, qual a configuração de UPS-CC e UPS-CA é mais apropriada para a empresa em estudo.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar a literatura e normas técnicas referente aos equipamentos UPS-CC e UPS-CA.
- Fazer o levantamento em campo dos equipamentos e arranjos elétricos e configurações dos sistemas de alimentação elétrica de cargas críticas de uma Indústria Petroquímica.
- Estudar e analisar as diferentes configurações de UPS-CC e UPS-CA instaladas em uma indústria Petroquímica, avaliando e identificando suas vantagens e desvantagens, principalmente quanto ao grau de confiabilidade. Posteriormente visa analisar os custos de instalação para cada tipo de configuração e desta maneira identificar qual configuração possui melhor custo benefício para a empresa.

- Realizar simulações das configurações de UPS-CC e UPS-CA em softwares apropriados para realizar comparações entre os sistemas.
- Propor alternativas visando um grau mais elevado de confiabilidade dos sistemas UPS-CC e UPS-CA instalados na Indústria Petroquímica.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Dentre as cargas críticas de uma planta petroquímica estão o SDCD (sistema de controle digital distribuído), console de operação, instrumentação (válvulas de controle, BPCS – Sistema de Controle de Processo Básico, SIS - Sistema de Instrumentação de Segurança, iluminação de emergência e Sensores de Gás. Estas cargas por fazerem parte do sistema de segurança das indústrias Petroquímicas em geral não podem falhar, portanto devem ser alimentadas por um sistema elétrico mais confiável que o convencional e conseqüentemente com um alto grau de confiabilidade, que são os UPS-CC e os UPS-CA, que respectivamente alimentam cargas críticas em corrente contínua e corrente alternada. Como estes sistemas não podem falhar quando requeridos, estão sempre sendo objetos de estudos para aumento de sua confiabilidade.

#### 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atingir os objetivos propostos, o estudo foi dividido em quatro etapas principais:

- Estudo do sistema existente na Indústria Petroquímica: Será acessada toda a documentação referente às instalações de UPS-CC e UPS-CA da refinaria, para identificação, estudo e análise destes sistemas.
- Estudo da bibliografia: de acordo com os sistemas estudados, serão procurados documentos técnicos e referências bibliográficas referentes aos equipamentos contidos no sistema, sendo os documentos: livros, especificações, ensaios elétricos, normas técnicas e técnicas de manutenção.
- Análise dos dados obtidos: analisar as informações coletadas e realizar simulações em softwares próprios de confiabilidade de sistemas, afim de descobrir qual das configurações é mais confiável. Realizar simulações de



novas configurações para verificar se existe possíveis topologias mais confiáveis que as utilizadas em uma Indústria Petroquímica.

- Apresentar alternativas ao problema abordado: propor soluções às falhas observadas na prática referenciando-as à teoria estudada, a fim de reduzir o número de falhas no sistema, seja propondo alterar os procedimentos de manutenção e de ensaios, ou propondo alterar a configuração dos equipamentos existentes, arranjos, especificações ou ambos.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Na seção 1 deste trabalho está apresentada a proposta como um todo: tema, objetivos, justificativa e metodologias. Este capítulo é uma introdução com as informações necessárias para o entendimento do propósito e metodologia do trabalho.

Na seção 2 é realizado o estudo aprofundado dos equipamentos contidos no sistema de alimentação de energia elétrica para cargas críticas em plantas petroquímicas. O estudo é voltado à Indústria Petroquímica, portanto nesta seção serão abordados itens específicos desta instalação como diagramas de blocos e arranjos que demonstrem as configurações básicas do sistema. Esta seção ainda aborda os conceitos básicos de manutenção, confiabilidade e ferramentas de estudo de eficiência energética, pontos fundamentais para a análise final a ser apresentada no final do estudo.

A seção final visa realizar uma análise dos sistemas UPS-CC e UPS-CA instalados na Indústria Petroquímica ou encontrados na literatura, efetuando simulações destes sistemas através de software específico de confiabilidade. Além das análises de confiabilidade busca-se também um estudo sobre custos de implantação / instalação das configurações estudadas no trabalho, afim de obter dados que sejam suficientes para chegar à conclusão de qual sistema possui melhor custo benefício à empresa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na indústria Petroquímica existem vários consumidores (cargas elétricas) extremamente importantes para o sistema operacional da refinaria, os quais não podem perder a alimentação de energia elétrica, entre eles estão sensores, fotocélulas, sistema instrumentado da emergência, controladores lógicos programáveis (CLP), sistemas eletrônicos programáveis (PES), sistema digital de controle distribuído (SDCD), iluminação de emergência e outros.

Devido à importância destes sistemas, sua alimentação elétrica deve ser o mais confiável possível, desta forma será apresentado o sistema existente na Indústria Petroquímica e ao final do trabalho pontos de melhoria para aumento de confiabilidade deste sistema.

### 2.1 SISTEMA ELÉTRICO CRÍTICO

O sistema elétrico crítico (SEC) também conhecido como, sistema ininterrupto de energia (UPS), pode ser classificado como fontes de energia secundárias ou de emergência. Quando a rede normal da concessionária falha, a UPS entra em operação, através de carga armazenada em bancos de baterias para manter a alimentação elétrica das cargas. Segundo King (2003), a necessidade de geração secundária ou de emergência surge. Basicamente, por quatro razões: a segurança humana, segurança nacional, o prejuízo financeiro e perda de dados.

Para King (2003), deve haver *UPS* onde houver risco para a vida ou à saúde, ou seja, aviação, equipamentos médicos em hospitais, usina nuclear e refinarias de petróleo. Também é necessário em caso de segurança nacional, contra espionagem, comunicação de sistemas, instalações militares. Também deve ser prevista *UPS* onde a perda de dados pode ser catastrófica e irrecuperável e por fim King (2003) cita a importância da instalação de *UPS* em processos industriais críticos e grandes instituições financeiras.

O sistema elétrico crítico (sistema de alimentação de cargas críticas) é constituído basicamente de um retificador/carregador de bateria, por um banco de baterias e por painéis elétricos chamados de PCC (Painel de Corrente Contínua) que são os painéis onde ficam localizados o sistema de proteção contra falhas nos consumidores (cargas). Em se tratando de um sistema elétrico crítico em tensão

alternada além dos equipamentos já mencionados ainda teremos no sistema a instalação de conversor CC-CA e chave de transferência.

## 2.2 BATERIAS

As baterias, segundo Fowler (2013) são dispositivos que convertem energia química em energia elétrica, gerando uma tensão contínua entre os seus dois terminais ou pólos, um chamado positivo e outro negativo. Elas são utilizadas para o fornecimento de energia para dispositivos elétricos e eletrônicos. O objetivo principal da utilização de baterias é garantir o fornecimento ininterrupto de energia elétrica para as cargas críticas em caso de falha no fornecimento de energia elétrica da concessionária.

Fowler (2013) afirma que existem dois tipos de pilhas e baterias, as células primárias que são as não recarregáveis, ou seja, as reações químicas acontecem de forma que não são reversíveis e as células secundárias que são recarregáveis várias vezes após o processo de descarga. A quantidade de cargas/descargas que as baterias podem suportar dependem do tipo, do tamanho e das condições de operação da célula.

As baterias primárias são utilizadas tipicamente em baixa e moderada potência. Neste caso são mais utilizadas em brinquedos, controle remotos, relógios, rádios, câmeras, calculadoras e etc. Também são utilizados em equipamentos portáteis como radar, visão noturna etc.

Já as baterias secundárias (recarregáveis) são utilizadas como dispositivos de armazenamento, geralmente ligada por uma fonte de energia primária (carregadores) e fornecem energia à carga. Sua utilização está em UPS's, automóveis, veículos elétricos e etc.

Existem diversos tipos de baterias recarregáveis disponíveis comercialmente, e suas características, segundo Pinho (2008), dependem de suas formas construtivas bem como dos elementos que a compõem. Já com relação ao eletrólito elas podem ser classificadas basicamente em abertas (ventiladas) e seladas. Na bateria ventilada deve haver sempre uma verificação quanto ao nível do eletrólito e as mesmas devem trabalhar na vertical. Na selada não é necessária esta verificação, e estas podem ser usadas na vertical ou na horizontal e são usualmente chamadas de "livres de manutenção".

Quanto à utilização, as mais comuns são:

- 1) Baterias SLI (*Starting, Lighting and Ignition*): Desenvolvidas para operarem em ciclos de curta duração, são comumente utilizadas pela indústria automotiva na partida de veículos. Suas células possuem um grande número de placas finas, o que proporciona uma maior superfície ativa entre elas e altas descargas de corrente em curtos espaços de tempo. Não trabalham durante tempos longos e descargas profundas.
- 2) Estacionárias: Projetadas para permanecerem em flutuação e serem solicitadas ocasionalmente (*backup*). Dentre as principais características destacam-se a moderada resistência ao processo de ciclagem e o baixo consumo de água. São baterias comumente utilizadas em *No-breaks* e *UPS*.
- 3) Tração: Projetadas para operar com ciclos profundos e frequentes e regimes de descarga moderados. Este tipo de bateria geralmente é utilizado em veículos elétricos.
- 4) Fotovoltaicas (ou solares): Projetadas para ciclos diários rasos com taxas de descarga reduzidas.

De acordo com Linden (2001) a tecnologia de bateria tem avançado muito nos últimos anos, tanto na melhoria contínua de um sistema eletroquímico como no desenvolvimento e introdução de novos materiais, mas as baterias não estão mantendo o mesmo nível de evolução da tecnologia eletrônica onde o desempenho dobra a cada 18 meses.

Em termos de empregabilidade nas indústrias, as mais utilizadas ainda são as estacionárias chumbo-ácida (Pb-ácida) e níquel-cádmio (Ni-cd) devido à questão econômica e disponibilidade no mercado, porém tanto as baterias níquel metal hidreto (NiMh) quanto as Lítio-Íon (Li-Íon) tendem a ser as tecnologias do futuro. A Tabela 01 mostra uma comparação entre as principais tecnologias de baterias existentes no mercado.

**Tabela 01 – Comparação das principais baterias secundárias**

Comparativo entre Baterias	Chumbo-ácida	NiCd	NiMh	Li-Íon
Densidade de Energia (Wh/kg)	30	50	60	100
Tensão em circuito aberto (V)	2.1V	1,3V	1,3V	4.1V
Faixa de operação (V)	2.0 - 1.8	1.2 - 1.0	1.2 - 1.0	3.8 - 3.0
Temperatura de operação em °C	-30 a 50	-20 a 45	-10 a 40	-20 a 60
Tensão final de carga (V)	2.4	1.5	1.5	4.5
Ciclo de Vida 30% DOD 80% DOD 100% DOD DOD=Profundidade da descarga (Depth of discharge)	500 200 20-50	2000 800 500	800 600 200	2000 800 200
Tempo para Carga	2 a 20 horas	1 a 3 horas	2 a 5 horas	3 a 20 horas
Tolerância para Sobrecarga	Limitada	Sim	Não	Não
Auto-descarga Mensal (na temperatura ambiente)	3 a 5%	15 a 20%	20 a 30%	8 a 15%
Toxicidade de componentes	Alta	Alta	Média	Média

Fonte: Besenhard (2011).

Embora comercialmente já tenhamos os quatro tipos de baterias mostrados na Tabela 01, a norma IEEE 1184 (2006), *Guide for Batteries for Uninterruptible Power Supply Systems*, recomenda-se para sistemas de UPS os seguintes tipos de baterias:

- Chumbo-ácida ventilada (VLA – *Vented lead-acid*);
- Chumbo-ácida regulada por válvula (VRLA – *Valve regulated lead-acid*);
- Níquel-Cádmio ventilada (*Vented Ni-Cd*);
- Níquel-Cádmio selada (*Sealed Ni-Cd*).

A norma não cita a bateria chumbo-ácida totalmente selada (SLA – *Sealed Lead Acid*) para uso em sistemas ininterruptos de energia, porém segundo Júnior e Souza (2004) estas baterias são utilizadas para sistemas de UPS de baixa potência, com carga típica entre 0,2 Ah à 30 Ah.

Seguindo os preceitos capitulados pela norma IEEE 1184 (2006), a Indústria Petroquímica optou por adotar em seu sistema, bancos de baterias do tipo Chumbo-Ácida. Por este motivo ele terá maior abrangência neste trabalho. Na sequência será comentado um pouco mais sobre cada uma delas.

- Bateria Níquel-metal-hidreto

Segundo Coelho (2001) as baterias de níquel metal hidreto podem ser consideradas uma evolução das de níquel cádmio (NiCd). De acordo com Furlan (2008) esta tecnologia é formada por um cátodo de hidróxido de níquel (Ni(OH)<sub>2</sub>), um eletrólito de hidróxido de potássio (KOH) e um ânodo de hidreto metálico (liga metálica) com alta capacidade de absorção de hidrogênio. Esta liga metálica pode ser constituída de: Mg<sub>2</sub>Ni, TiFe, LaNi<sub>5</sub>, ZnMn<sub>2</sub> e outros. Sua reação global de carga e descarga é descrita como:



Onde M é a liga metálica absorvente e Hab, o hidrogênio absorvido. Na carga, a liga M absorve hidrogênio e na descarga libera-o. Segundo Linden e Reddy (2001) esta tecnologia é mais utilizada em equipamentos portáteis e veículos elétricos.

Vantagens:

- Livre de manutenção (não necessita reposição de água);
- Materiais ambientalmente aceitáveis e recicláveis;
- Sua carga e descarga pode ser realizada em taxas elevadas e períodos curtos.

Desvantagens:

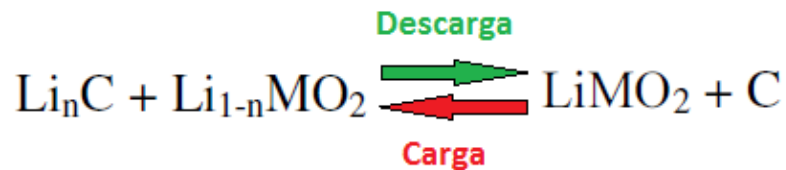
- Necessidade de um controle de carga preciso (possuem baixa tolerância de sobrecarga);
- Custo inicial elevado;

- Sua tecnologia de metais e produtos químicos ainda está evoluindo (sendo aprimorada), ou seja, não chegou no patamar das demais.

- Elevada auto descarga.

- Bateria de Lítio-Íon

Segundo Furlan (2008), o cátodo destas baterias é um óxido de metal litiado ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , etc) e o ânodo é feito de grafite (carbono). O eletrólito é composto de sais de lítio (como o  $\text{LiPF}_6$ ) dissolvido em carbonatos orgânicos. Quando a bateria estiver sendo carregada, os átomos de lítio no cátodo se tornam ions e migram através do eletrólito em direção ao ânodo de carbono, onde se combinam com os elétrons externos e são depositados entre as camadas de carbono como átomos de lítio. Na descarga ocorre a inversão deste processo conforme descrito na reação global de carga e descarga:



Onde M é um óxido de metal litiado ( $\text{LiCo}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , etc).

Vantagens:

- Não emite gases;
- Livre de manutenção (não necessita reposição de água);
- Elevada densidade energética;
- Menor impacto ambiental;
- Ciclo de vida longo;
- Seu peso é menor que as demais.

Desvantagens:

- Necessidade de um controle de carga preciso (possuem baixa tolerância de sobrecarga);
- Custo inicial elevado;

- Sua tecnologia de metais e produtos químicos ainda está evoluindo (sendo aprimorada), ou seja, não chegou no patamar das demais.

- Bateria de níquel-cádmio

De acordo com Furlan (2008), as baterias de níquel-cádmio têm sido amplamente utilizadas em aparelhos portáteis (celulares, filmadoras, aparelhos eletrodomésticos). São compostas por cádmio (Cd) em seu ânodo, hidróxido de níquel (Ni(OH)<sub>2</sub>) em seu cátodo e seu eletrólito é constituído de hidróxido de potássio (KOH). Durante o processo de descarga, o cátodo que era composto de cádmio metálico (Cd), é oxidado e se transforma em hidróxido de cádmio (Cd(OH)<sub>2</sub>) e o ânodo que era composto de oxi-hidróxido de níquel (NiO(OH)), é reduzido e se transforma em hidróxido de níquel (Ni(OH)<sub>2</sub>) conforme descrito na reação global de carga e descarga:



Segundo Coelho (2001), estas baterias possuem suas placas compostas de aço sólido, o que prolonga sua vida útil, pois o aço sólido é relativamente imune aos agentes químicos que o cercam, por isso mantém sua integridade mecânica e elétrica inalteradas por muito tempo. Desta maneira pode-se encontrar banco de baterias de níquel-cádmio com 20 ou 30 anos de uso, e com aproximadamente 100% de sua capacidade, diferentemente das baterias chumbo-ácidas em que as placas possuem como material básico o chumbo, que é corroído naturalmente nas reações químicas da mesma, fazendo com que a placa positiva aumente de volume, e mecanicamente enfraqueça, o que compromete também a condutividade elétrica da mesma.

Vantagens:

- Ciclo de vida longo;
- Grande tolerância à sobrecargas.



Desvantagens:

- Baixa densidade de energia;
- Contém cádmio;
- O custo é mais elevado que baterias chumbo-ácido.

- Bateria Chumbo-ácida

Conforme definição de Pinho (2008) a bateria de chumbo-ácida é constituída, basicamente, de um anodo de dióxido de chumbo ou também chamado de eletrodo positivo, um catodo de chumbo ou também chamado de eletrodo negativo e o eletrólito de ácido sulfúrico diluído em água.

As baterias são formadas por células eletroquímicas ligadas em serie ou paralelo. Cada célula é constituída por um ânodo (placa de chumbo - Pb) e um cátodo (placa de dióxido de chumbo - PbO<sub>2</sub>) que ficam submersos em um eletrólito de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). O eletrólito é o meio em que ocorrem as reações químicas, conforme mostrado na Figura 01.

Na Descarga					
Placa Positiva	Eletrólito	Placa Negativa	Placa Positiva	Eletrólito	Placa Negativa
PbO <sub>2</sub>	+ 2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Pb	→	PbSO <sub>4</sub>	+ 2 H <sub>2</sub> O + PbSO <sub>4</sub>
Na Carga					
Placa Positiva	Eletrólito	Placa Negativa	Placa Positiva	Eletrólito	Placa Negativa
PbSO <sub>4</sub>	+ 2 H <sub>2</sub> O	PbSO <sub>4</sub>	→	PbO <sub>2</sub>	+ 2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + Pb

Figura 01 – Reações químicas nas baterias chumbo-ácidas

Fonte: Matsumoto e Santos (2010).

Durante o processo de descarga, o chumbo (Pb) da placa positiva e o dióxido de chumbo (PbO<sub>2</sub>) da placa negativa reagem com o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) do eletrólito formando o sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>) e a água (H<sub>2</sub>O). Gradualmente ambas as placas, positiva e negativa, se transformam em sulfato de chumbo, enquanto a concentração de ácido sulfúrico diminui. Já no processo de carga a reação é revertida.

#### a) Aspectos de operação das baterias chumbo ácidas

Durante a operação do sistema de UPS é necessário haver uma tensão de flutuação no banco de baterias. Se a tensão de flutuação não for correta haverá um prejuízo para o banco de baterias. Se a tensão de flutuação estiver abaixo da ideal haverá problemas de recarga insuficiente e/ou sulfatação irreversível (sulfatação irreversível é quando o sulfato de chumbo ( $PbSO_4$ ) se cristaliza de maneira que não é possível sua reversão no momento da carga do banco de baterias). A sulfatação irreversível também pode ocorrer com o aumento da temperatura e descargas profundas no banco de baterias. Quando a tensão estiver acima da ideal para flutuação haverá uma maior perda de água, corrosão prematura da grade positiva e aumento da corrente de flutuação.

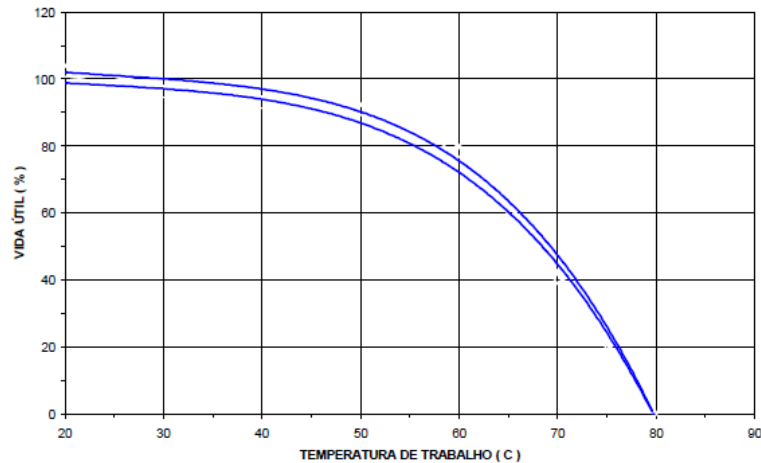
O valor da tensão de flutuação geralmente é especificado para uma temperatura de 25°C e esse valor deve ser corrigido com a variação da temperatura, para evitar os problemas citados anteriormente. Assim, é recomendado o monitoramento da temperatura das baterias, a medição deve ser realizada no pólo negativo ou na sua superfície, com um termômetro de contato, deve ser realizada a medição em aproximadamente 5% do número total de baterias da UPS. O valor da tensão de flutuação correto para esse banco de baterias vai depender então da média aritmética destas medições. Para ambientes sujeitos as variações sazonais de temperatura, deve-se calcular a temperatura média da bateria.

Este ajuste de tensão de flutuação por esta média minimiza os efeitos da temperatura sobre o desempenho e vida das baterias. Os procedimentos para se obter os valores corrigidos para a tensão de flutuação em relação à temperatura são apresentados na norma IEEE 1188 (2005).

No sistema Indústria Petroquímica os ambientes de instalação do banco de baterias ficam em temperatura ambiente, e os bancos de baterias, que são todos de baterias chumbo-ácida ventiladas, são projetados para uma vida útil de 10 anos, porém devido principalmente ao plano de manutenção preventiva estão durando de 12 à 15 anos.

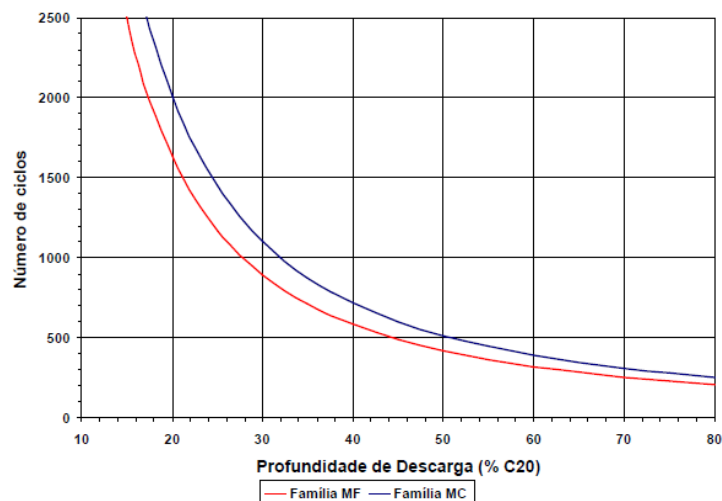
A elevação da temperatura, a valores superiores à 25°C, diminui a vida útil das baterias conforme mostrado na Figura 02 (simultaneamente ocorre um aumento da capacidade de armazenamento). Já para temperaturas inferiores à 25°C ocorre o contrário. A norma IEEE 1188 (2005) define que para cada 8°C de aumento de

temperatura, a redução de vida útil do banco de baterias pode chegar até pela metade. A norma também cita que esta degradação também depende das características construtivas da bateria.



**Figura 02 – Expectativa de vida em função da temperatura de trabalho**  
**Fonte: Manual técnico Moura (2011).**

É importante salientar que além da temperatura há outras variáveis que interferem diretamente na vida útil da bateria, outro exemplo é a profundidade de descarga que a bateria é submetida em seu regime de operação, a qual deve ser no máximo de 80% de sua capacidade, ou seja, deve-se descarregar no máximo até 80% de sua capacidade. A Figura 03 mostra que quanto maior for a profundidade da descarga menor o número de ciclos deste banco de baterias, ou seja, menor será a vida útil do banco de baterias.



**Figura 03 – Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga**  
**Fonte: Manual técnico Moura (2011).**

Conforme já mencionado a indústria Petroquímica em estudo optou-se por utilizar todos os bancos de baterias com o tipo Chumbo-ácida ventilada, por questão de custo/benefício. Segundo Furlan (2008) a bateria chumbo-ácida, se comparada as demais, é a que tem custo inicial menor. Além disso por ser uma tecnologia amplamente conhecida este tipo de bateria possui alta confiabilidade. No caso da empresa em estudo outro fator determinante para a escolha da bateria Chumbo-Ácida, é que a equipe de manutenção está treinada e qualificada para trabalhar com este tipo de bateria.

É importante salientar o motivo da escolha da bateria Chumbo-Ácida ventilada e não VRLA (*Valve Reguled Lead Acid*). Segundo Chagas (2007) uma grande vantagem do tipo VRLA é a manutenção reduzida, porém no caso da Indústria Petroquímica foi levado em consideração que as baterias VRLA, segundo a norma IEEE 1184 (2006) são mais sensíveis à elevação da temperatura de operação e como a Indústria Petroquímica não conta com controle de temperatura para seus bancos de baterias isso foi considerado na escolha do banco. Também foi considerado o fato da robustez do sistema, pois de acordo com Chagas (2007), as baterias VRLA são projetadas para operarem em condições de baixa sobre-tensão, de forma a evitar a formação excessiva de gases durante a carga, o que torna o sistema menos robusto sendo uma desvantagem para um sistema que deve ser altamente confiável como é o caso do sistema elétrico crítico de uma indústria Petroquímica.

Segundo Bastos (2013) a bateria chumbo-ácida é pesada em relação as demais, e de acordo com a Tabela 01 ela tem uma densidade de energia menor que as demais, isso significa que os bancos de baterias de chumbo-ácida são maiores e mais pesados, porém para a Indústria Petroquímica isso não é problema, pois a Refinaria conta com bastante espaço para a instalação dos bancos de baterias, no entanto em uma plataforma de petróleo, onde o metro quadrado é extremamente caro e o espaço é reduzido, seria mais viável a instalação de bancos de baterias do tipo Lítio-Íon, pois elas são mais leves e apresentam densidade de energia maiores que as demais.

A bateria chumbo-ácida gera gases hidrogênio e oxigênio no processo químico de carga e descarga, portanto é necessário que no local onde está instalado as baterias haja aberturas para ventilação exterior, que permitam a eliminação desses gases. Devido a esta liberação de gases o ambiente em que se encontram

instaladas as baterias pode se tornar explosivo (área classificada), para que isso não aconteça, segundo a norma IEC-60079-10 (2006) que classifica estes ambientes, deve ser atendido critérios de ventilação, em relação ao número de trocas de ar por hora e a vazão necessária para manter os níveis de hidrogênio abaixo de certos parâmetros, transformando este ambiente em área não classificada.

As salas de banco de baterias da indústria Petroquímica em questão, contam com ventilação natural, através de duas aberturas na parede, uma na parte inferior e outra na parte superior, fazendo com que a troca de ar deste ambiente o defina como área não classificada.

### 2.2.1 Método de cargas das baterias

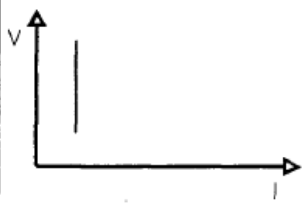
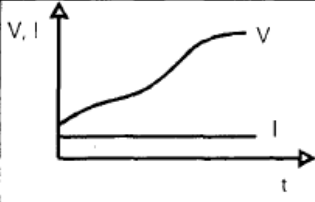
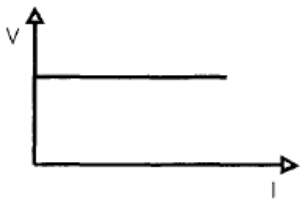

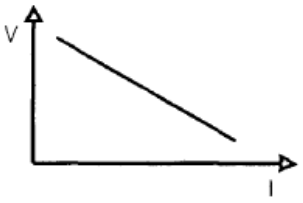

De acordo com Coelho (2001) os métodos de carga podem variar conforme o tipo de carga que se deseja efetuar. Geralmente o tempo de carga é o fator fundamental para a existência dos diversos métodos. É muito importante ter a medida da corrente elétrica para que uma sobrecorrente não seja aplicada nas cargas. A temperatura e a tensão das baterias também devem ser monitoradas.

Segundo Coelho (2001) os métodos de carga podem ser diferenciados por curvas características de corrente e tensão aplicadas na carga e também pelo tempo de carga.

De maneira geral existem três principais tipos de carga de baterias. Esses métodos são os seguintes:

1. Método por corrente constante;
2. Método por tensão constante;
3. Método por potência constante.

O quadro 01 mostra os gráficos destes tipos de cargas e também suas aplicações.

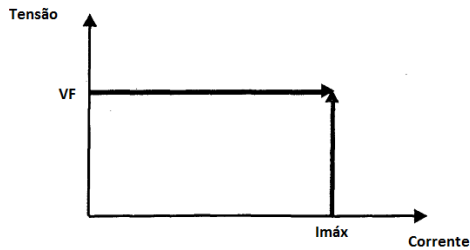
Característica de carga	Característica de tensão e corrente no tempo	Aplicação
<p><b>Corrente constante</b></p> 		<p>Carga parcial Carga completa Sobrecarga</p>
<p><b>Tensão constante</b></p> 		<p>Somente permitida por pequenos intervalos de tempo e com supervisão da temperatura</p>
<p><b>Potência constante</b></p> 		<p>Somente permitida por pequenos intervalos de tempo e a corrente deve ser limitada de forma que seja absorvida pela bateria sem aquecimento excessivo.</p>

**Quadro 01 – Características gerais para carga das baterias**  
Fonte: Coelho (2001).

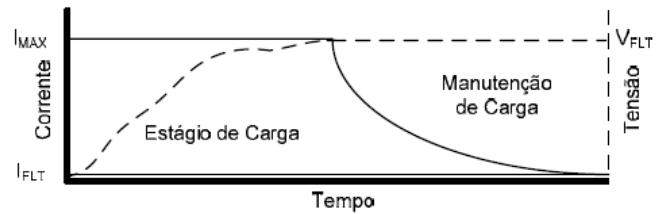
Para um carregamento com maior eficácia normalmente são utilizados métodos mistos de carga para as baterias, ou seja, junta-se mais de um método e, desta maneira, cria-se um novo método, vejamos os principais abaixo:

- Método a um nível de corrente e um nível de tensão;

Este método é muito utilizado industrialmente por ser de fácil implementação. Segundo Lazzarin (2006) ele possui dois estados: No primeiro a corrente é mantida constante até que a tensão atinja um nível especificado de tensão de flutuação. No segundo estado é aplicada a tensão de flutuação constante sobre o banco de baterias para manter sua carga. Esta técnica não garante que a bateria esteja 100% carregada. A Figura 04 e a Figura 05 mostram o comportamento da tensão em função da corrente.



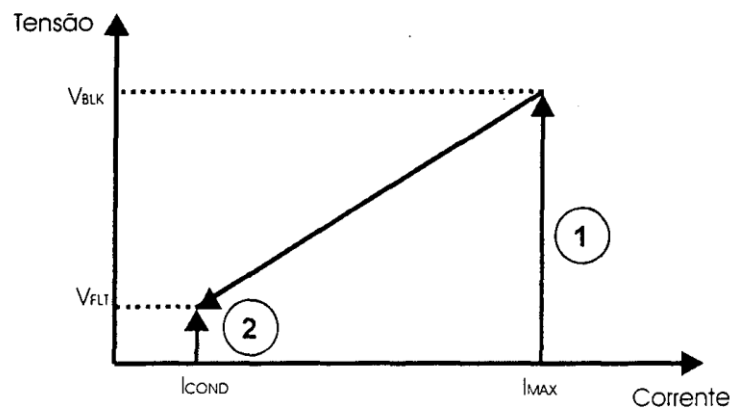
**Figura 04 – Método a um nível de corrente e um nível de tensão**  
Fonte: Coelho (2001).



**Figura 05 – Tensão e corrente na bateria no processo de recarga usando o método a um nível de corrente e um nível de tensão.**  
Fonte: Lazzarin (2006).

- Método de dois níveis de corrente

Neste método impõe-se somente dois níveis de corrente sem impor nenhum nível de tensão. Inicialmente é aplicado um nível de corrente mais alto para que o banco de baterias retorne a 90% de sua capacidade. O segundo nível, uma corrente de menor valor, é aplicado no banco de baterias para compensar a reação de auto descarga da placa positiva. A Figura 06 mostra o esquemático deste tipo de carga.



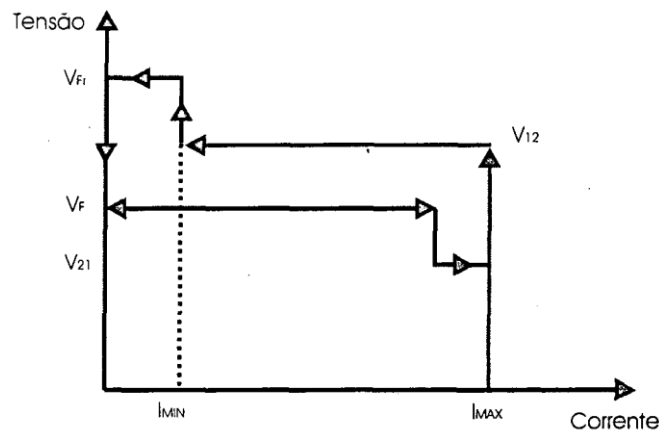
**Figura 06 – Método a dois níveis de corrente**  
Fonte: Coelho (2001).

- Método a dois níveis de corrente e um de tensão

Para esse método de carga a dois níveis de corrente têm-se dois estados de carga. No primeiro estado é aplicada uma corrente em torno de 10% da corrente nominal do banco de baterias até que a tensão sobre o banco de baterias esteja ligeiramente superior à nominal, mas sem chegar a uma tensão de sobrecarga.

No segundo estado, tira-se a aplicação de corrente constante e aplica-se uma tensão constante, fazendo com que no banco de baterias circule uma corrente de

retenção de aproximadamente 5% da corrente nominal. Quando a corrente atinge este valor, ela é mantida então constante e a tensão volta a crescer até que ela se estabilize. Estabilizada a tensão, a corrente torna-se nula, e a tensão passa a ser regulada em um nível de tensão de flutuação até que caia novamente a limites inferiores a  $V_{21}$ , quando então volta-se o estado de recarga da mesma. A Figura 07 mostra as etapas deste método de carga.



**Figura 07 – Método a dois níveis de corrente e um de tensão**  
**Fonte: Coelho (2001).**

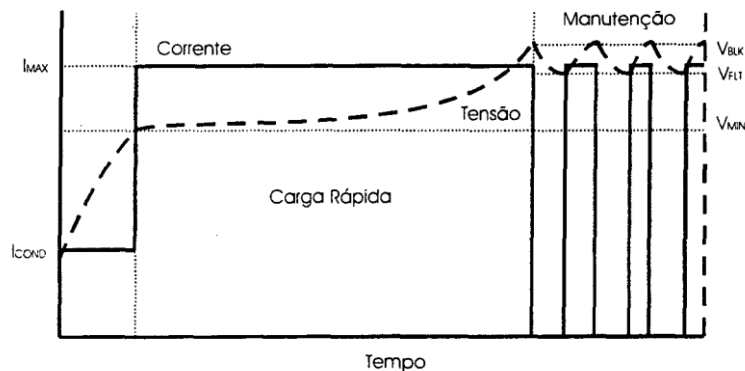
- Método de equalização com corrente pulsante

Neste método a corrente elétrica é controlada através de um relé liga/desliga, conforme mostrada na Figura 08. A carga é totalmente dependente da tensão final.

O controle é simples. Carrega-se a bateria até que a mesma atinja o valor final de tensão, neste momento a carga é interrompida e a bateria passa então a descarregar. Quando a tensão cair para a tensão de flutuação, a recarga é automaticamente acionada. A tensão da bateria volta a crescer ficando novamente no valor final de recarga e é novamente interrompido o ciclo de recarga, e assim sucessivamente.

Para o controle deste tipo de carga pode-se também optar por um temporizado liga/desliga com razão cíclica fixa, escolhida de acordo com a carga conectada à bateria.





**Figura 08 – Tensão e corrente no tempo: método da corrente pulsante**  
**Fonte: Coelho (2001).**

- Método Duplo Nível de Tensão

Este é o método aplicado na empresa em estudo, ele é chamado por Brosset (2004) de recarga ideal e divide-se em três fases, são elas:

- Primeira fase: Corrente constante: Aplica-se uma corrente constante aceita pelo banco de baterias ( $I_{MAX}$ ) e aguarda até a subida da tensão até a tensão de equalização, ponto quando acontece a decomposição do eletrólito. Ao final desta fase a bateria ficará com uma carga de aproximadamente 80% de sua capacidade nominal.
- Segunda fase: Tensão constante: A bateria passa então a ser alimentada por uma tensão constante enquanto a corrente começa a diminuir progressivamente até aproximadamente 1% da capacidade de corrente nominal do banco de baterias. Nessa fase a carga da bateria será completada até 100%. A tensão aplicada nesta etapa, chamada de tensão de equalização, é responsável por fazer todas as baterias ficarem com tensões parecidas em seus polos, ou seja, equalizadas.
- Terceira fase: Tensão de flutuação: Nesta fase a tensão é reduzida até chegar na tensão de flutuação da bateria, esta tensão compensa as próprias perdas químicas internas. A tensão de flutuação evita o risco de eletrólise.

Na Figura 09 verifica-se o gráfico da recarga por duplo nível de tensão.

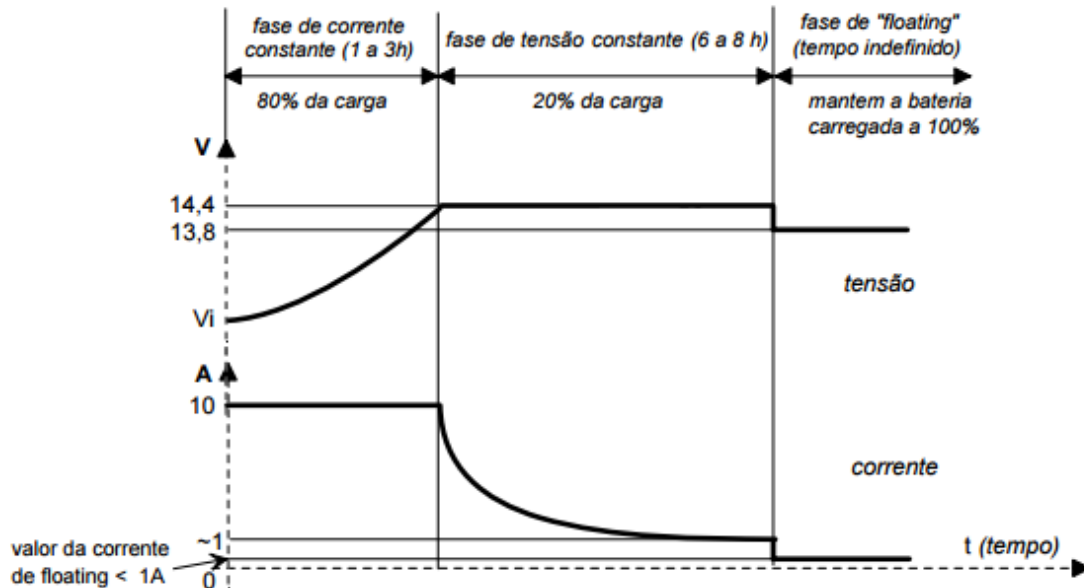


Figura 09 –Fases de carga com carregador ideal  
Fonte: Brosset (2004).

Segundo Brosset (2004) uma bateria deve ser mantida carregada. A tensão de flutuação pode ficar sobre a bateria por tempo indeterminado, esta tensão gera uma corrente elétrica muito baixa mas que já é o suficiente para compensar as perdas naturais da bateria e mantê-la completamente carregada.

### 2.3 CARREGADOR DE BATERIA

O carregador/retificador tem a função de repor de forma correta a energia do banco de baterias, para que possa ser utilizada posteriormente. Normalmente eles são divididos em três partes, transformador, retificador e controle.

A primeira parte, transformador, tem o objetivo de abaixar a tensão da rede elétrica para um valor compatível com o do banco de baterias. A segunda etapa, retificação, é onde ocorre a conversão de Corrente alternada (CA) para Corrente Contínua (CC) para alimentação do banco de baterias, ou seja, nesta parte a corrente elétrica passa a ser "polarizada". O carregador/retificador também conta com o sistema de controle, muitas vezes chamado de cérebro do carregador, o

controle é responsável pela curva de carga (descrita na Figura 09), ou seja, controla corrente, tensão e tempo, deixando o carregador automático e inteligente.

Resumindo ele realiza o monitoramento do sistema e toma decisões para que não seja extrapolado nenhum limite, protegendo o banco de baterias.

Gabiatti (1991) mostra um carregador de baterias em blocos na Figura 10.

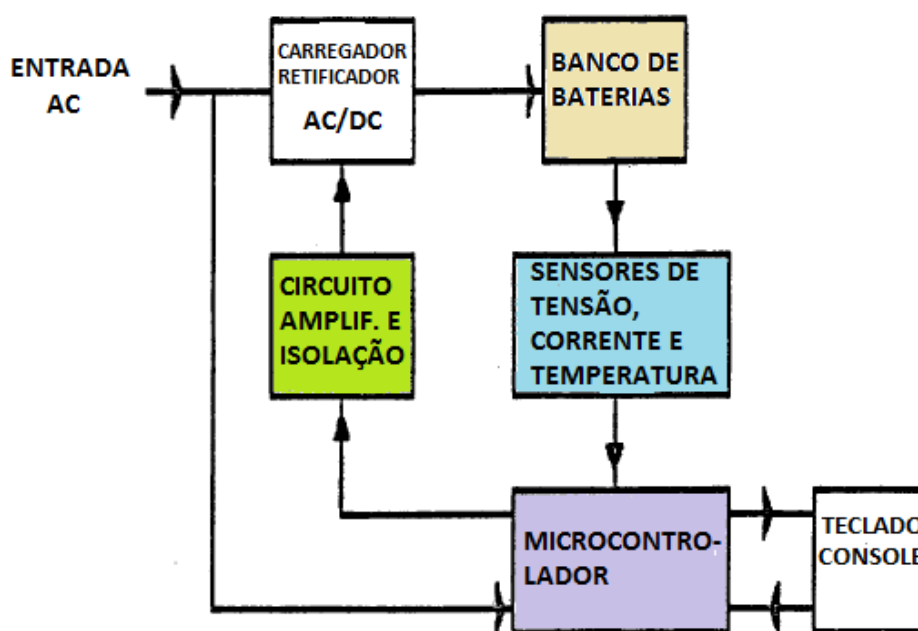


Figura 10 – Carregador de banco de baterias  
Fonte: Gabiatti (1991).

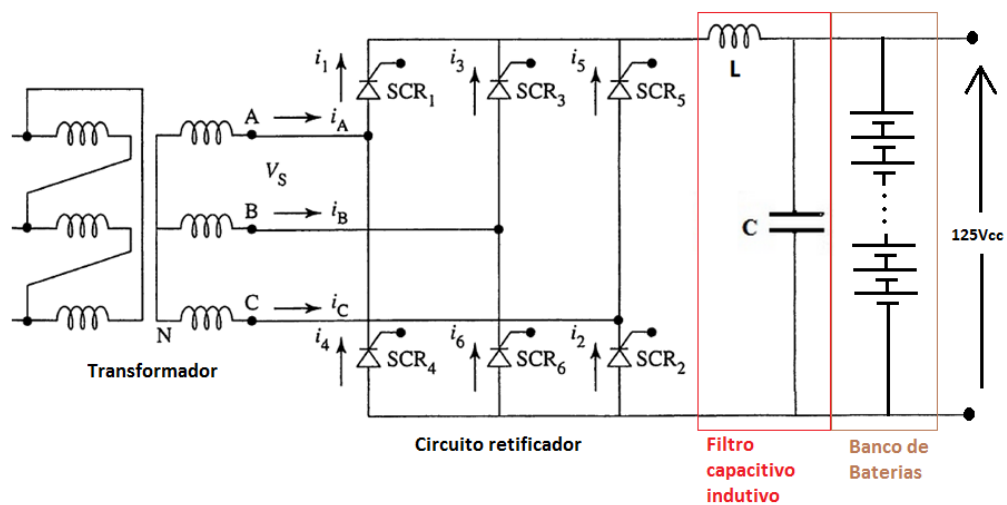
O carregador de baterias, além do sistema de retificação, é provido de um microcontrolador, que recebe sinal dos sensores que medem tensão, corrente e temperatura no banco de baterias, e realiza o controle da alimentação elétrica para o banco de baterias. Alguns carregadores também tem uma IHM (interface homem máquina) conforme mostrado na Figura 10.

O sistema de retificação utilizado pelos carregadores da Indústria Petroquímica é trifásico, de onda completa, tiristorizado e totalmente controlado com saída de 6 pulsos. A Indústria Petroquímica optou por este tipo de carregador pois a tensão de saída deste carregador atende as especificações para alimentação do banco de baterias e tem um custo/benefício melhor que os demais. Também levou-se em consideração que equipamentos menos complexos e com menos componentes eletrônicos tendem a ser mais confiáveis, como é o caso do retificador de 6 pulsos em relação ao de 12 pulsos.

Segundo a norma IEEE 1184 (2006), *Guide for Batteries for Uninterruptible Power Supply Systems*, o valor recomendado para ondulações no sinal de tensão CC (*ripple*) não deve ultrapassar o limite de 3,5% do valor nominal da tensão CC, pois uma ondulação maior que essa causará diminuição da vida útil das baterias.

Outro fator importante para a escolha entre o de 6 ou 12 pulsos é a questão do filtro de saída, pois para um mesmo carregador, quanto maior a potência requerida pelas cargas, maior deve ser o filtro para manter a oscilação de tensão de saída (*ripple*) dentro dos limites especificados pela norma, ou seja, para altas potências é razoável a escolha do carregador de 12 pulsos (ou mais), que possuem uma oscilação de tensão de saída menor, necessitando de um filtro menor. A Indústria Petroquímica tem carregadores considerados de média potência (100 à 300A), desta maneira foi possível atender as normas para oscilação de tensão de saída utilizando um filtro com tamanho reduzido.

A Figura 11 mostra um exemplo de circuito retificador trifásico de 6 pulsos totalmente controlado, com filtro indutivo/capacitivo na saída.



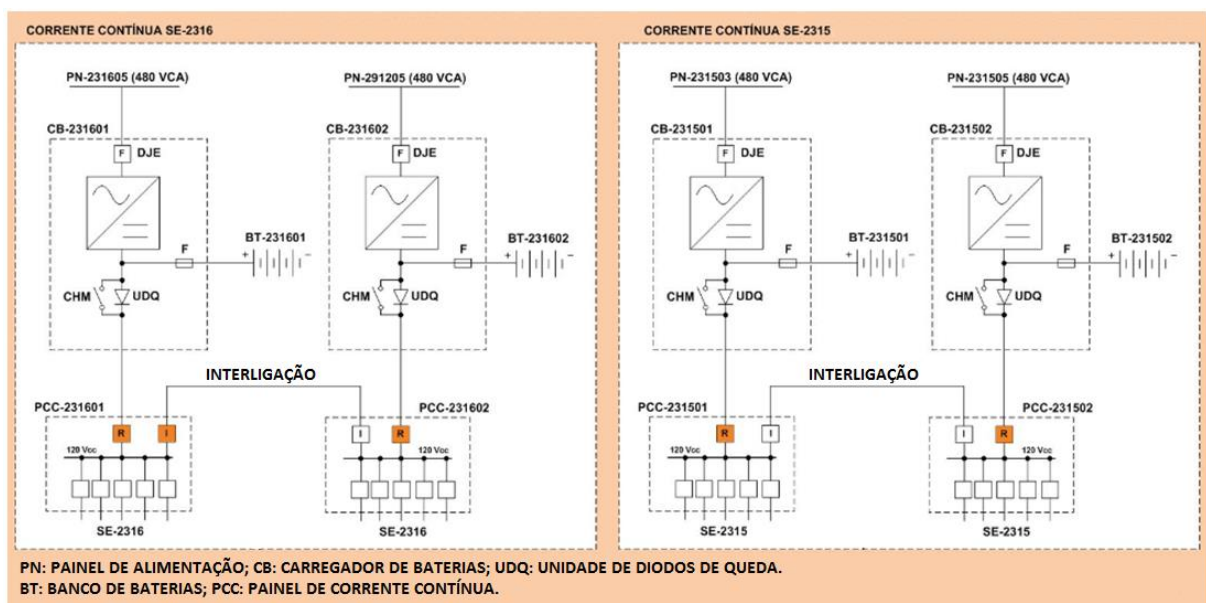
**Figura 11 – Retificador trifásico totalmente controlado**  
Fonte: Própria (2015).

## 2.4 UPS-CC: ESTRUTURA REAL DE UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Uma estrutura real de alimentação elétrica crítica em corrente contínua é mostrada na Figura 12, trata-se de uma configuração de UPS-CC utilizada na empresa em estudo. O sistema é composto por retificadores/carregadores, bancos de baterias, unidades de diodos de queda e pelos painéis de corrente contínua

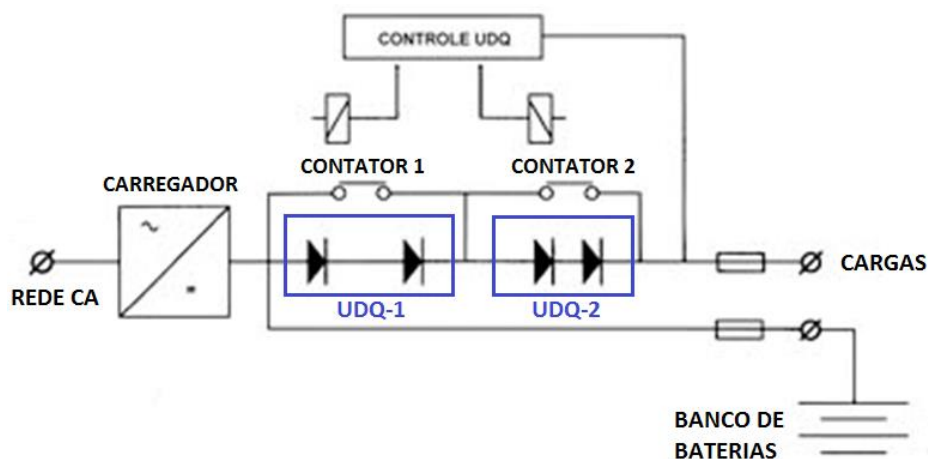
(PCC) que alimentam as diversas cargas críticas em corrente contínua (CC) das unidades de processo. O painel de corrente contínua contém os disjuntores de proteção dos circuitos das cargas elétricas (consumidores). Os PCC's apresentam a opção de interligação quando estão localizados na mesma subestação, como é o caso dos PCC-231601 e PCC-231602 que estão na SE-2316. Em condições normais de operação o disjuntor de interligação fica aberto, para reduzir o nível de curto circuito do sistema, sendo somente fechado em caso de manutenção em um dos carregadores ou em um dos bancos de baterias. Entre subestações próximas poderá haver a interligação dos PCC's, mas neste caso é necessário que a distância entre elas não ultrapasse os 300 metros, pois o custo de infraestrutura e materiais tornaria esta interligação inviável.

Na subestação SE-2316 os PCC-231601 e PCC-231602 alimentam as mesmas cargas, ou seja, as cargas que estão nos circuitos do PCC-231601 são as mesmas que estão no PCC-231602, neste caso dizemos que o PCC-231601 é espelho do PCC-231602. Da mesma maneira ocorre no sistema da subestação SE-2315. Isso introduz ao sistema o conceito de redundância, ou seja, caso um retificador/carregador falhe o outro assume as cargas imediatamente. Quando os dois carregadores estão em operação, ocorre uma divisão de cargas por eles, cada retificador/carregador fica com aproximadamente 30% à 40% de sua capacidade, na ocorrência da falha de um deles, o outro assume todas as cargas ficando com 60% à 80% de sua capacidade.



**Figura 12 – Exemplo de UPS-CC instalado em uma Indústria Petroquímica**  
**Fonte: Procedimento do sistema crítico da empresa em estudo (2015).**

Há casos em que a tensão para os consumidores pode se elevar, como é o caso da tensão de flutuação do banco de baterias ou a tensão de carga do banco de baterias (recarga do banco de baterias), porém as cargas não foram projetadas para este aumento de tensão e muitas vezes podem ocorrer falhas nestas cargas devido à sobretensão, para que isto não ocorra, o carregador de baterias é provido de unidades de diodos de queda (UDQ), que são blocos com vários diodos ligados em serie que servem para dar uma queda de tensão e manter estável (dentro de uma faixa tolerável) o valor da tensão que alimenta as cargas. Em paralelo com as UDQ's existem contatores que controlam quando as unidades de diodos de queda entram ou saem de operação. A Figura 13 mostra um sistema com duas unidades de diodos de queda (UDQ-1 e UDQ-2).



**Figura 13 – Carregador com unidades de diodos de queda na saída para as cargas**  
 Fonte: Catálogo de carregadores de baterias Tectrol (2015).

No caso da empresa em estudo, a tensão de flutuação das baterias chumbo-ácido é de 132 Vcc, e a tensão nominal de alimentação das cargas é de 125 Vcc, ou seja, devo ter na UDQ-1 uma queda de tensão de 7 Vcc, como cada diodo possui uma queda de tensão de aproximadamente 0,7 Volts, deverá ser utilizado 10 diodos. Já para o caso de carga elétrica do banco de baterias, quando a tensão é de 144 Vcc, é necessário a entrada no circuito da UDQ-2 em série com a UDQ-1 para manter o nível de tensão nos consumidores (cargas) em aproximadamente 125Vcc. Neste caso é necessária uma queda de tensão de 19 Vcc, ou o equivalente à 27 diodos ligados em série, como a UDQ-1 já conta com 10 unidades de diodos, basta instalar 17 diodos na UDQ-2.

## 2.5 CONVERSORES

A eletrônica de potência, nos últimos anos, tem contribuído muito no desenvolvimento de novas tecnologias para processamento de energia. É muito comum hoje em dia ter uma disponibilidade de energia elétrica e convertê-la em outra para utilizá-la. De acordo com Lazzarin (2012), a eletrônica de potência está presente com os conversores CA-CC (retificadores), CC-CC (choppers), CC-CA (inversores) e CA-CA (gradadores ou conversores direto de frequência) para processar a energia de maneira adequada, otimizada e segura.

A eletrônica de potência tem se desenvolvido cada vez mais, ou seja, a cada dia os fabricantes fazem semicondutores melhores capazes de suportar elevados níveis de tensão e corrente. Além disso o desenvolvimento da tecnologia computacional e microeletrônica permitiram o aparecimento de técnicas de controle cada vez mais eficientes.

Os conversores CC-CA, que também são chamados de inversores, são equipamentos que alimentam cargas com correntes alternadas a partir de uma fonte de corrente contínua. O inversor é responsável pelo controle da amplitude e frequência da corrente e da tensão alternada disponibilizada. No caso de o inversor ser utilizado para alimentação de cargas CA a tensão e frequência tem valores fixos.

Normalmente o controle destes inversores é feita por PWM (*Pulse Width Modulation*) de dois ou três níveis, neste caso o inversor também é chamado de inversor PWM.

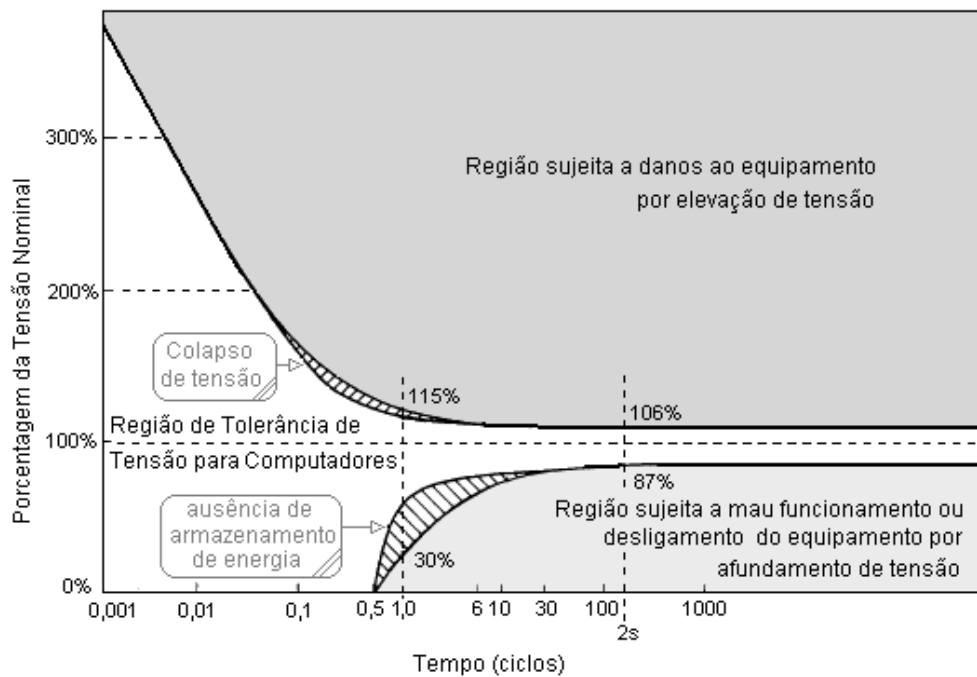
Os inversores alimentam cargas críticas e precisam oferecer alta confiabilidade à estas cargas e para isso é possível utilizá-las de maneira paralela para obter os sistemas de redundância e desta maneira aumentar a confiabilidade. Uma solução muito boa é trabalhar com inversores modulares e totalmente independentes uns dos outros.

Especialmente para equipamentos eletro/eletrônicos e computação, são estabelecidas algumas normas quanto à qualidade da energia para suprir estes equipamentos. Como nosso sistema é crítico não queremos que o próprio inversor cause a falha, se operar de modo errado, por exemplo, com uma sobretensão, desta maneira a construção do inversor deve seguir algumas regras e normas para uma qualidade de energia, como é o caso da norma IEEE 446 (1995) que mostra

algumas curvas para prática recomendada para sistemas de alimentação de emergência em aplicações industriais e comerciais.

As curvas definem os limites dentro do qual deve estar a tensão que irá alimentar as cargas críticas de um sistema de emergência, quando a tensão de alimentação sai fora destes limites entra em operação, praticamente instantaneamente os inversores, alimentando as cargas com uma tensão correta de operação.

Na Figura 14, retirada da norma IEEE 446 (1995) mostra que a tensão deve estar limitada em uma sobretensão de 6% e uma subtensão de 13% quando em regime. Além disso ainda é muito importante o tempo que acontece a perturbação, sendo que quanto menor o tempo maior é a suportação desta perturbação pela carga.



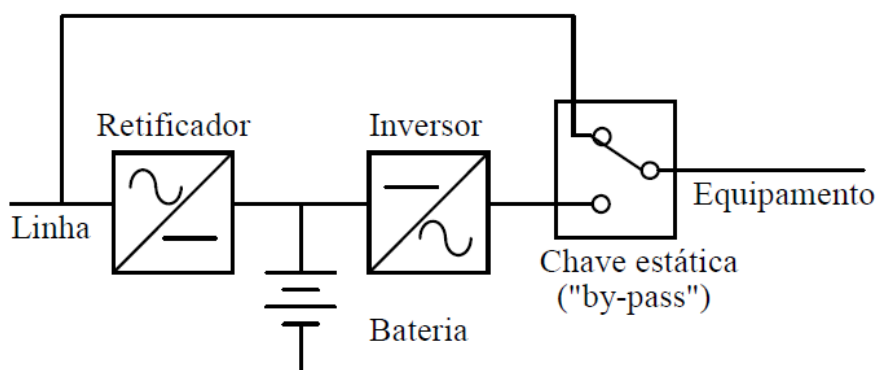
**Figura 14 – Envelope de tolerância de tensão típico para sistemas críticos**  
**Fonte: Norma IEEE 446 (1995).**

### 2.5.1 Conversores CC-CA

O conversor CC-CA de tensão é o mais comum e o mais empregado nas indústrias. Neste inversor o sinal de tensão na saída comporta-se como uma fonte de tensão alternada, com valor médio igual a zero.



A tensão CC na entrada do inversor é normalmente adquirida de um retificador interligado a um banco de baterias conforme a Figura 15.



**Figura 15 – Modelo de instalação de Inversor CC-CA**  
**Fonte: Pomilio (2014).**

Onde “Linha” é a rede da concessionária e “Equipamento” são as cargas críticas do sistema a ser alimentado.

### 2.5.2 Conversores monofásicos CC-CA

Segundo Pomilio (2014) o conversor é o principal constituinte de uma UPS, já que é este que determina a qualidade da energia fornecida as cargas.

O conversor deve fornecer uma tensão alternada, que mesmo com variações na alimentação elétrica CC, mantém a tensão de saída para as cargas com a frequência e amplitude constantes.

Considerando que o sistema estudado na indústria Petroquímica trata-se de alimentação de cargas elétricas críticas monofásicas, ou seja, alimentadas por conversores CC-CA monofásicos será dado ênfase ao estudo dos mesmos. Pomilio (2014) mostra três tipos de conversores monofásicos, são eles:

- a) Conversor monofásico com saída onda quadrada;
- b) Conversor monofásico com saída onda quase quadrada;
- c) Conversor monofásico Modulação por largura de pulso (MPL);

Dentro da esfera de conversão monofásica por largura de pulso é possível encontrar os seguintes tipos:

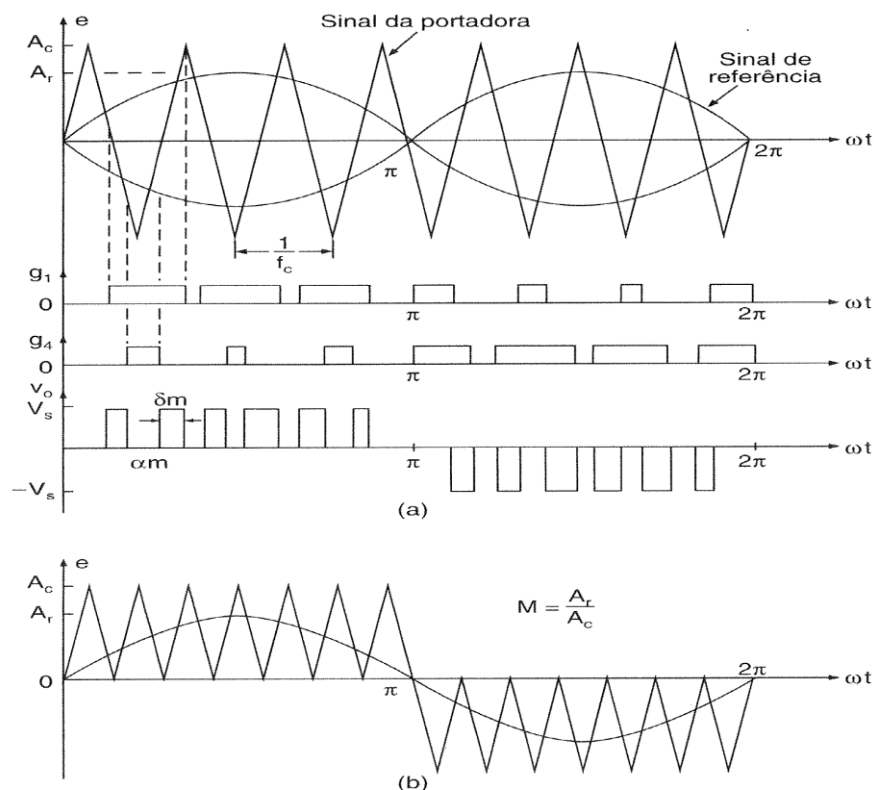
- Modulação por largura de pulso único;
- Modulação por largura de pulsos múltiplos;
- Modulação por largura de pulsos senoidal;

- Modulação por largura de pulsos senoidal modificada;

Os conversores CC-CA da Indústria Petroquímica utilizam a conversão monofásica por largura de pulso senoidal.

Neste modelo ocorre a variação da largura de cada pulso em proporção à amplitude de uma onda senoidal, analisada no centro do mesmo pulso. Os sinais de comando mostrados na Figura 16 (a), são gerados em comparação de um sinal de referência senoidal com uma onda portadora triangular. Este tipo de modulação é comumente utilizado em aplicações industriais. Neste modelo a frequência de saída do inversor é determinada pela frequência do sinal de referência. O número de pulsos por semiciclo dependerá da frequência da portadora.

Dentro da restrição de que dois MOSFET's ou IGBT's do mesmo ramo não podem conduzir ao mesmo tempo, a tensão de saída é mostrada na Figura 16 (a). Os mesmos sinais de comando podem ser gerados usando onda portadora triangular unidirecional como mostrado na Figura 16 (b).



**Figura 16 – Modulação por largura de pulsos senoidal**  
**Fonte: Rashid (1999).**

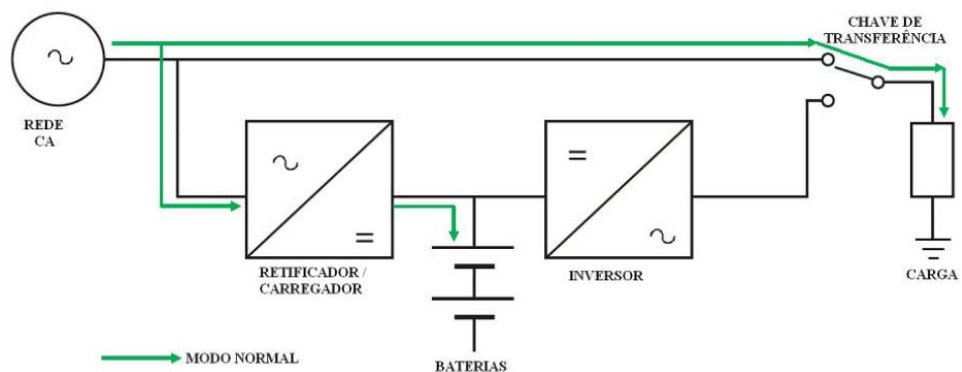
Como as cargas da Indústria Petroquímica não aceitam o sinal pulsado, do chaveamento dos IGBT's, é utilizado entre os inversores e os consumidores um filtro, que na empresa estudada é um transformador, que faz com que a saída do inversor seja uma onda senoidal.

### 2.5.3 Classificação da topologia das UPS e inversores

A norma IEC 62040-3 (1999) define três tipos de topologias, que são: *Passive Standby*, *Line Interactive* e *Double Conversion*. No Brasil, a norma NBR 15014 (2003) também define três tipos de topologias, sendo *Standby*, *Interativo* e *On-line*. Vejamos abaixo cada uma destas topologias.

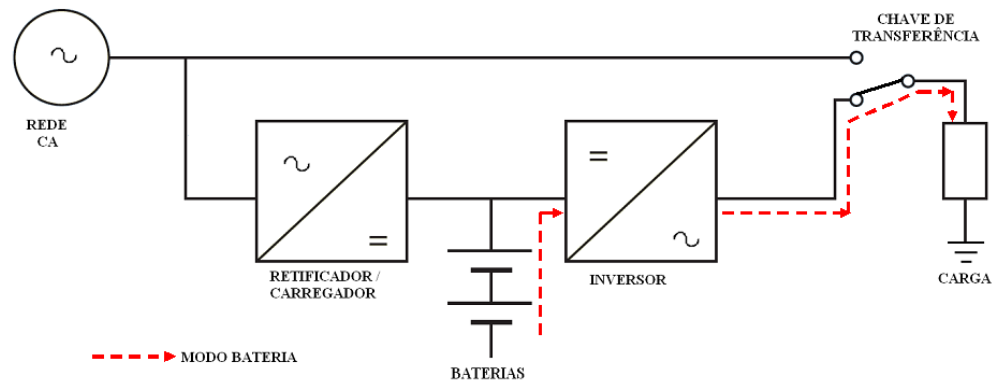
#### 2.5.3.1 Topologia *Passive Standby*

Nesta topologia é possível ter dois modos de funcionamento: modo normal e modo bateria. No modo normal de operação a carga está sempre alimentada pela rede de energia CA através de uma chave estática conforme mostrado na Figura 17. No modo normal a bateria fica em flutuação, alimentada pelo carregador e o inversor permanece em espera.



**Figura 17 – Diagrama de blocos dos UPS *Passive Standby*, funcionamento normal**  
**Fonte: Gonçalves (2008).**

Quando ocorre uma falha de energia da rede de energia CA, o circuito de controle detecta o evento e aciona a chave estática para que os consumidores passem a ser alimentados pelas baterias e pelo inversor conforme mostrado na Figura 18. Neste momento diz-se que o UPS está operando no modo bateria.



**Figura 18 – Diagrama de blocos dos UPS *Passive Standby*, funcionamento no modo bateria**  
**Fonte: Gonçalves (2008).**

As vantagens deste tipo de topologia são:

- Projeto simplificado se comparado as outras duas;
- Menor custo se comparado as outras duas;
- Dimensão menor do equipamento se comparado as outras duas;

As desvantagens são:

- Não regulação da tensão de saída;
- Não isolação da carga em relação à rede;

### 2.5.3.2 Topologia *Line Interactive* (Linha Interativa)

Nesta topologia o inversor é bidirecional, ou seja, atua como carregador CA/CC e alimenta o banco de baterias, no modo normal, e como inversor CC/CA, no modo bateria. Este tipo de topologia reduz as perdas e energia e aumenta a eficiência do UPS, já que existe um único estágio de conversão de energia.

É possível ter três modos de operação: modo normal, modo bateria e modo by-pass. No modo normal a rede de energia CA alimenta a carga e alimenta o banco de baterias através do inversor bidirecional, que nesta fase está operando como carregador. Verifica-se que entre a carga e a rede de energia CA encontra-se um condicionador de energia que pode ser um indutor de acoplamento, um regulador de tensão ou um transformador. A Figura 19 mostra o UPS trabalhando em modo normal.

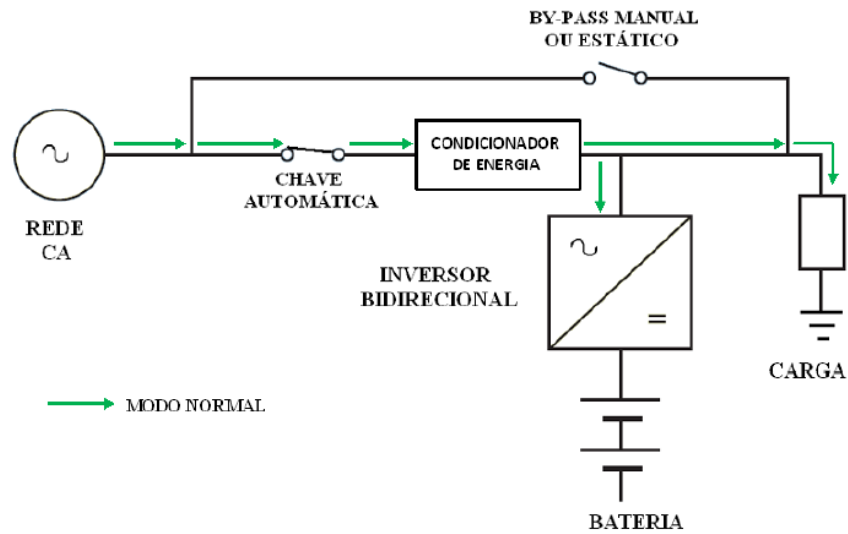


Figura 19 – Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionamento no modo normal  
Fonte: Gonçalves (2008).

Quando ocorre uma falha na rede de energia CA, a chave automática é aberta e a carga passa a receber alimentação do banco de baterias conforme mostrado na Figura 20.

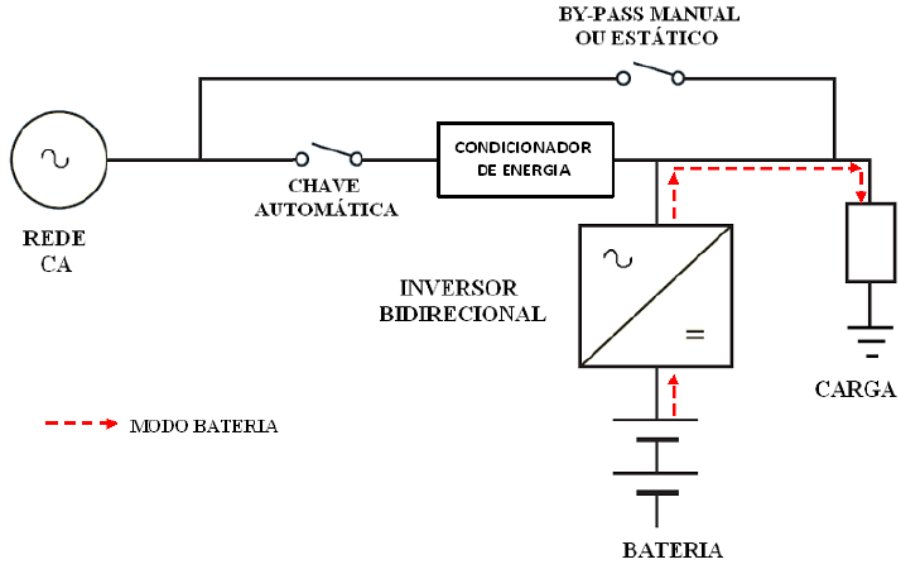


Figura 20 – Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionamento no modo bateria  
Fonte: Gonçalves (2008).

O terceiro modo de operação é o *by-pass*, é utilizado quando deseja-se realizar a manutenção do sistema do UPS. Usa-se então a chave *by-pass* manual ou estática para alimentar a carga diretamente da rede de energia CA sem passar pelo sistema UPS conforme mostrado na Figura 21.

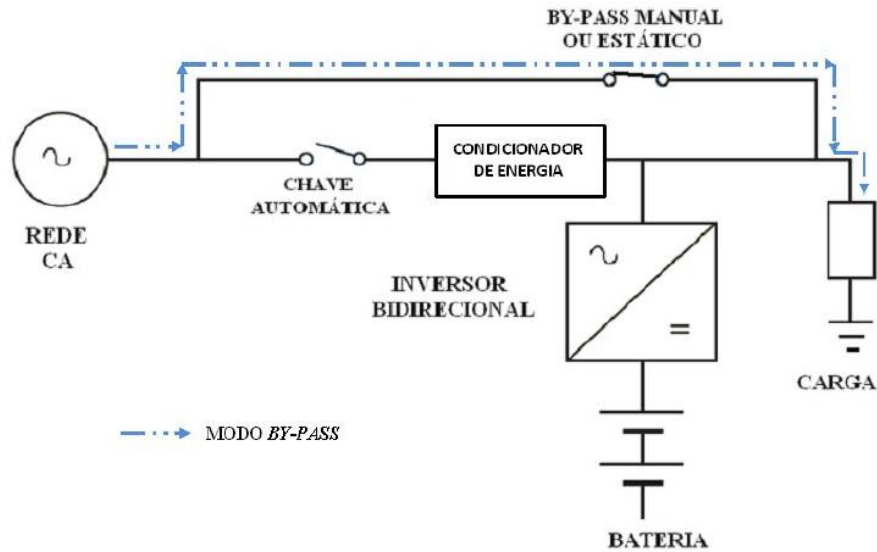


Figura 21 – Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionamento no modo *by-pass*  
Fonte: Gonçalves (2008).

As vantagens deste tipo de topologia:

- Melhor desempenho se comparado com a *Passive Standby*;
- Melhor isolação se comparado a *Passive Standby*;
- Melhor regulação da tensão de saída se comparado a *Passive Standby*;
- Baixo custo se comparado a UPS Dupla Conversão;

As desvantagens são:

- Regulação de saída limitada pelo condicionador de energia;
- Não regulação da frequência de saída;

### 2.5.3.3 Topologia *Double Conversion* (Dupla Conversão)

Esta topologia também é conhecida pelo termo “*on-line*”. Nesta topologia é possível ter três modos de operação: modo normal, modo bateria e modo *by-pass*. No modo normal, a energia da rede é convertida duas vezes, uma no retificador/carregador e outra inversor, daí o nome da topologia ser Dupla Conversão. A Figura 22 mostra o caminho natural da energia no modo normal de operação.

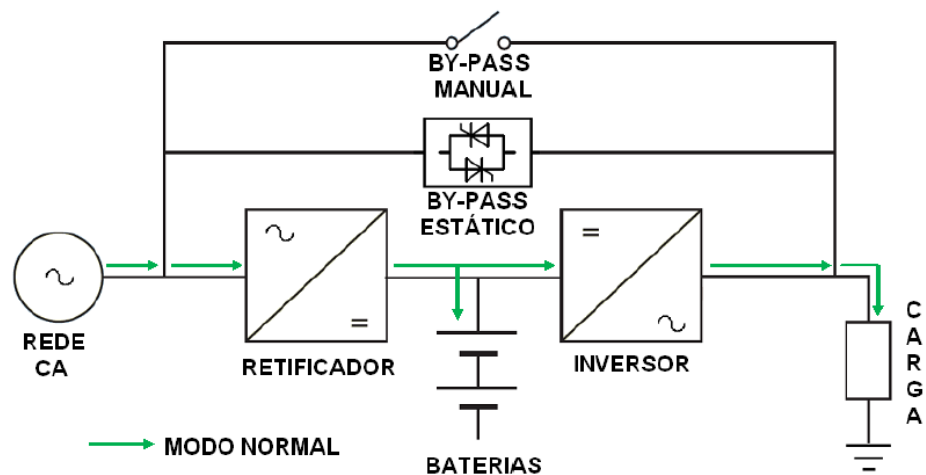


Figura 22 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo normal  
Fonte: Gonçalves (2008).

Quando ocorre algum tipo de falha na rede de energia CA ou retificador/carregador, as cargas passam automaticamente a serem alimentadas pelo banco de baterias conforme mostrado na Figura 23.

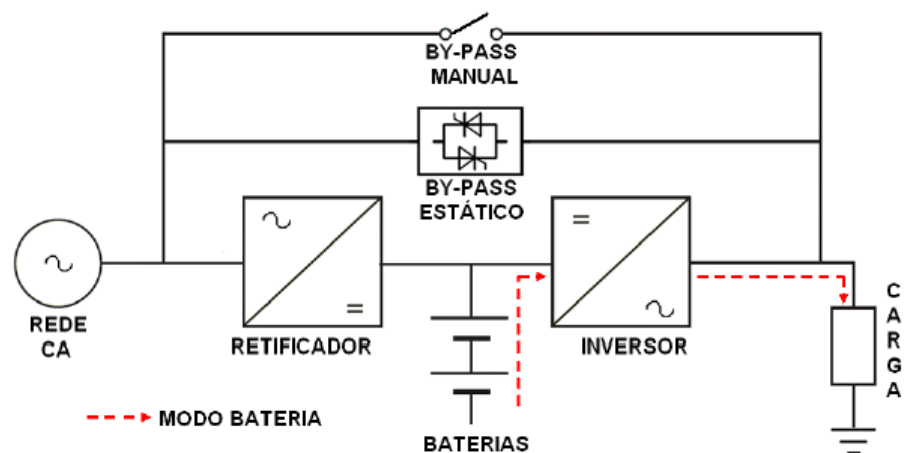


Figura 23 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo bateria  
Fonte: Gonçalves (2008).

Porém se a falha for no inversor é necessário que haja uma transferência de alimentação das cargas do UPS para a rede de energia CA, esta transferência é feita quase que instantaneamente pela chave estática (*by-pass* automático). Para diminuir o tempo de transferência é necessário que o sistema esteja com as tensões de saída do inversor e da rede CA em sincronismo, caso contrário pode-se levar mais tempo para que a chave estática faça a transferência. Desta maneira as cargas ficam alimentadas pela rede CA conforme mostra a Figura 24.

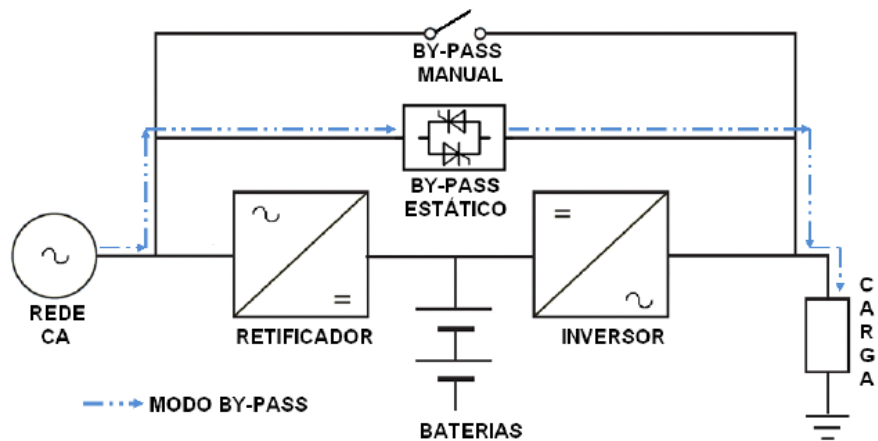


Figura 24 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo *by-pass* automático  
Fonte: Gonçalves (2008).

Além do *by-pass* automático este sistema conta com o *by-pass* manual que é utilizado para realizar a manutenção do sistema UPS. A operação pelo *by-pass* manual é mostrada na Figura 25.

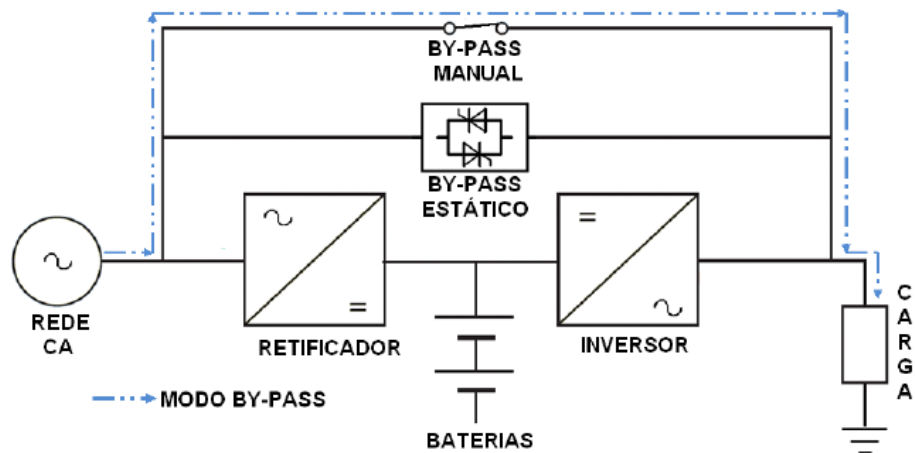


Figura 25 – Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionamento no modo *by-pass* manual  
Fonte: Gonçalves (2008).

As vantagens deste tipo de topologia:

- Isolação da carga frente a fenômenos de distúrbios na rede CA;
- Ótima regulação de tensão na saída do equipamento;
- Em caso de falha da rede CA a transferência para o modo bateria é instantâneo, não perceptível pela carga;

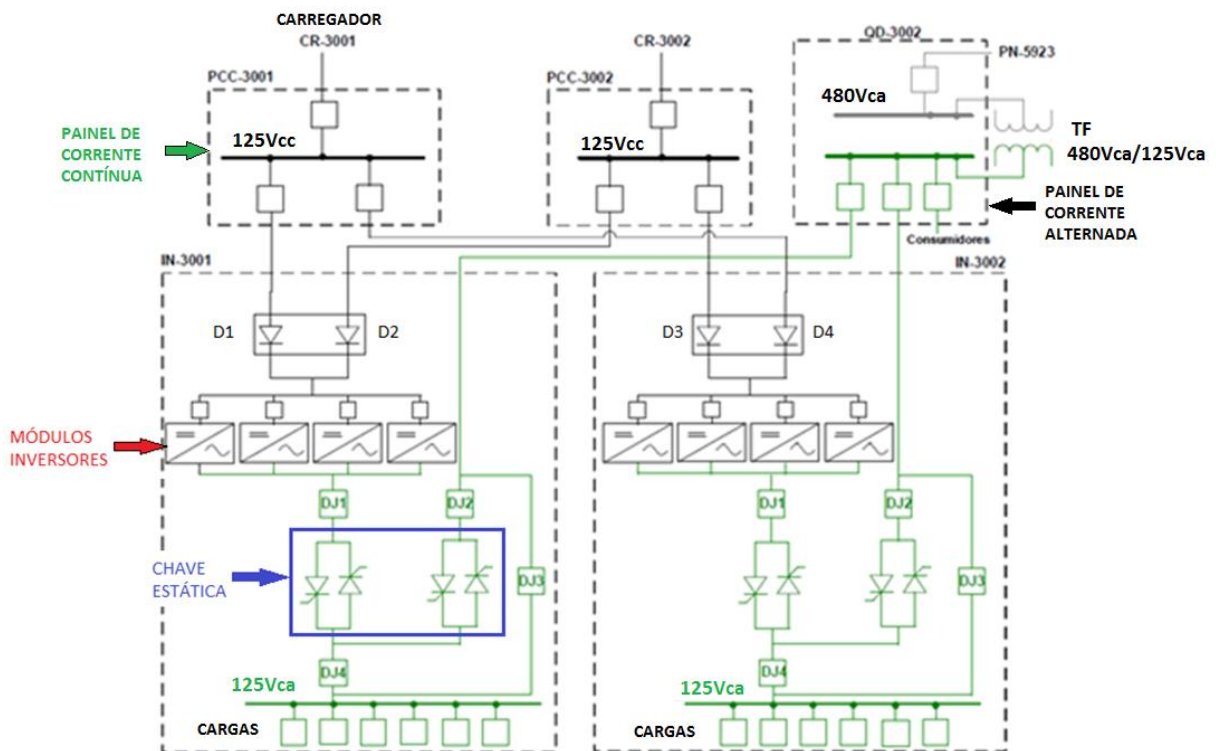
As desvantagens são:

- Alto custo se comparado as outras duas;
- Rendimento menor devido à dupla conversão;



## 2.6 UPS-CA: ESTRUTURA REAL DE UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

No caso de indústrias Petroquímicas que possuem cargas críticas normalmente é utilizada a configuração Dupla Conversão. Esta configuração tem um controle melhor da tensão de alimentação das cargas, uma vez que a tensão é controlada e estabilizada pelo inversor. Neste caso a alimentação provém sempre do inversor, somente quando ocorre alguma falha no inversor a alimentação das cargas é transferida para a rede. A transferência do inversor para a rede CA é realizada pela chave estática em menos de  $\frac{1}{4}$  de ciclo da onda senoidal (4 ms). No caso da empresa em estudo, onde a tensão de saída do inversor fica em sincronismo com a rede CA, esta transição é realizada em aproximadamente 1 ms (valor medido na prática). A Figura 26 mostra um exemplo de esquema elétrico de uma UPS-CA de uma indústria Petroquímica.



**Figura 26 – Exemplo de UPS-CA instalado em uma Indústria Petroquímica**  
 Fonte: Procedimento do sistema crítico da empresa em estudo (2015).

O sistema conta com os carregadores CR-3001, CR-3002 que alimentam os bancos de baterias e os PCC-3001 e PCC-3002. Os PCC's alimentam as cargas críticas em corrente contínua (CC) e também alimentam os módulos inversores

(conversores CC-CA) que por sua vez alimentam as cargas críticas em corrente alternada (CA), porém entre os módulos inversores e as cargas CA temos a chave estática (chave de transferência automática) que recebe a alimentação elétrica dos módulos inversores e da rede da concessionária.

Os diodos D1, D2, D3 e D4 tem a função de proteger o sistema contra diferentes níveis de tensão entre os barramentos de corrente contínua dos PCC-3001 e PCC-3002 e também isolam os PCC's no caso de curto circuito em um dos barramentos CC, desta maneira o nível de curto circuito do sistema não é aumentado.

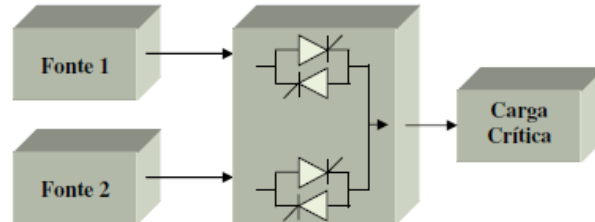
O sistema dos inversores é modular, ou seja, cada rack contém 3 módulos de inversores além do sistema de controle que mantém todos os módulos ligados em paralelo sincronizados com a rede. Este sistema permite a manutenção a quente dos módulos de inversores, podendo sair para manutenção até 2 dos 3 módulos, ou seja, o sistema foi projetado para que apenas 1 módulo seja capaz de suprir todas as cargas. Quando o rack está com mais módulos a carga é dividida de maneira igualitária entre todos os módulos.

## 2.7 CHAVE ESTÁTICA

Segundo Deus (2011) a chave estática tem como função principal a continuidade do fornecimento de energia à carga em locais em que estejam disponíveis pelo menos duas fontes de energia denominadas de fonte preferencial e fonte alternativa. A diferença destas fontes é que a preferencial alimenta a carga através da chave estática e no caso da falha a chave comuta a sua saída para a fonte alternativa.

No caso da empresa estudada, onde a topologia utilizada é inversor prioritário, a chave estática tem outra função importante que é a coordenação para o curto circuito da carga, ou seja, como o inversor não tem potência o suficiente para abrir o circuito em caso de curto circuito na carga, ocorre um afundamento de tensão, neste momento a chave estática comuta, sem impactar as outras cargas fazendo com que a rede abra o circuito que está em curto. Ela também tem a função de facilitar a liberação total do inversor para manutenção, pois através dela é possível realizar a comutação entre inversor e rede com maior segurança e após está transferência realizar a liberação do inversor.

A Figura 27 mostra o diagrama esquemático de uma chave estática de transferência.



**Figura 27 – Diagrama de blocos de uma chave de transferência estática**  
**Fonte: Deus (2011).**

Em aplicações de alta confiabilidade é normal o emprego de chaves estáticas nos sistemas de UPS, de modo a garantir a alimentação da carga quando da ocorrência de alguma falha interna à UPS ou em situações de manutenção preventiva do equipamento. Atualmente a chave estática tem sido empregada para substituir os sistemas eletromecânicos com o objetivo de aumentar a velocidade de comutação entre os alimentadores.

Segundo Pomilio (2014) basicamente existem dois modos de implementar esta chave, usando tiristores ou reles eletromecânicos.

Normalmente relés são utilizados quando se quer chaves de baixo custo. Sua comutação deve ser bem rápida, de modo a não interromper a alimentação por mais de  $\frac{1}{2}$  ciclo.

Já quando a potência cresce, o emprego de tiristores ou IGBT's é fundamental. Uma preocupação nesse caso, é garantir que as tensões da UPS e da rede tenham a mesma fase e amplitude no momento da comutação, para evitar que a corrente circule de uma fonte para outra.

Para Deus (2011) os semicondutores presentes nestas chaves devem ser robustos a ponto de suportarem tensões positivas e negativas, bem como permitir a circulação de corrente nos dois sentidos. Atualmente não existe um semicondutor único capaz de atender estes requisitos. Assim, o dispositivo típico de uma chave estática é resultante da associação de dois tiristores em antiparalelo. As chaves estáticas podem ser construídas com tiristores ou IGBT's e na Tabela 02 temos um comparativo entre estas duas tecnologias.

**Tabela 02 – Comparativo entre Tiristor e IGBT**

<b>Tiristor x IGBT</b>		
	<b>Tiristor</b>	<b>IGBT</b>
<b>Custo do Módulo</b>	Baixo	Alto
<b>Custo do Driver</b>	Baixo	Alto
<b>Estratégia de Controle</b>	Complexa	Simples

**Fonte: Deus (2011).**

### 3 NECESSIDADE DE UPS-CC/CA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Para o bom andamento de operação de uma refinaria é necessário que o sistema de controle da plantas petroquímicas esteja operando de forma adequada, este sistema, no qual fazem parte, o SDCC (sistema de controle digital distribuído), console de operação, instrumentação (válvulas de controle, BPCS – Sistema de Controle de Processo Básico, SIS - Sistema de Instrumentação de Segurança), iluminação de emergência e Sensores de Gás são sistemas críticos para a operação das plantas sendo muito exigidos principalmente em paradas de emergências. Estes sistemas devem continuar operacionais mesmo com a falta de energia elétrica da rede elétrica da concessionária ou dos geradores elétricos da empresa, portanto são alimentados pelo SEC. O SEC deve permanecer com suas funções normais de operação em caso de qualquer problema elétrico na indústria Petroquímica. Abaixo estão citados algumas das falhas que podem ocorrer com a rede de energia da concessionária:

- I – Falta ou blecaute;
- II – Flutuação com subtensão;
- III – Flutuação com sobretensão;
- IV – Variação de frequência;
- V – Surtos causados por raios e chaveamentos.

Basicamente as cargas críticas da indústria Petroquímica, alimentadas pelo SEC, são análogas para todas as unidades de processo, ou seja, todas as unidades operacionais terão as cargas críticas, mostradas na lista abaixo, alimentadas pelo SEC.

- a) Sistema de Iluminação de emergência (Somente cargas em CC);
- b) Sistema SDCC e automação (Cargas em CC e CA);
- c) Sistema instrumentado de segurança (Somente cargas em CC);
- d) Sensores de detecção gases inflamáveis (Somente cargas em CC);
- e) Disjuntores principais de painéis elétricos (Somente cargas em CC).

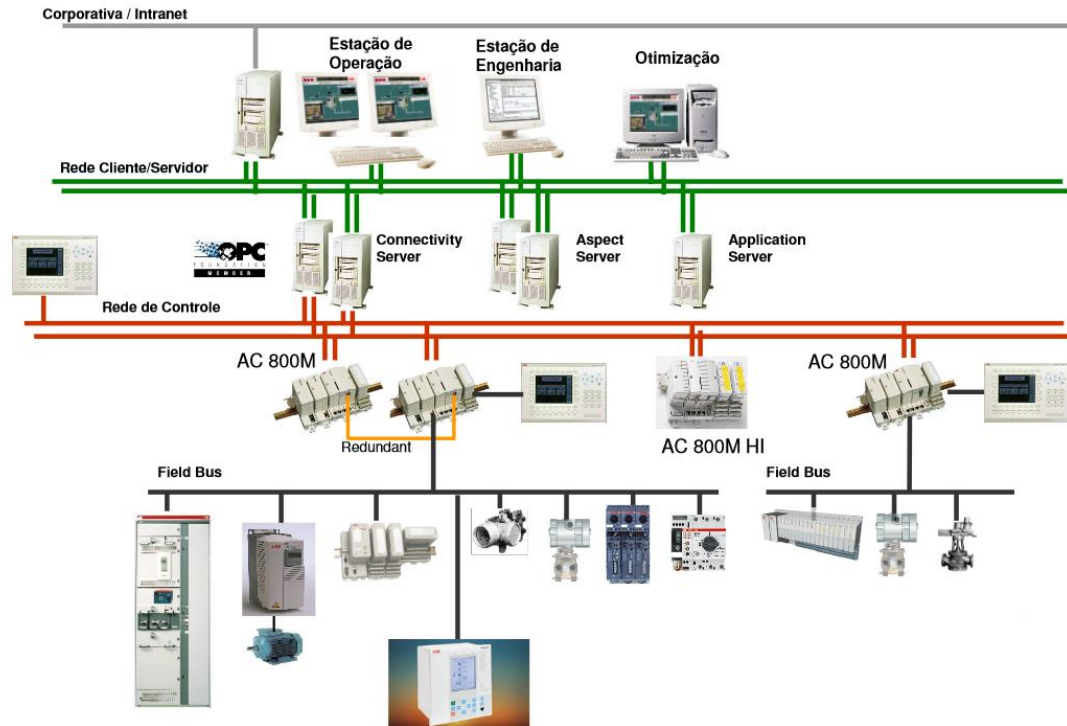
#### a) Sistema de iluminação de emergência

As unidades de processo são expostas ao tempo, de maneira que necessitam de iluminação artificial pois operam 24 horas por dia. No projeto de iluminação da unidade são projetadas algumas lâmpadas, que ficam instaladas em locais estratégicos das unidades operacionais, alimentadas pelo SEC e são denominadas iluminação de emergência. Em caso de emergência nas unidades operacionais há várias atividades de campo que o operador de área deverá realizar, principalmente ações em válvulas manuais, monitoramento de vazamentos, monitoramento quanto a presença de pessoas nas áreas onde está ocorrendo a emergência para retirá-las das áreas (conforme procedimento operacional das unidades de processo) e para o operador conseguir desenvolver estes trabalhos na área, o local deverá ter iluminação adequada. No caso da emergência por falta de energia elétrica, as luminárias de emergência ficarão acessas para o trabalho seguro do operador de área.

#### b) Sistema SDCD e Automação

O SDCD é um sistema de automação industrial que tem como função principal o controle do processo remotamente de forma a permitir a otimização da produtividade industrial, de modo a viabilizar a melhoria contínua da qualidade dos produtos, melhorar a precisão das operações e a segurança operacional. O SDCD é desenvolvido em forma de um pacote industrial que contempla o hardware, o software e a rede de comunicação. Suas funções são:

- Controle de processos;
- Controle avançado e otimização dos processos;
- Gerenciamento de alarmes;
- Sequenciamento de eventos.



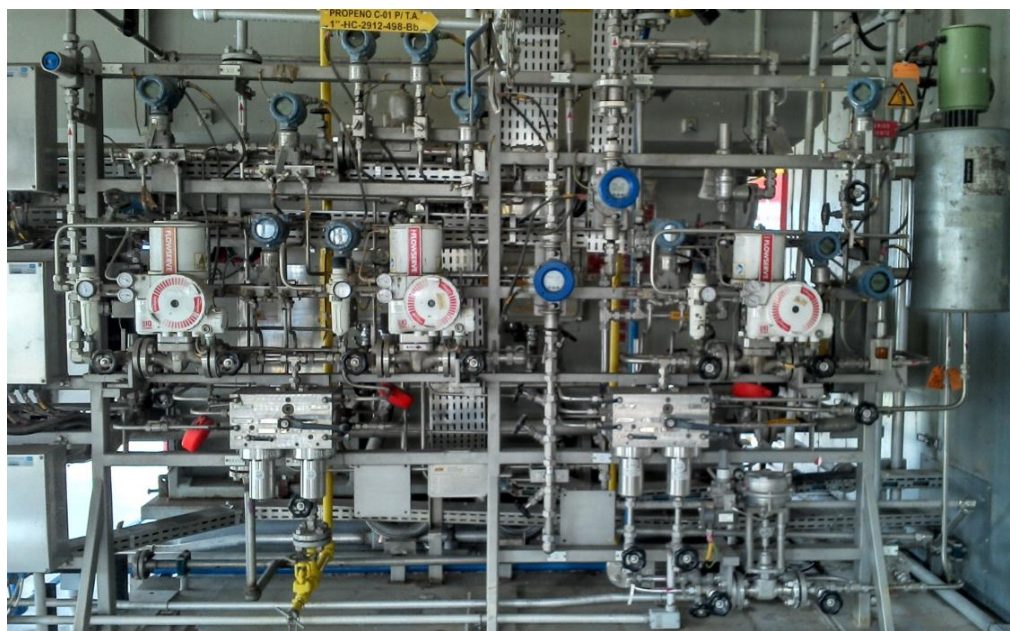
**Figura 28 – Hierarquia de automação de uma Refinaria**  
 Fonte: ABB (2006).

A hierarquia de um sistema de automação (SDCD) é mostrada na Figura 28, a rede de campo (*Field Bus*) interliga os instrumentos, sensores, válvulas e etc aos controladores de SDCD, que se comunicam, através da rede de controle, com os servidores, que por sua vez enviam dados às estações de engenharia, estações de operação (estação de trabalho) e otimização através da rede de cliente/servidor. A rede corporativa / intranet / extranet não é implementada em uma indústria Petroquímica por motivos de segurança.



**Figura 29 – Exemplo de estação de operação de uma unidade da Gerência de HRC**  
 Fonte: Própria (2015).

Na indústria Petroquímica a estação de trabalho, é o meio onde os operadores realizam o controle do processo. A Figura 29 mostra uma estação de trabalho na empresa em estudo, este sistema conta com uma CPU e quatro telas de computador onde encontram-se todos os dados do processo. Nelas encontram-se as telas gráficas do processo, os *trends* de variáveis de processo e a lista de alarmes.



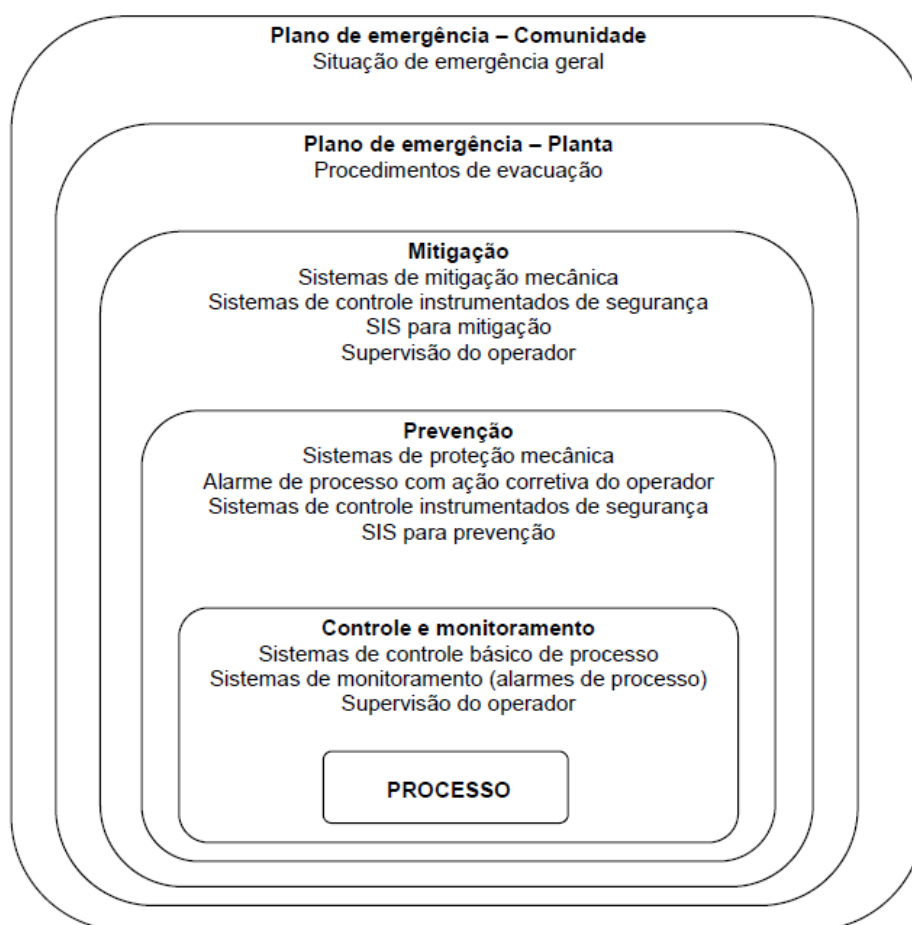
**Figura 30 – Sistema de instrumentação e controle das unidades de processo**  
Fonte: Própria (2015).

Também faz parte do SDCD os instrumentos de campo conforme mostrado na Figura 30, mais especificamente os instrumentos do sistema de controle de processo básico (BPCS). Estes instrumentos são diferenciados dos instrumentos do sistema instrumentado de segurança (SIS) por serem de cor azul e estarem ligados à rede *fieldbus*, enquanto os instrumentos do SIS são na cor laranja e não são ligados em rede, cada instrumento tem sua ligação independente.

Na Figura 31 é possível verificar os métodos típicos de redução de riscos em plantas de processo, podemos perceber que nos três primeiros métodos temos a ação do operador por meio do SDCD porém caso nenhuma ação for tomada provavelmente o risco aumentará podendo chegar no nível quatro ou cinco, sendo necessário o método evacuação e situação de emergência geral respectivamente.

Portanto é muito importante que o SDCD esteja sempre operacional para que o operador possa tomar ações afim de minimizar ou solucionar a emergência.



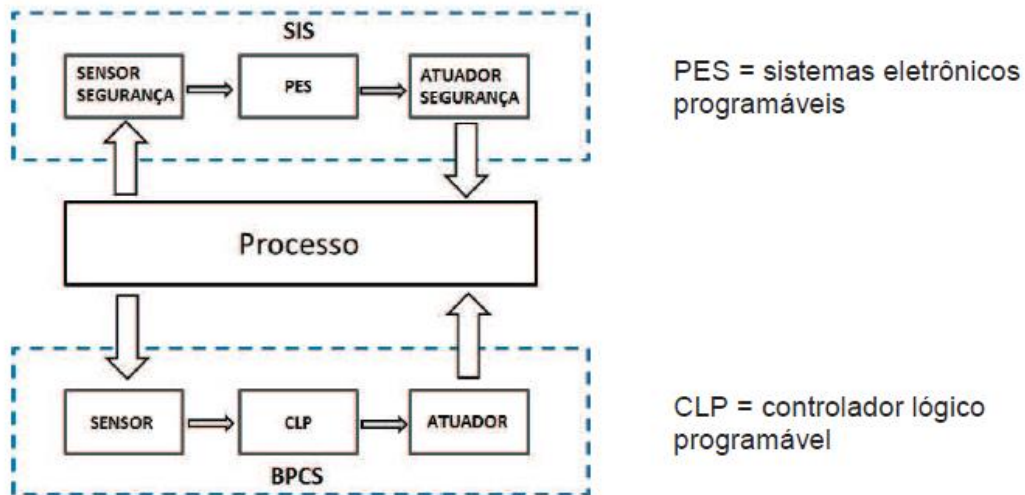


**Figura 31 - Métodos típicos de redução de riscos em plantas de processo**  
 Fonte: IEC 61511-3 (2003).

### c) Sistema instrumentado de segurança

O sistema instrumentado de segurança (SIS), que também é conhecido por sistema de desligamento de emergência (ESD – *Emergency shutdown system*) é um sistema responsável pela segurança industrial das unidades de processos bem como nos equipamentos presentes neles. Este sistema é responsável pela parada de emergência e é acionado quando as condições consideradas seguras para operação são ultrapassadas. Quando o SIS é acionado, o sistema desencadeia ações automáticas de parada de emergência no processo, essas ações visam minimizar os riscos e evitar acidentes garantindo assim a segurança das instalações, das pessoas e impactos ambientais.

Dada a importância do sistema SIS no caso de indústrias Petroquímicas ele é independente do sistema BPCS conforme mostra a Figura 32.



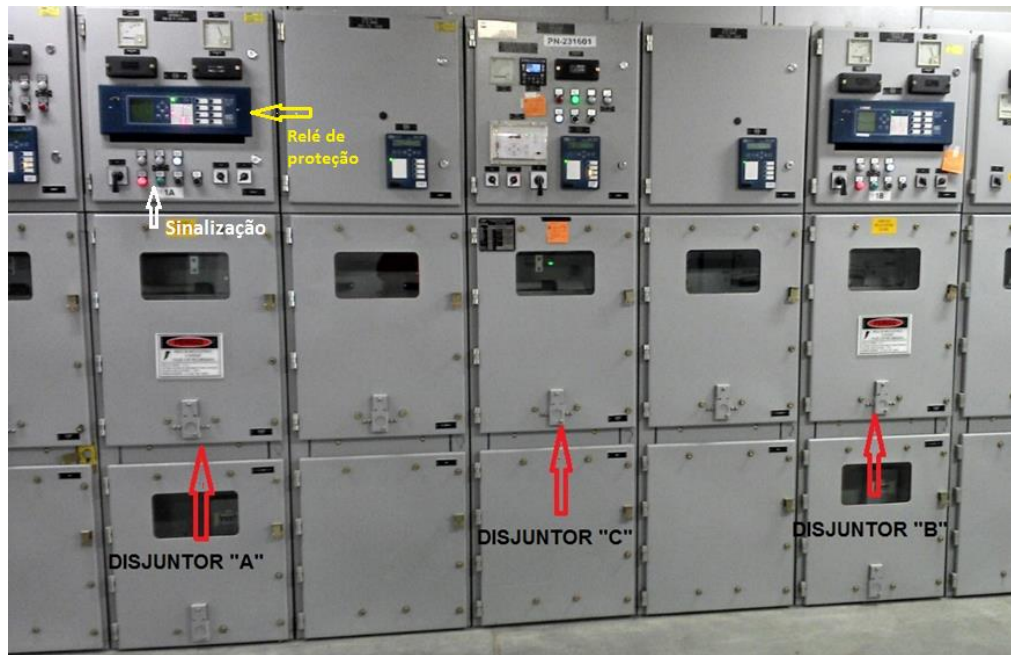
**Figura 32 - O SIS e o BPCS como sistemas independentes**  
**Fonte: Júnior (2011).**

d) Sensores de detecção gases inflamáveis;

Nos casos de emergência operacional, aumenta o risco de acidentes e conseqüentemente o risco de vazamentos de produtos inflamáveis. No caso de um vazamento, quanto antes ele for detectado maior as chances de conte-lo e controla-lo evitando que o acidente se agrave. A detecção é facilitada por dispositivos de reconhecimento de vazamento, também conhecidos como sensores detectores de gás, que quando identificam o vazamento geram um alarme no SDCD alertando o operador de console que tomará as medidas procedimentadas.

e) Disjuntores principais de painéis elétricos

É aplicado em disjuntores principais de painéis elétricos, cuja tensão é 2400V ou 480V, de alta potência. Os relés de proteção (responsáveis pelo monitoramento do sistema e por enviar o sinal de abertura dos disjuntores em caso de anormalidade com o sistema), a parte de comando dos disjuntores (bobinas de abertura e fechamento dos disjuntores), motor de carregamento de mola e sinalização devem permanecer operacionais em casos de emergência. A Figura 33 mostra um painel elétrico com os disjuntores principais "A", "B" e "C".



**Figura 33 – Disjuntores principais incluindo o de interligação**  
**Fonte: Própria (2015).**

## 4. CONCEITOS E ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE UPS's

### 4.1 CONFIABILIDADE

Segundo Lafraia (2001) confiabilidade é a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercer sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas.

Já para Wotecoski (2006), uma melhor definição para Confiabilidade seria a probabilidade de que um componente ou sistema cumpra sua função com sucesso, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas.

Conforme definição acima, Confiabilidade é função do tempo. Não faz sentido dizer que um componente ou equipamento tem maior confiabilidade que o outro, sem especificar para que período de tempo e sob quais condições de operação. A confiabilidade deve conter quatro estruturas fundamentais: probabilidade, comportamento adequado, período de uso e condições de uso.

### 4.2 ANÁLISE DE FALHAS

Dizer que um componente falhou significa para Filho (1996) dizer que ele parou de desempenhar a sua função. É importante fazer uma análise crítica das falhas para que as causas básicas sejam detectadas, interpretadas, inibidas, solucionadas e bloqueadas, com vistas a não ocorrência futura de eventos que contenham as mesmas causas. A análise de Falhas é o exame lógico e sistemático de um item ou equipamento ou de seu diagrama, a fim de analisar a probabilidade, causas e consequências de falhas reais ou potenciais, ainda, exame lógico e sistemático de um item que falhou, para analisar e identificar o mecanismo, a causa e a consequência da falha.

### 4.3 TAXA DE FALHAS

A norma IEEE-493 (2007) define o número médio de falhas de um componente por unidade de tempo de exposição. Normalmente o tempo de exposição é expresso em anos e a taxa de falhas é medida em falhas por ano (f/y). A taxa de falhas é representada por ( $\lambda$ ).

#### 4.4 TEMPO MÉDIO PARA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA (MTTR)

É a tradução do termo em inglês “*Mean Time to Repair*”, e segundo a IEEE-493 (2007) mede o tempo médio para reparo ou substituição de um componente em falha. Também é representado por  $(r)$  e normalmente é medido em horas por falha (h/f).

#### 4.5 TEMPO MÉDIO PARA FALHAR (MTTF)

Conforme a IEEE-493 (2007), o MTTF é tempo médio de exposição entre consecutivos reparos no qual o componente estará funcionando e sujeito a falhas. Este tempo é comumente utilizado para componentes não reparáveis. É o inverso da taxa de falhas e também denotado por  $(MTTF = 1/\lambda)$ .

#### 4.6 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF)

Segundo a norma IEEE-493 (2007) a tradução do termo em inglês “*Mean Time Between Failures*”, tempo médio de exposição do componente de um componente reparável entre duas falhas consecutivas. No caso de sistemas não reparáveis, ou quando  $(MTTR \ll MTTF)$  pode ser aproximado ao MTTF.

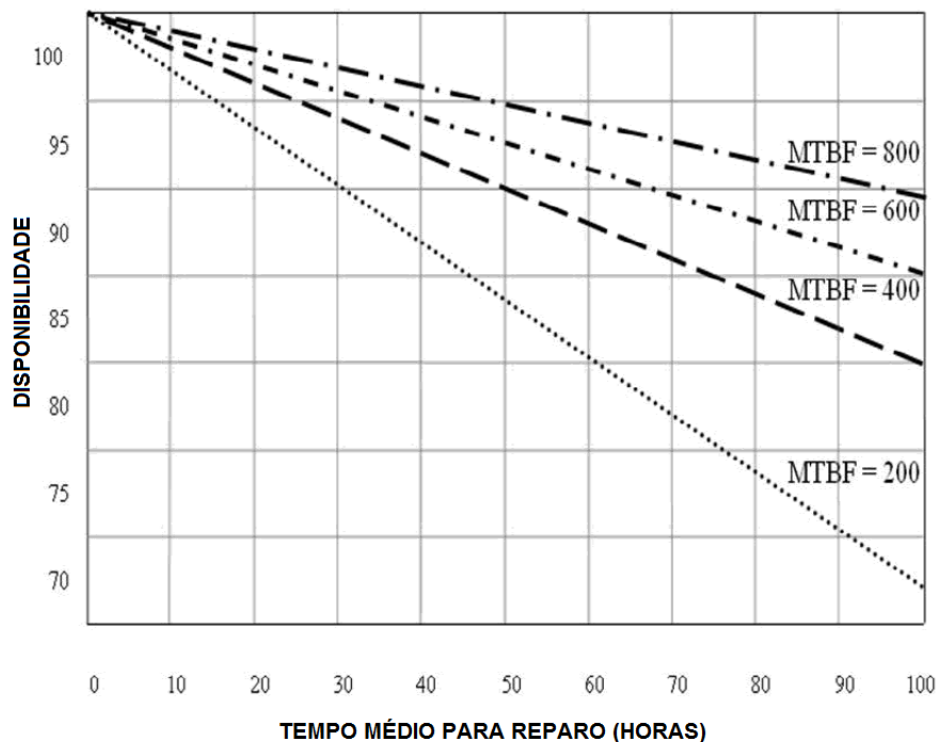
#### 4.7 DISPONIBILIDADE

Para Filho (2006), disponibilidade é a probabilidade de que um item possa estar disponível para utilização em um determinado momento ou durante um determinado período de tempo. É a capacidade de um item desenvolver sua função em um determinado momento, ou durante um determinado período de tempo, nas condições e rendimentos definidos. A disponibilidade de um item não implica necessariamente que esteja funcionando, mas que se encontra em condições de funcionar.

Disponibilidade é a fração de tempo (média) que um componente ou sistema permanece em serviço realizando satisfatoriamente todas as suas funções. A disponibilidade pode ser descrita matematicamente pela Equação abaixo.

$$D = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \quad (1)$$

Conforme a norma IEEE 493 (2007), se o sistema nunca falhou, o MTBF seria considerado infinito e D seria 100%. Ou, se teve um tempo de reparo do sistema muito curto, MTTR seria aproximadamente zero e, novamente, a disponibilidade será de 100%. A Figura 34 apresenta um gráfico que mostra a disponibilidade em função do MTBF e MTTR. Pode ser observado que se pode conseguir a mesma disponibilidade com diferentes valores de MTBF e MTTR. Com MTBF menor, MTTR são necessários menores tempos de MTTR para alcançar a mesma disponibilidade e vice-versa.



**Figura 34 – Curva de Comparativa entre MTBF, MTTR e Confiabilidade**  
**Fonte: IEEE 493 (2007) modificado.**

#### 4.8 CONFIGURAÇÕES SOBRE TRAXA DE FALHA

De acordo com Lafraia (2001), as falhas podem ser classificadas em relação ao tempo de acordo com o mecanismo que as originaram. O comportamento da taxa de falhas pode ser representado graficamente através da curva conhecida como curva da banheira, conforme mostrada na figura 35.

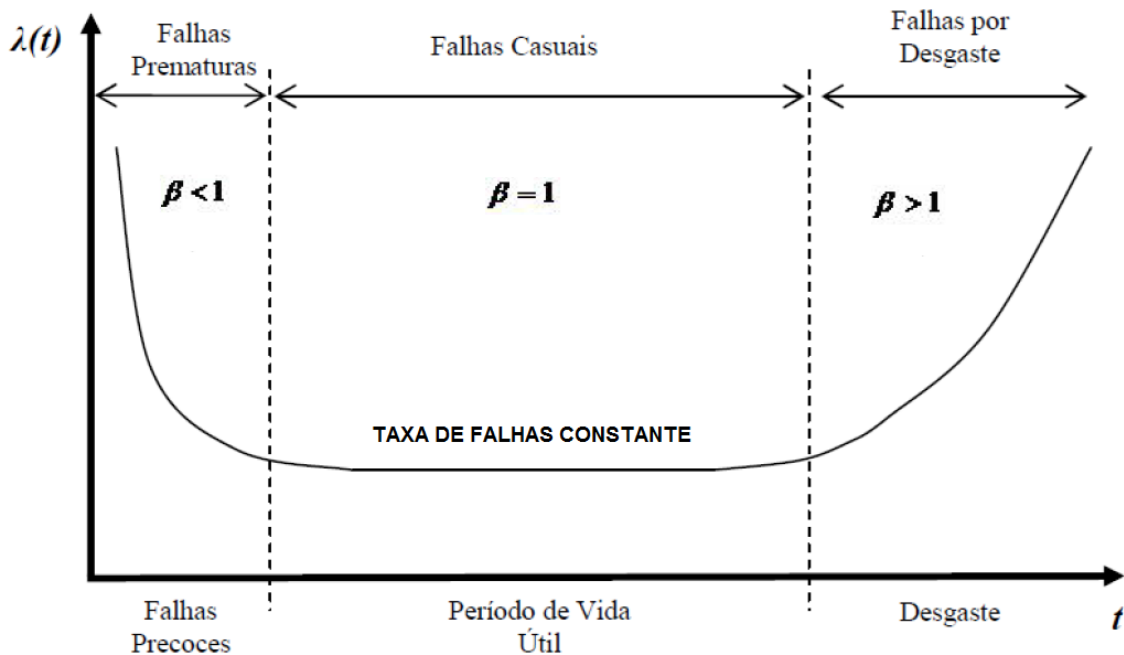


Figura 35 – Curva da banheira  
Fonte: Lafraia (2001).

Segundo Lafraia (2001) esta curva se divide em três fases distintas:

**Região de falhas prematuras:** representa as falhas prematura, conhecido como período de mortalidade infantil, sendo caracterizadas por uma taxa de falha relativamente alta, que decresce com o tempo tendo a taxa constante, Essas falhas pode ter as seguintes origens: processo de fabricação deficiente, deficiência no controle de qualidade, mão de obra desqualificada, amaciamento insuficiente, pré teste insuficiente, matérias fora de especificação, componentes não especificados, transportes inadequado entre outros.

**Região de falhas casuais:** conhecido como período de vida útil, caracterizado por taxa de falhas constantes que são de natureza aleatórias e difícil de evitá-las e podem ter as seguintes origem: Interferência indevida, fator de segurança insuficiente, cargas aleatórias acima das de projeto, erro humano durante uso, causa inexplicáveis entre outras.

**Região de falhas por desgaste:** designada por período de desgaste, onde se inicia o termino da vida útil do equipamento e taxa de falha sobe rapidamente e originada pelas seguintes causas: envelhecimento do equipamento, desgaste, abrasão, fadiga, corrosão, deterioração mecânica, elétrica, química, manutenção insuficiente entre outras.

Segundo Antonio Wotecoski, a região de falhas prematuras não se aplica para equipamentos elétricos presentes nos UPS-CC e UPS-CA das Refinarias, pois devido a necessidade de alta confiabilidade estes equipamentos passam pelo chamado “*burn-in*”, ou seja, testes em laboratório em um equipamento protótipo, por um período equivalente à mortalidade infantil, para verificar sua confiabilidade nesta região. Após serem realizados estes testes e solucionadas todas as falhas prematuras do protótipo, se inicia a produção destes equipamentos para venda.



## 5 ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO DA UPS MAIS ADEQUADA

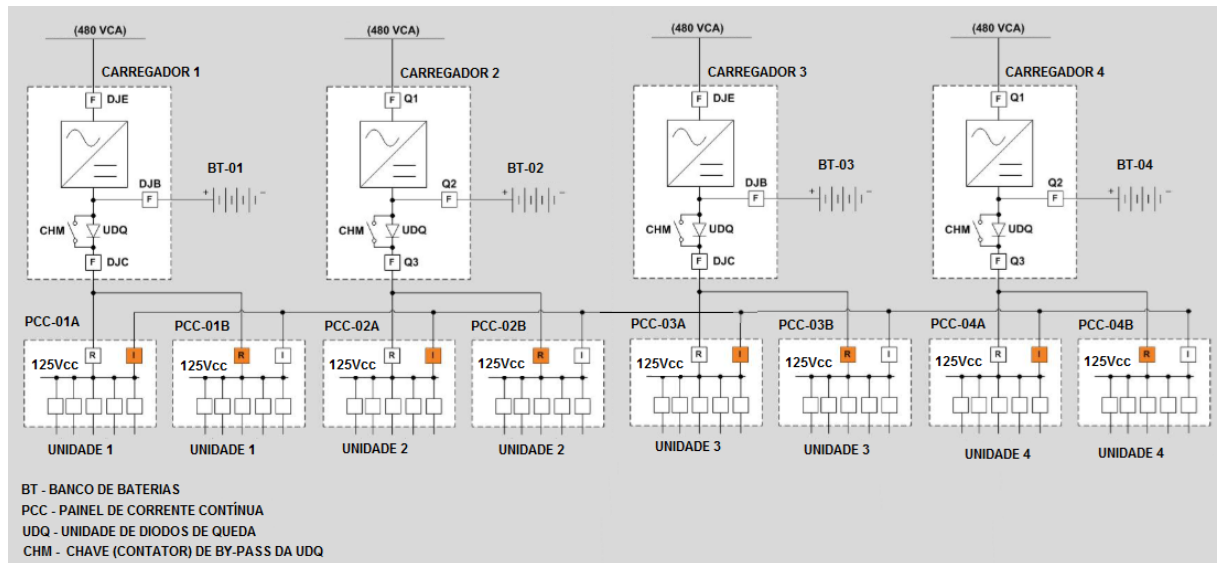
O objetivo deste TCC é encontrar melhorias para os sistemas de UPS-CC e UPS-CA instalados em uma Indústria Petroquímica, portanto foram realizadas análises e estudos das configurações existentes nesta empresa, que resultou no encontro de duas configurações distintas instaladas, são elas: UPS-CC instalada nas unidades antigas, UPS-CC instalada nas unidades novas, UPS-CA instalada nas unidades antigas e UPS-CA instalada nas unidades novas.

Uma necessidade do setor de manutenção da empresa era justamente identificar qual das configurações traz à empresa um melhor custo benefício, garantindo uma confiabilidade mínima regida pela norma interna da empresa. Com esta demanda, foi realizado este trabalho, que utilizou o software Relia/BlockSim para realizar as simulações dos sistemas estudados, afim de obter dados para a comparação entre os sistemas e desta maneira ser possível concluir qual configuração é melhor, permitindo à empresa padroniza-las em projetos e instalações futuras.

### 5.1 ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES UPS-CC

Por ser menos complexo, será iniciado a análise das configurações pelo sistema de corrente contínua, UPS-CC. A configuração mostrada na figura 36, foi um projeto desenvolvido e implantado nas unidades de processo construídas na década de 1980, quando foi construída a refinaria, ou seja, trata-se de uma topologia utilizada em unidades operacionais antigas.

Esta configuração é utilizada para alimentação de cargas elétricas críticas de quatro unidades operacionais de processo, sendo que cada unidade possui uma subestação. Desta forma foi instalado um conjunto UPS-CC para cada subestação e cada conjunto de UPS-CC conta com um retificador/carregador, um banco de baterias, uma unidade de diodos de queda e dois painéis de corrente contínua.



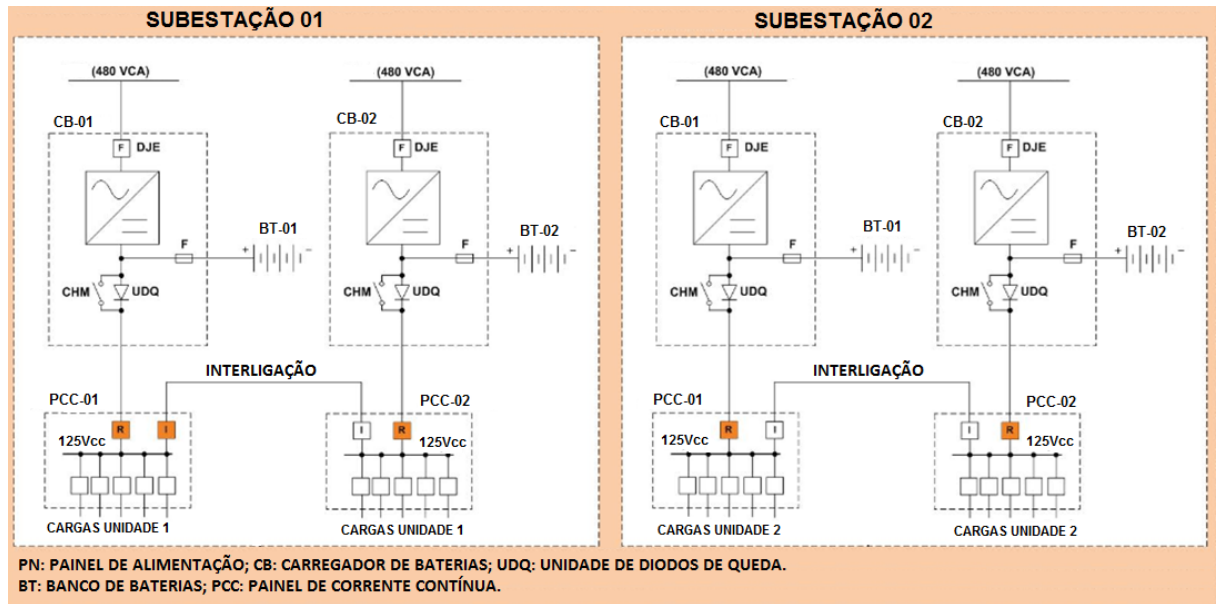
**Figura 36 – UPS-CC configuração instalada nas unidades antigas**  
**Fonte: Procedimento do sistema crítico da empresa em estudo (2015).**

Cada UPS-CC alimenta uma unidade operacional e para aumento da confiabilidade os sistemas foram interligados, por cabos elétricos subterrâneos. Esta interligação visa o aumento da confiabilidade do sistema, uma vez que o projeto previu que se um UPS-CC falhar os outros três assumem 100% dos consumidores (cargas), ou seja, necessita de apenas três conjuntos UPS-CC para que o total dos consumidores sejam alimentados eletricamente, dessa forma o sistema torna-se redundante.

Como já mencionado no trabalho, os painéis de corrente contínua (PCC) são duplos, isso contribui também para aumento de confiabilidade do sistema, sendo que ambos alimentam as mesmas cargas, ou seja, um painel é espelho do outro.

Vale ainda ressaltar que a interligação dos sistemas somente é possível pois todos os PCC's estão com corrente contínua e com mesma amplitude de tensão, 125 Vcc.

Em 2007 houve a ampliação da refinaria, sendo construídas diversas unidades para atender as especificações de mercado. Nestas novas unidades operacionais, construídas a partir do ano de 2007, foi observado uma mudança de configuração na instalação dos UPS-CC, conforme mostra a figura 37.



**Figura 37 – UPS-CC configuração instalada nas unidades novas**  
**Fonte: Procedimento do sistema crítico da empresa em estudo (2015).**

Neste modelo de configuração foi disponibilizado dois carregadores/retificadores por subestação, dois bancos de baterias, duas unidades de diodos de queda e dois painéis de corrente contínua (PCC). Observa-se que nesta topologia não há interligação dos sistemas entre as subestações, apenas são interligados os PCC's presentes na mesma subestação.

Nota-se que para a configuração anterior, em que o sistema instalado contempla quatro subestações, se fosse utilizado a configuração das unidades novas, seriam necessários oito carregadores/retificadores, oito bancos de baterias e oito unidades de diodos de queda.

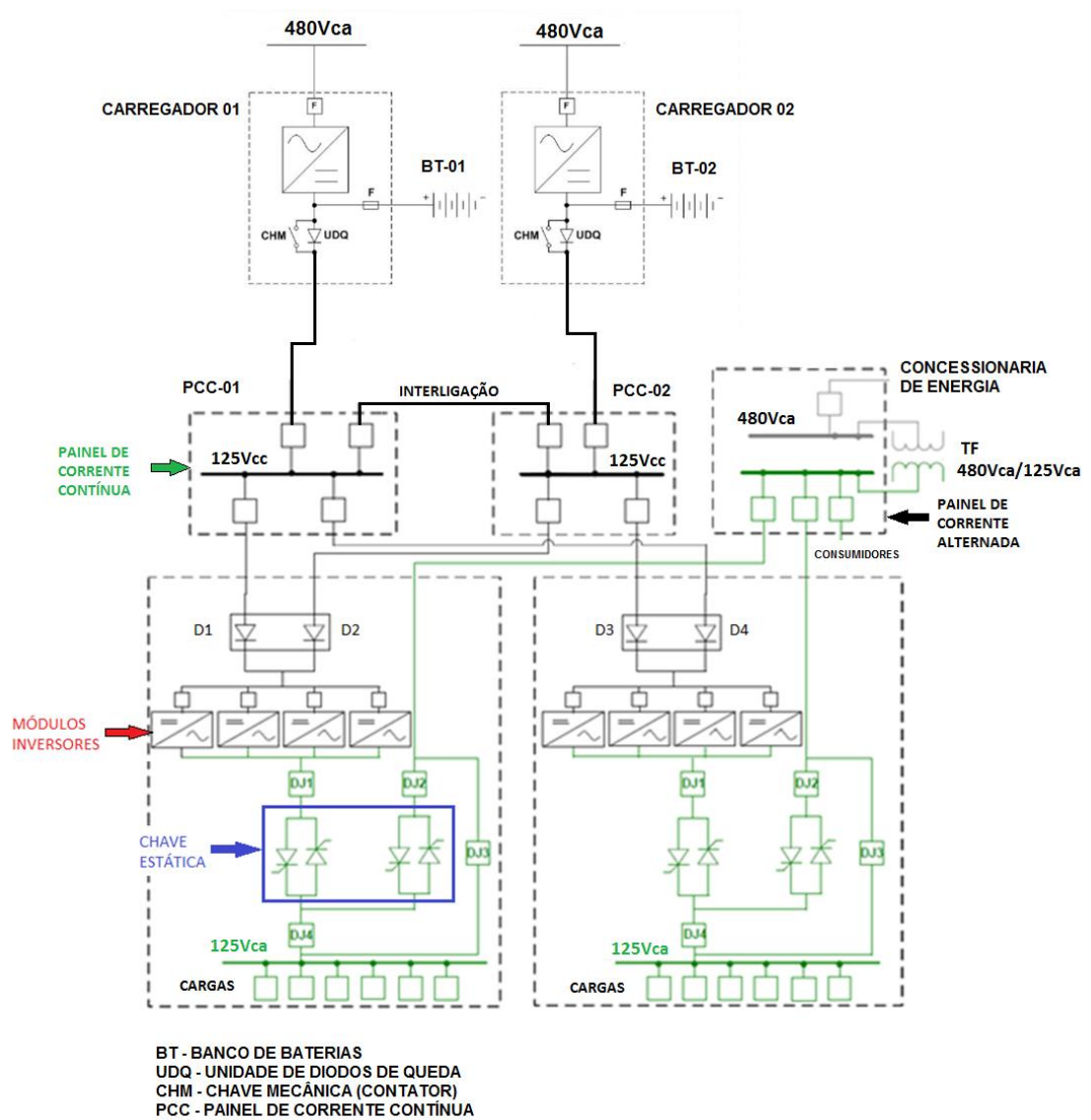
## 5.2 ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES UPS-CA

A topologia UPS-CA é mais complexa que a UPS-CC, isso ocorre porque, dentre outros fatores, nesta configuração existem mais equipamentos instalados. A UPS-CA recebe a alimentação elétrica do sistema de UPS-CC instalado na refinaria, ou seja, a alimentação elétrica para os módulos inversores é disponibilizada através dos painéis de corrente contínua.

A maior complexidade deste sistema acarreta uma menor confiabilidade dele, que será provada via simulação no software da Relia/BlockSim.

Mesmo sendo mais caro e menos confiável que o UPS-CC ele ainda é utilizado em refinarias devido ao fato de que alguns consumidores apresentam maior

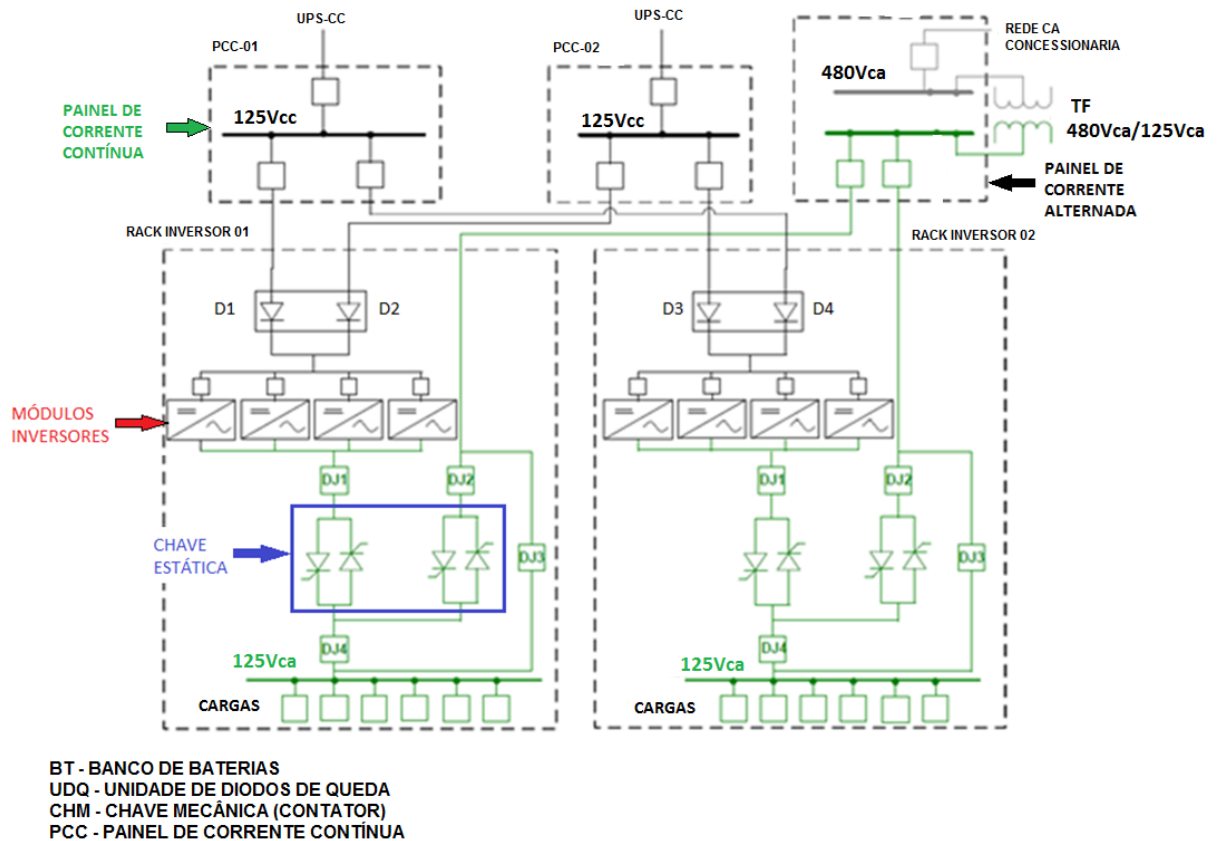
dificuldade de adaptação ao UPS-CC, seja por limitação dos fabricantes, seja por questões de padronização e custo. Também existem alguns consumidores (sensores) que ainda não são fabricados em corrente contínua. A figura 38 mostra um sistema de UPS-CA completo, ou seja, mostra também o UPS-CC, de onde vem a alimentação para os módulos inversores.



**Figura 38 – UPS-CA configuração completa**  
 Fonte: Procedimento do sistema crítico da empresa em estudo (2015).

As configurações UPS-CA instaladas na Refinaria apresentam inversores modulares e cada módulo inversor recebe alimentação de ambos os barramentos de corrente contínua. Diodos são usados para fazer o paralelismo das fontes CC, assegurando o fluxo correto de potência da fonte para a carga.

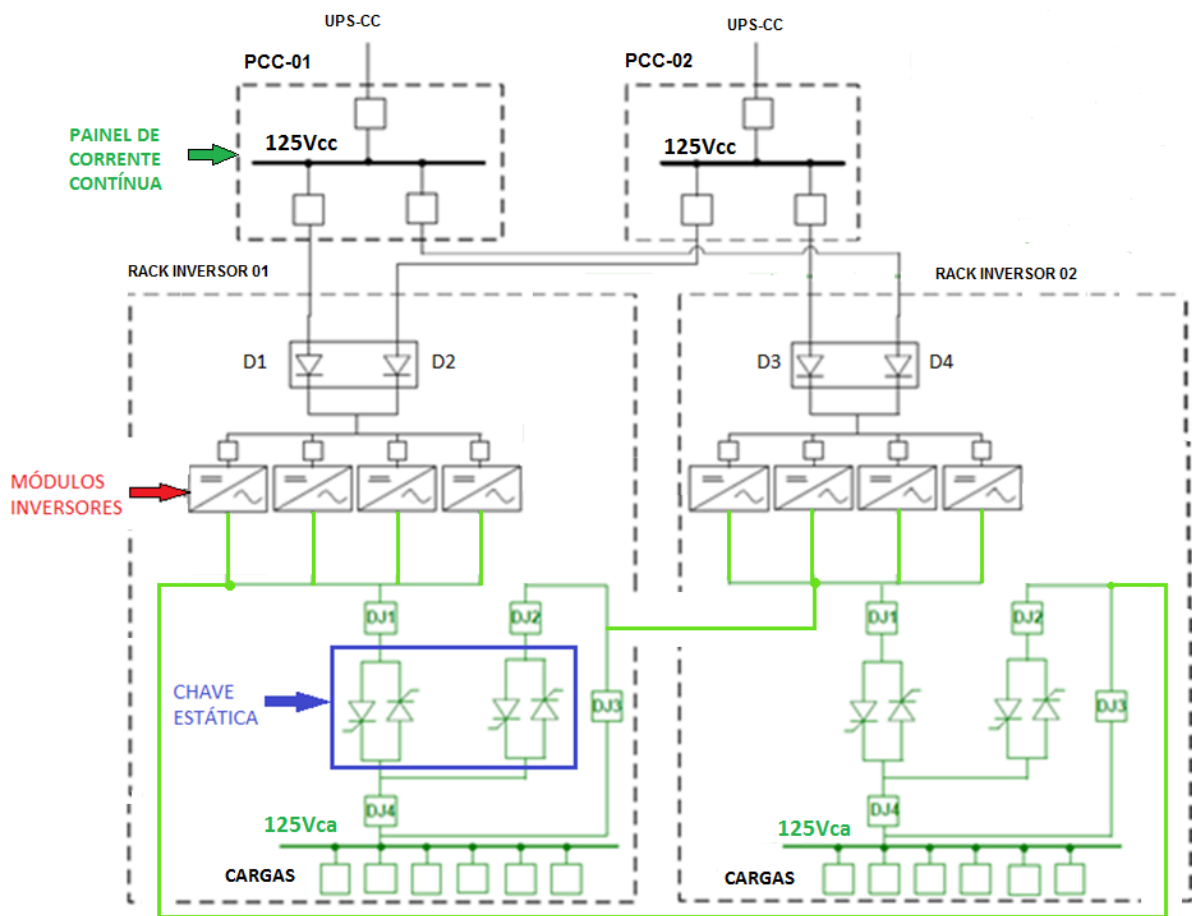
Assim como os sistemas de corrente contínua (UPS-CC) têm dois modelos de configurações distintos, nos sistemas de corrente alternada (UPS-CA) não é diferente, também foram encontradas duas configurações diferentes. A figura 39 mostra a configuração instalada nas unidades operacionais antigas da Refinaria.



**Figura 39 – UPS-CA configuração instalada nas unidades antigas**  
**Fonte: Procedimento do sistema crítico da empresa em estudo (2015).**

Nesta configuração, explicada no item 2.6 deste trabalho, verifica-se que a chave estática recebe alimentação elétrica dos módulos inversores e da rede CA.

Já nas unidades operacionais novas, construídas na ampliação da refinaria, a partir do ano de 2007, foi utilizada outra forma de configuração, mostrada na figura 40. Nesta configuração a alimentação elétrica para a chave estática é proveniente unicamente de módulos inversores, porém de duas UPS-CA diferentes. Neste sistema nota-se que não é utilizado a rede CA da concessionária como fonte de alimentação, como utilizado na configuração anterior.



BT - BANCO DE BATERIAS  
 UDQ - UNIDADE DE DIODOS DE QUEDA  
 CHM - CHAVE MECÂNICA (CONTATOR)  
 PCC - PAINEL DE CORRENTE CONTÍNUA

Figura 40 – UPS-CA configuração instalada nas unidades novas  
 Fonte: Procedimento do sistema crítico da empresa em estudo (2015).

Outro fato relevante é que nos sistemas de UPS-CA não ocorre a interligação dos painéis de corrente alternada (PCA) entre as subestações e nas próprias subestações, devido ao fato do alto risco de curto circuito em caso de perda de sincronismo dos inversores das UPS-CA distintas.

Também é importante salientar que nos UPS-CA, que geralmente são menos confiáveis que os UPS-CC, teoricamente há mais possibilidades de melhorias para se obter um aumento de confiabilidade com baixo custo.

### 5.3 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS

Os sistemas simples podem ser calculados manualmente com certa facilidade. Porém para sistemas de maior porte podem ser utilizadas técnicas, algoritmos, simulações e softwares para o processo do cálculo da confiabilidade. O software utilizado para o estudo foi o BlockSim da Reliasoft. Para a utilização do software e simulação dos sistemas foi necessário conhecer o valor da confiabilidade de cada equipamento presente no UPS-CC e UPS-CA e esta confiabilidade foi calculada através do MTBF de cada equipamento, conforme mostrado na tabela 03.

**Tabela 03 – MTBF dos equipamentos do sistema elétrico crítico em UPS-CC e UPS-CA**

SISTEMA	MTBF (horas)
REDE CA	10.000
RETIFICADOR	70.000
BATERIA	6.000.000
INVERSOR	50.000
CHAVE ESTÁTICA	500.000

Fonte: Wotecoski (2006).

Segundo Antônio Wotecoski, para Indústrias Petroquímicas um parâmetro plausível é uma taxa de falhas dos sistemas que alimentam os consumidores críticos ser 10 vezes menor que os equipamentos não críticos. Normalmente uma unidade operacional tem seu tempo de operação, antes de parada de manutenção planejada, de aproximadamente 4 anos, o que dará um tempo de operação de 35.000 horas, então os sistemas críticos devem possuir um MTBF de 350.000 horas, ou o equivalente à uma confiabilidade de 0,9718.

Segundo Wotecoski (2006), para as baterias, o MTBF depende diretamente da competência das equipes de manutenção e da tecnologia envolvida. No caso da empresa estudada as equipes tem um alto grau técnico e são amplamente treinadas, sendo possível obter um MTBF de até 6.000.000 horas.

Para o cálculo de confiabilidade da UDQ-1 (unidade de diodos de queda), foi pesquisado na literatura o MTBF de um diodo, e segundo Sanches (2015), o valor é de 2.500.000 horas. Através do software Relia/BlockSim foi realizado a simulação de um circuito em série com dez diodos (equivalente à UDQ-1), e foi encontrado um MTBF de aproximadamente 240.000 horas.

Para o cálculo da confiabilidade dos equipamentos mostrados na tabela 04 foram utilizadas as equações abaixo. É importante salientar que estas equações somente puderam ser utilizadas devido ao fato de estarem sendo feitas para a região de falhas casuais da curva da banheira, ou seja, a taxa de falhas é considerada constante.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (2)$$

Em que:

$\lambda$	Taxa de falha do equipamento
e	Base de logaritmos neperianos
t	Tempo de funcionamento
MTBF	Tempo médio entre falhas
R(t)	Confiabilidade

Então:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad (3)$$

A tabela 04 mostra os valores calculados de confiabilidade. Para este cálculo foi utilizado um tempo de funcionamento (operação) dos equipamentos de 10.000 horas, o que garante um valor de confiabilidade localizado na parte de taxa de falhas constante na curva da banheira.

**Tabela 04 – Valores de confiabilidade dos equipamentos**

SISTEMA	CONFIABILIDADE
REDE CA	0,3679
RETIFICADOR	0,8669
BATERIA	0,9983
INVERSOR	0,8187
CHAVE ESTATICA	0,9802

Fonte: Wotecoski (2006).

Complementando a tabela 04, foi realizado o cálculo da confiabilidade da unidade de diodos de queda, levando em consideração um MTBF de 240.000 horas, e obteve-se uma confiabilidade de aproximadamente 0,9591.



A rede CA, proveniente da concessionária elétrica, apresenta uma confiabilidade que não atende aos requisitos necessários para equipamentos críticos de uma planta petroquímica, sendo necessária a instalação de um sistema de alimentação de cargas críticas visando aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia, os UPS-CC e UPS-CA.

Na sequência será iniciado as simulações dos sistemas UPS-CC e UPS-CA, sendo importante frisar que as simplificações dos diagramas utilizados no software BlockSim de confiabilidade, bem como as incertezas nos valores de MTBF dos componentes e equipamentos, são toleráveis, pois estes visam apenas prover a comparação entre os sistemas de corrente contínua e de corrente alternada.

#### 5.4 SIMULAÇÕES NO SOFTWARE RELIA/BLOCKSIM

O software utilizado para simulação dos sistemas estudados neste trabalho será o BlockSim da ReliaSoft que fornece ferramentas para modelar e analisar sistemas e/ou processos reparáveis, e atende as necessidades dos projetistas, operadores de equipamentos, gestores de manutenção e de ativos. O BlockSim oferece uma interface gráfica sofisticada que permite a modelagem desde sistemas simples até os mais complexos utilizando a metodologia de Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBDs) e Árvore de Falhas (FTA). O software fornece, por meio de cálculos algébricos a confiabilidade do sistema, probabilidade de falha, a alocação ótima da confiabilidade e etc.

##### 5.4.1 UPS-CC: Configuração UPS único

Antes de realizar as simulações de confiabilidade dos sistemas existentes na Refinaria, que são mais complexos, será realizado a simulação de confiabilidade de um sistema UPS-CC único, que é mais simples. Esta simulação servirá de parâmetro para possíveis comparações de confiabilidade com os sistemas instalados na empresa em estudo.

A figura 41 mostra o esquema simplificado de uma UPS-CC. A primeira etapa é composta de uma unidade retificadora, a segunda, de um banco de baterias e por último, diodos de queda para manter a tensão de saída dentro da faixa de regulação do consumidor.

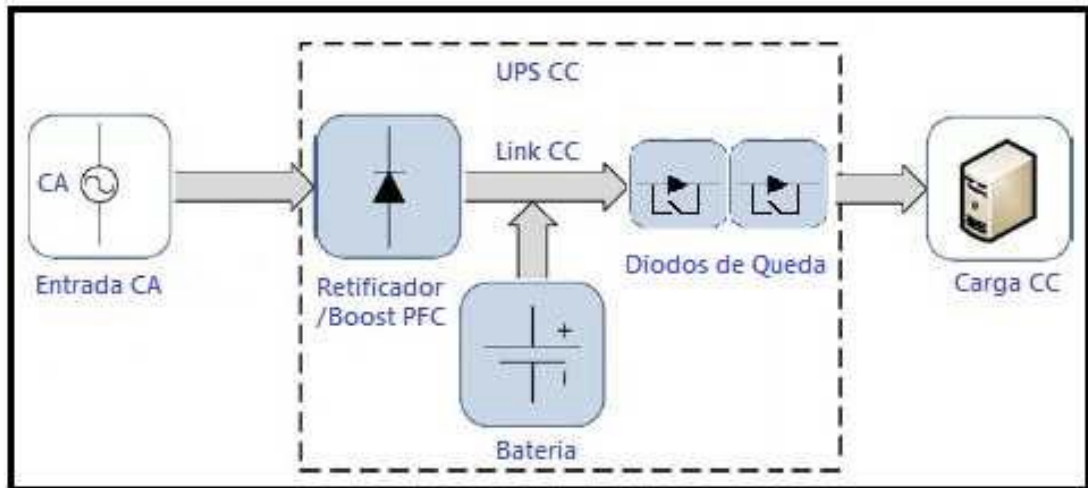


Figura 41 – Diagrama simplificado da configuração UPC-CC único  
Fonte: Própria.

Deste esquema simplificado de UPS-CC, foi gerado um diagrama de blocos no programa da Relia/BlockSim, conforme mostrado na figura 42. Através deste diagrama foi possível realizar as simulações para este tipo de configuração, obtendo a confiabilidade deste sistema.

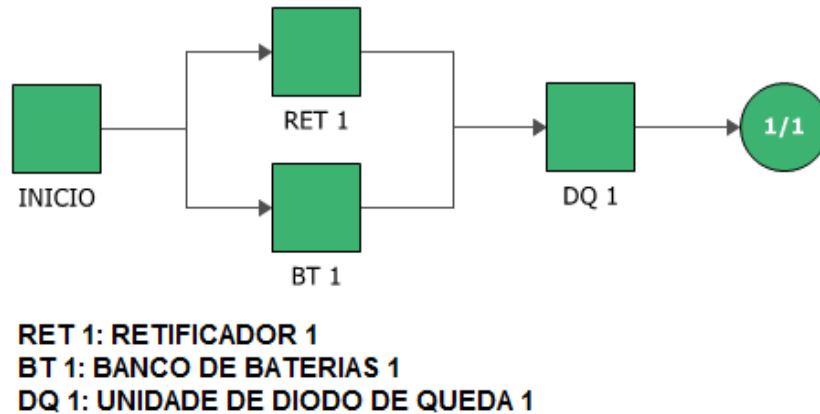


Figura 42 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC única  
Fonte: Software BlockSim (2016).

Para o nó inserido após a unidade de diodos de queda, é necessário que a única entrada esteja funcionando para que a saída seja habilitada, ou seja, fornecendo alimentação elétrica para os consumidores. Neste caso dizemos que este sistema não possui redundância.

Tabela 05 – Confiabilidade na configuração UPS-CC único

<b>Relatório de Resultados Simplificado</b>			
<b>Entrada do Usuário</b>			
Tempo Final da Missão (h) =	10000		
<b>Saídas dos Blocos</b>			
Nome do Bloco	Confiabilidade	Prob. de Falha	Importância
RET 1	0,8669	0,1331	0,00163
INICIO	1	0	0,958883
BT 1	0,9983	0,0017	0,127656
1/1	1	0	0,958883
DQ 1	0,9591	0,0409	0,999774
<b>Saída do QCP</b>			
	<b>Confiabilidade</b>	<b>Prob. de Falha</b>	
<b>Sistema</b>	<b>0,958883</b>	<b>0,041117</b>	

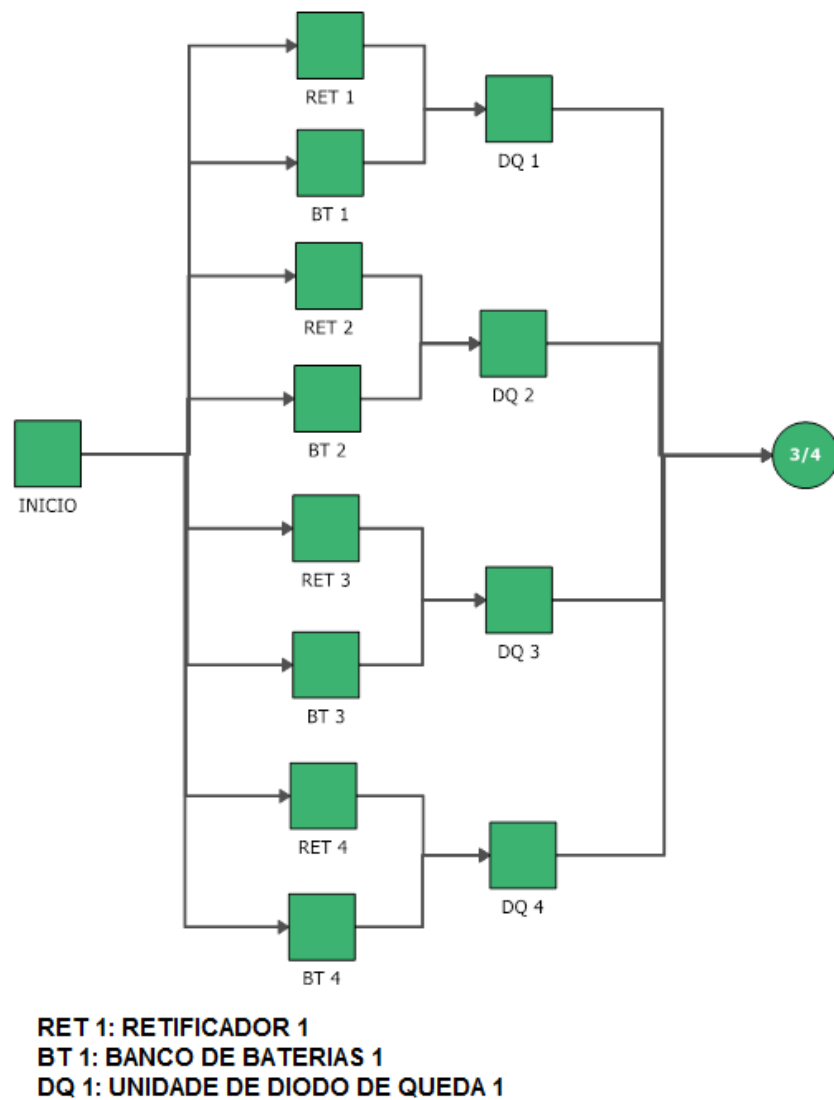
Fonte: Software BlockSim (2016).

A tabela 05, obtida do software BlockSim, é um relatório da simulação da configuração UPS-CC único. Este relatório mostra informações de confiabilidade, probabilidade de falha e importância de cada bloco no sistema. O software também realiza um cálculo total de confiabilidade do sistema, mostrando o valor final de confiabilidade e de probabilidade de falha. Sendo o objetivo deste trabalho encontrar o sistema mais confiável, será utilizado para efeitos de comparação o resultado da confiabilidade total do sistema simulado, que nesse caso foi de 0,958883, ou seja, um MTBF de aproximadamente 238.000 horas.

Apesar desta configuração ter uma confiabilidade maior que a mínima exigida na empresa em estudo, ela não é utilizada nas refinarias devido ao fato da dificuldade de manutenção preventiva e corretiva neste sistema. E, conseqüentemente, não é possível garantir que sua confiabilidade se mantenha.

#### 5.4.2 UPS-CC: Configuração das unidades antigas

O diagrama de blocos mostrado na figura 43, proveniente do software BlockSim, é relativo à configuração UPS-CC instalado nas unidades operacionais antigas.



**Figura 43 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC de unidades antigas**  
**Fonte: Software BlockSim (2016).**

Para o nó inserido após a unidade de diodos de queda, é necessário que ao menos três entradas estejam funcionando para que a saída seja habilitada, simbolizando a necessidade de três UPS-CC operando para alimentar 100% das cargas críticas do sistema.

A tabela 06, mostra os valores de confiabilidade, probabilidade de falha e importância de cada bloco do diagrama no sistema como um todo. Além disso o software também disponibiliza o resultado do cálculo de confiabilidade final do sistema simulado e da probabilidade de falha.

Tabela 06 – Confiabilidade na configuração UPS-CC unidades antigas

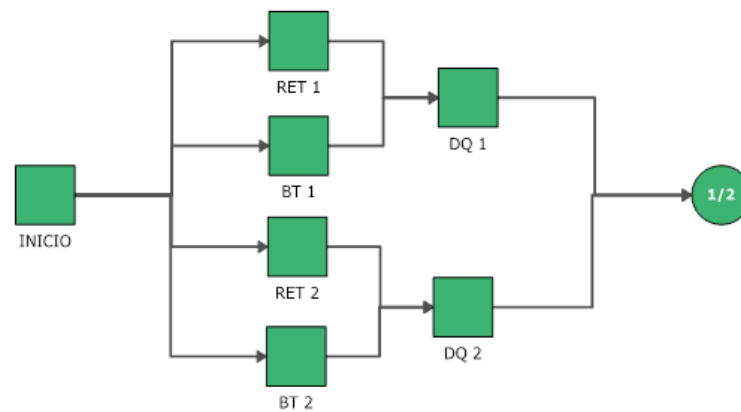
<b>Relatório de Resultados Simplificado</b>			
<b>Entrada do Usuário</b>			
Tempo Final da Missão (h) =	10000		
<b>Saídas dos Blocos</b>			
Nome do Bloco	Confiabilidade	Prob. de Falha	Importância
RET 1	0,8669	0,1331	0,002994
RET 2	0,8669	0,1331	0,002994
INICIO	1	0	0,990404
RET 3	0,8669	0,1331	0,002994
RET 4	0,8669	0,1331	0,002994
BT 1	0,9983	0,0017	0,205466
BT 2	0,9983	0,0017	0,205466
BT 3	0,9983	0,0017	0,205466
BT 4	0,9983	0,0017	0,205466
3/4	1	0	0
DQ 1	0,9591	0,0409	0,039619
DQ 2	0,9591	0,0409	0,039619
DQ 3	0,9591	0,0409	0,039619
DQ 4	0,9591	0,0409	0,039619
<b>Saída do QCP</b>			
	Confiabilidade	Prob. de Falha	
<b>Sistema</b>	<b>0,990404</b>	<b>0,009596</b>	

Fonte: Software BlockSim (2016).

A simulação da configuração UPS-CC instalada nas unidades antigas atingiu uma confiabilidade total do sistema de 0,990404, o que através de cálculos nos dá um MTBF de aproximadamente 1.040.000 horas.

#### 5.4.3 UPS-CC: Configuração das unidades novas

A seguinte configuração analisada e simulada no software é mostrada na figura 43, trata-se do diagrama de blocos referente ao sistema UPS-CC instalado nas unidades operacionais novas.



RET 1: RETIFICADOR 1  
 BT 1: BANCO DE BATERIAS 1  
 DQ 1: UNIDADE DE DIODO DE QUEDA 1

Figura 44 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC de unidades novas  
 Fonte: Software BlockSim (2016).

Para o nó inserido após a unidade de diodos de queda, é necessário que ao menos uma das entradas esteja funcionando para que a saída seja habilitada e alimente eletricamente 100% das cargas.

A tabela 07, mostra além de informações do cálculo de confiabilidade total, valores de confiabilidade para cada bloco, probabilidade de falha por bloco unitário, importância de cada bloco no sistema e a probabilidade total de falha do sistema.

Tabela 07 – Confiabilidade na configuração UPS-CC unidades novas

Relatório de Resultados Simplificado			
Entrada do Usuário			
Tempo Final da Missão (h) =	10000		
Saídas dos Blocos			
Nome do Bloco	Confiabilidade	Prob. de Falha	Importância
RET 1	0,8669	0,1331	0,95732
RET 2	0,8669	0,1331	0,95732
INICIO	1	0	0,998309
BT 1	0,9983	0,0017	0,836476
BT 2	0,9983	0,0017	0,836476
DQ 1	0,9591	0,0409	0,000217
DQ 2	0,9591	0,0409	0,000217
1/2	1	0	0,998309
Saída do QCP			
	Confiabilidade	Prob. de Falha	
Sistema	<b>0,998309</b>	<b>0,001691</b>	

Fonte: Software BlockSim (2016).

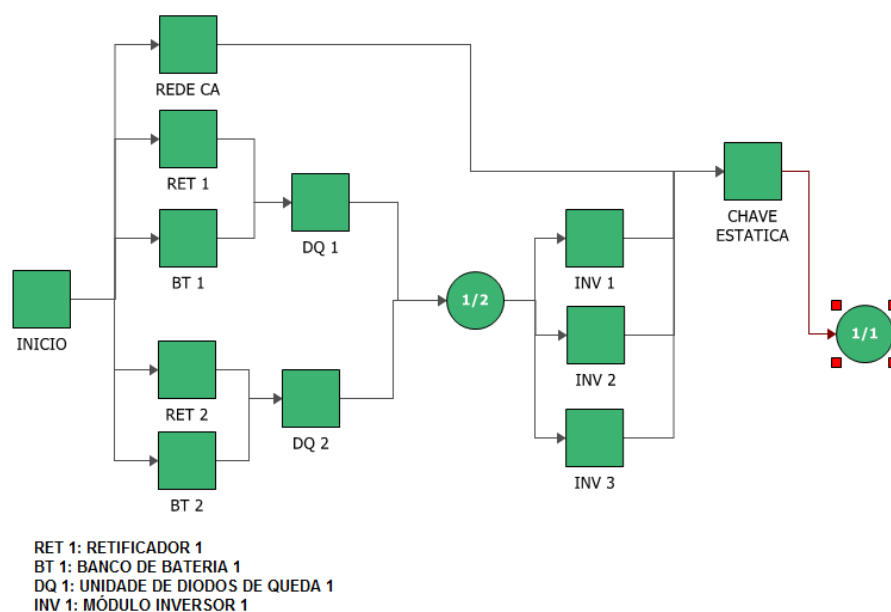
A simulação da configuração UPS-CC instalada nas unidades novas atingiu uma confiabilidade total do sistema de 0,998309, o que através de cálculos nos dá um MTBF de aproximadamente 5.900.000 horas.

#### 5.4.4 UPS-CC: Análise preliminar quanto a melhor configuração

A empresa em estudo estabelece as especificações mínimas exigidas para os sistemas de UPS-CC e UPS-CA através de uma norma interna. Esta norma exige que o MTBF mínimo para a configuração completa seja de no mínimo 180.000 horas, ou uma confiabilidade de 0,9459. Dessa maneira podemos verificar que todas as configurações instaladas atingiram este nível de confiabilidade, inclusive o UPS único. Porém, a indústria Petroquímica em estudo somente utiliza configurações com redundância, pois além de uma maior confiabilidade, os sistemas redundantes tendem a manter sua confiabilidade constante devido ao fato da facilidade de liberação de seus equipamentos para manutenção.

#### 5.4.5 UPS CA: Configuração das unidades antigas

A figura 45, mostra o diagrama de blocos simulado no software BlockSim do sistema UPS-CA instalado nas unidades antigas.



**Figura 45 – Diagrama em blocos da configuração UPS-CA de unidades antigas**  
 Fonte: Software BlockSim (2016).

No caso da UPS-CA das unidades antigas, percebe-se que no nó anterior aos módulos inversores é necessário que apenas uma entrada para ter alimentação para os módulos inversores. No caso da alimentação da chave estática é necessário ter alimentação proveniente dos módulos inversores ou da rede CA. No nó após a chave estática, que é a alimentação para o painel de corrente alternada (PCA), é necessário que a única entrada esteja habilitada para que a saída esteja em operação.

A tabela 08, mostra os valores de confiabilidade, probabilidade de falha e importância de cada bloco do diagrama utilizado no software, mostrado na figura 44, além disso o software também calcula a confiabilidade total do sistema estudado e de probabilidade de falha.

**Tabela 08 – Confiabilidade na configuração UPS-CA unidades antigas**

<b>Relatório de Resultados Simplificado</b>			
Tempo Final da Missão (h) =	10000		
<b>Saídas dos Blocos</b>			
Nome do Bloco	Confiabilidade	Prob. de Falha	Importância
RET 1	0,8669	0,1331	0,589606
RET 2	0,8669	0,1331	0,589606
INICIO	1	0	0,975466
BT 1	0,9983	0,0017	0,515179
BT 2	0,9983	0,0017	0,515179
DQ 1	0,9591	0,0409	0,000134
DQ 2	0,9591	0,0409	0,000134
INV 1	0,8187	0,1813	0,020331
INV 2	0,8187	0,1813	0,020331
INV 3	0,8187	0,1813	0,020331
1/2	1	0	0,614851
CHAVE ESTATICA	0,9802	0,0198	0,995171
REDE CA	0,3679	0,6321	0,007489
1/1	1	0	0,975466
<b>Saída do QCP</b>			
	<b>Confiabilidade</b>	<b>Prob. de Falha</b>	
<b>Sistema</b>	<b>0,975466</b>	<b>0,024534</b>	

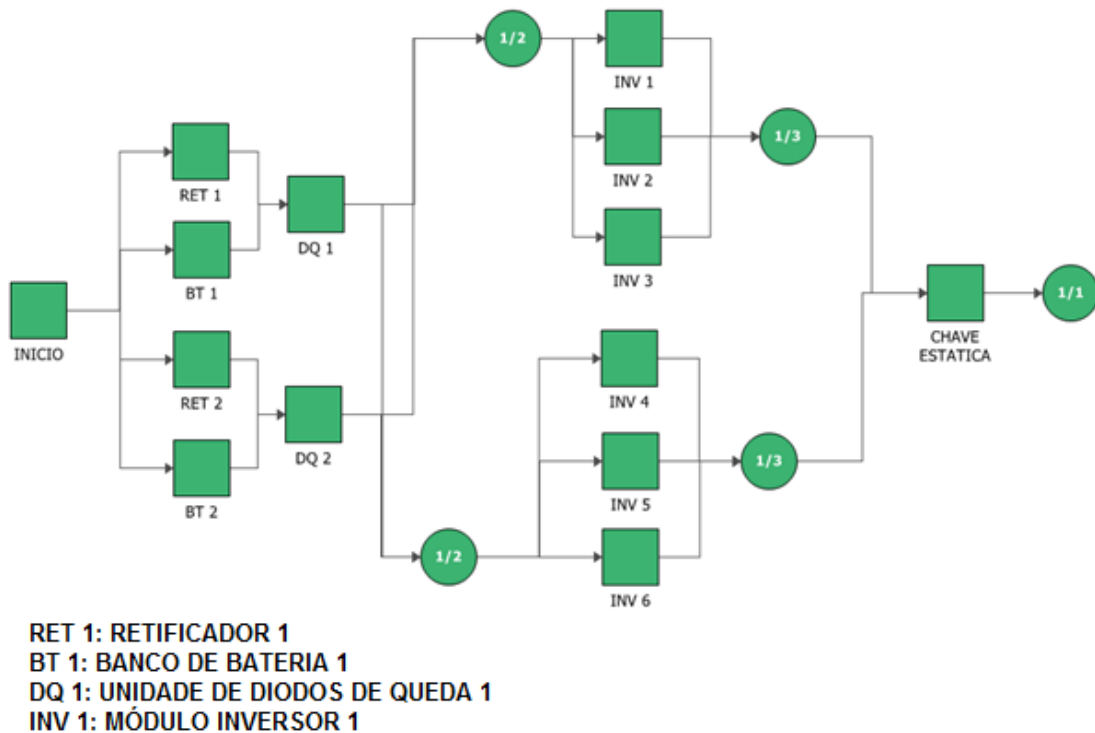
Fonte: Software BlockSim (2016).

Conforme mostrada na tabela 09, a confiabilidade deste sistema foi de 0,975466, ou seja, um MTBF aproximado de 402.000 horas.



#### 5.4.6 UPS-CA: Configuração das unidades novas

A última configuração instalada na refinaria à ser simulada é a UPS-CA encontrada nas unidades operacionais novas, conforme mostrada na figura 46.



**Figura 46 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CA de unidades novas**  
 Fonte: Software BlockSim (2016).

Na UPS-CA das unidades novas, os nós anteriores aos módulos inversores necessitam apenas de um sinal na entrada para que a saída seja habilitada. Para que a saída do nó à jusante dos módulos inversores seja habilitada, é necessário que uma das seis entradas esteja operando normalmente. Finalmente para o nó inserido após a chave estática, é necessário que a única entrada esteja operacional para que a saída seja habilitada.

Na tabela 09, fornecida como relatório do software, é possível verificar os valores de confiabilidade, probabilidade de falha e importância de cada bloco do diagrama da figura 45. O software BlockSim também realiza o cálculo de confiabilidade total do sistema estudado e de probabilidade de falha.

Tabela 09 – Confiabilidade na configuração UPS-CA unidades novas

<b>Relatório de Resultados Simplificado</b>			
<b>Entrada do Usuário</b>			
Tempo Final da Missão (h) =	10000		
<b>Saídas dos Blocos</b>			
Nome do Bloco	Confiabilidade	Prob. de Falha	Importância
RET 1	0,8669	0,1331	0,000066
RET 2	0,8669	0,1331	0,000066
INICIO	1	0	0,978508
BT 1	0,9983	0,0017	0,005145
BT 2	0,9983	0,0017	0,005145
DQ 1	0,9591	0,0409	0,040292
DQ 2	0,9591	0,0409	0,040292
INV 1	0,8187	0,1813	0,000192
INV 2	0,8187	0,1813	0,000192
INV 3	0,8187	0,1813	0,000192
INV 4	0,8187	0,1813	0,000192
INV 5	0,8187	0,1813	0,000192
INV 6	0,8187	0,1813	0,000192
CHAVE ESTATICA	0,9802	0,0198	0,998274
1/2	1	0	0,005797
1/2	1	0	0,005797
1/3	1	0	0,005797
1/3	1	0	0,005797
1/1	1	0	0,978508
<b>Saída do QCP</b>			
	<b>Confiabilidade</b>	<b>Prob. de Falha</b>	
<b>Sistema</b>	<b>0,978508</b>	<b>0,021492</b>	

Fonte: Software BlockSim (2016).

Conforme mostrada na tabela 10, a confiabilidade deste sistema simulado foi de 0,978508, com um MTBF de aproximadamente 460.000 horas.

#### 5.4.7 UPC-CA: Proposta para uma configuração mais confiável

Conforme já mencionado, devido à alta complexidade do sistema UPS-CA, foram realizados análises e simulações mais aprofundadas com o intuito de encontrar possíveis novas configurações mais confiáveis que as atualmente instaladas na Refinaria. Deste estudo encontrou-se a topologia mostrada na figura 46, que obteve um maior grau de confiabilidade em relação aos demais estudadas neste trabalho.

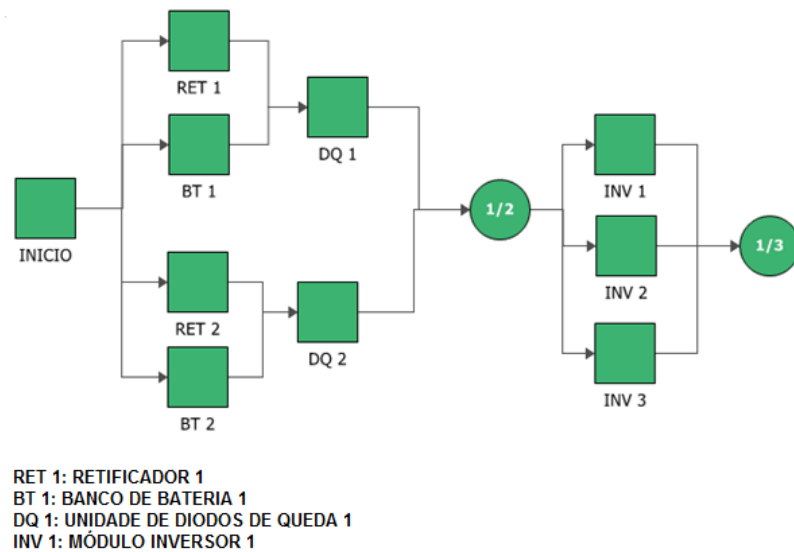


Figura 47 – Diagrama em blocos da configuração UPC-CC de unidades antigas  
 Fonte: Software BlockSim (2016).

Na tabela 10 é possível verificar a confiabilidade dos blocos individualmente, bem como probabilidade de falha e importância, além da confiabilidade total do sistema. É importante salientar que este sistema além de mais confiável é também mais viável economicamente.

Tabela 10 – Confiabilidade na configuração UPS-CA nova proposta

Relatório de Resultados Simplificado			
Entrada do Usuário			
Tempo Final da Missão (h) =	10000		
Saídas dos Blocos			
Nome do Bloco	Confiabilidade	Prob. de Falha	Importância
RET 1	0,8669	0,1331	0,951615
RET 2	0,8669	0,1331	0,951615
INICIO	1	0	0,99236
BT 1	0,9983	0,0017	0,831491
BT 2	0,9983	0,0017	0,831491
DQ 1	0,9591	0,0409	0,000216
DQ 2	0,9591	0,0409	0,000216
INV 1	0,8187	0,1813	0,032814
INV 2	0,8187	0,1813	0,032814
INV 3	0,8187	0,1813	0,032814
1/2	1	0	0,99236
1/3	1	0	0,99236
Saída do QCP			
	Confiabilidade	Prob. de Falha	
Sistema	<b>0,99236</b>	<b>0,00764</b>	

Fonte: Software BlockSim (2016).

Para chegar na configuração abaixo, basicamente retirou-se a chave estática e a rede CA, o que foi suficiente para aumentar a confiabilidade do sistema para 0,99236, gerando um MTBF aproximado de 1.300.000 horas.

Outra sugestão para melhorar a confiabilidade seria a modularização da chave estática, colocando-se uma chave estática para cada inversor. Para isso funcionar bem, a chave estática também deveria possuir um módulo extraível e o painel deveria possuir mais gavetas, havendo uma gaveta de chave estática para cada módulo inversor.

#### 5.4.8 UPS-CA: Análise preliminar quanto a melhor configuração

Na UPS-CA como já era de se esperar a confiabilidade caiu em relação ao UPS-CC pois o sistema é mais complexo e utiliza mais equipamentos em série na configuração. Mesmo assim os sistemas estudados superaram a confiabilidade mínima exigida pela norma interna da empresa em estudo, que exige um MTBF mínimo de 180.000 horas.

Nesta etapa foi possível aprofundar os estudos e simulações afim de encontrar uma configuração com maior grau de confiabilidade que as atualmente instaladas na empresa em estudo e conforme mostrado no item 5.4.7, ela foi encontrada. Esta nova configuração além de ser mais confiável é também mais viável economicamente pois tem menos equipamentos instalados.

## 6 DISCUSSÃO SOBRE OS CUSTOS

### 6.1 CUSTO DA QUALIDADE

Nos capítulos anteriores foram realizadas apenas análises sobre a confiabilidade, sem se atentar para o custo das configurações. Neste capítulo pretende-se estudar a relação da confiabilidade com o custo e desta forma analisar os sistemas de maneira mais aprofundada para saber, dos sistemas UPS-CC e UPS-CA estudados até aqui, qual é o melhor para ser utilizado e padronizado na empresa em estudo.

Segundo Mattos e Toledo (1998), o Custo da Qualidade é a análise do custo associado ao sucesso e ao fracasso no processo de obtenção da qualidade, sendo representado, Figura 48, pelo somatório dos custos de suas quatro categorias:

- custos de prevenção
- custos de avaliação
- custos de falhas internas
- custos de falhas externas.

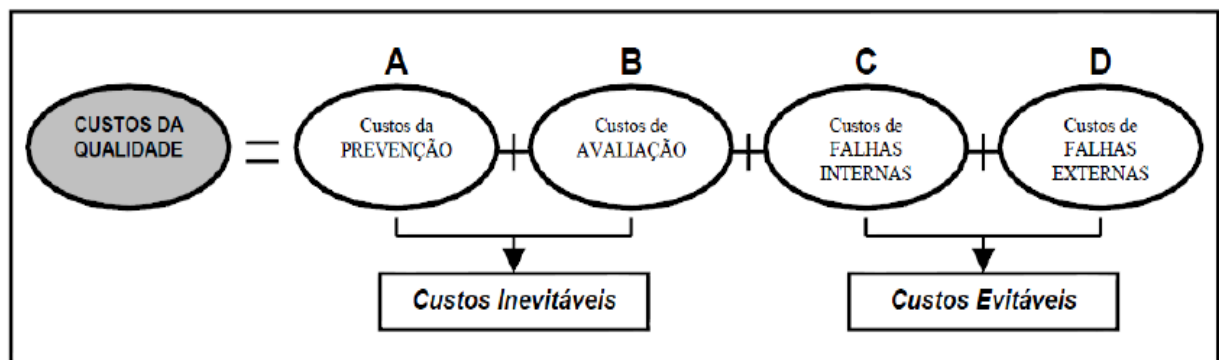


Figura 48 – Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga  
Fonte: Mattos e Toledo (1998).

Os custos da qualidade são definidos por Feigenbaum (1994) como sendo "os custos associados à definição/planejamento, criação e controle da qualidade, assim como à avaliação e realimentação da conformidade com exigência em requisitos de desempenho, confiabilidade, segurança; e também custos associados às

consequências provenientes de falhas, em atendimento a essas exigências, tanto internamente à empresa quanto nas mãos dos clientes."

Já para Crosby (1994) a qualidade não pode ser vista pela empresa como um custo e sim como um investimento.

Todas as atividades da empresa que tenham participação na qualidade devem fornecer informações para comparar o investimento em qualidade, em prevenção e avaliação da qualidade, e os resultados obtidos devido a este investimento, custos evitados referentes às falhas internas e às falhas externas.

Segundo Toledo (2002), tal estudo contribui para:

- Análise do desempenho da empresa
- Programação das atividades da equipe de qualidade para uma máxima eficácia e uso mais efetivo dos recursos produtivos
- Alocação realista de recursos para o esforço necessário de qualidade para se atingir os objetivos da empresa
- Preparação de estimativas de custos para novos empreendimentos, etc.

As características dos custos da qualidade são apresentadas na Figura 49, logo, deve-se levar em consideração que o investimento feito na confiabilidade de um sistema só vale a pena até um determinado ponto, chamado ponto ótimo, que para este caso é o ponto B. Neste ponto observa-se que o custo com o investimento é menor que o custo evitado das falhas, ou seja, o custo de aquisição de equipamentos mais confiáveis somado com o custo de manutenção e lucro cessante da empresa faz com que o custo total diminuía, sendo viável economicamente para a empresa investir em confiabilidade até o ponto B.

No ponto A embora o gasto com aquisição dos equipamentos seja menor, a longo prazo o custo total tende a ser maior para a empresa, pois com baixa confiabilidade os custos com manutenção e lucro cessante aumentam.

O ponto B também é considerado ótimo pois a partir dele gasta-se muito para incrementar pouco a confiabilidade, é o caso do ponto C onde o custo de aquisição aumenta muito, sobrepondo-se ao custo de manutenção e lucro cessante, tornando este ponto economicamente inviável para a empresa.

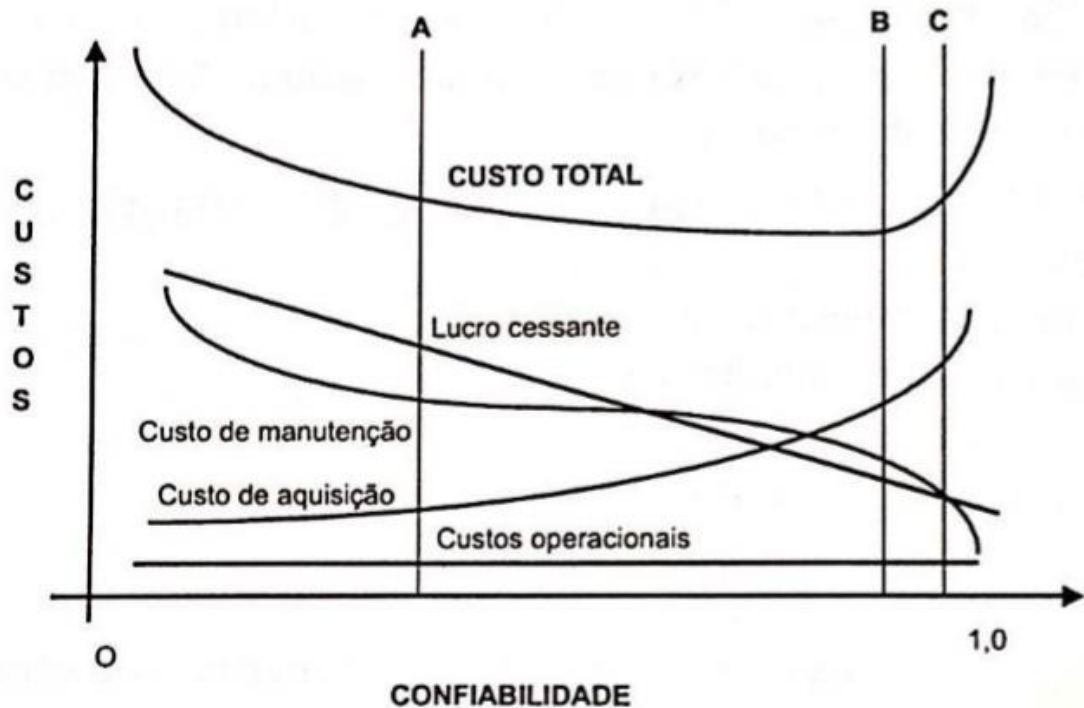


Figura 49 – Relação entre confiabilidade e custo  
Fonte: Lafraia (2001).

## 6.2 ESTUDO SOBRE CUSTOS VERSUS CONFIABILIDADE

Com os dados das análises e simulações realizadas neste trabalho e de posse dos custos de cada bloco utilizado nos diagramas do software da Relia/Blocksim foi possível desenvolver uma comparação entre todas as configurações afim de verificar qual delas tem um melhor custo benefício para a empresa.

A tabela 11, contém as seguintes informações: números de equipamentos utilizados em cada configuração, custo de aquisição e instalação de cada equipamento e custo total de aquisição e instalação das UPS's completas. Os dados mostrados na tabela 11 são referentes para quatro subestações.

Tabela 11 – Comparação de custos de instalação das diferentes configurações

EQUIPAMENTO	CUSTO POR UNIDADE (R\$)	UPS CC VELHO	UPS CC NOVO	UPS CA VELHO	UPS CA NOVO
RETIFICADOR / CARREGADOR	100.000,00	4	8	0	0
BANCO DE BATERIAS	150.000,00	4	8	0	0
MODULO INVERSOR	30.000,00	0	0	24	48
CHAVE ESTÁTICA	15.000,00	0	0	8	8
UDQ	5.000,00	4	8	0	0
INTERLIGAÇÃO DE SUBESTAÇÕES	50.000,00	4	0	0	0
	<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>1.220.000,00</b>	<b>2.040.000,00</b>	<b>840.000,00</b>	<b>1.560.000,00</b>

Fonte: Própria.

Para auxiliar na comparação entre as configurações foi implementada a tabela 12, na qual está concentrada as seguintes informações: o valor da confiabilidade, custo total e custo por confiabilidade para cada configuração. Esta tabela, por concentrar dados importantes de cada configuração, tem por finalidade facilitar a avaliação dos mesmos.

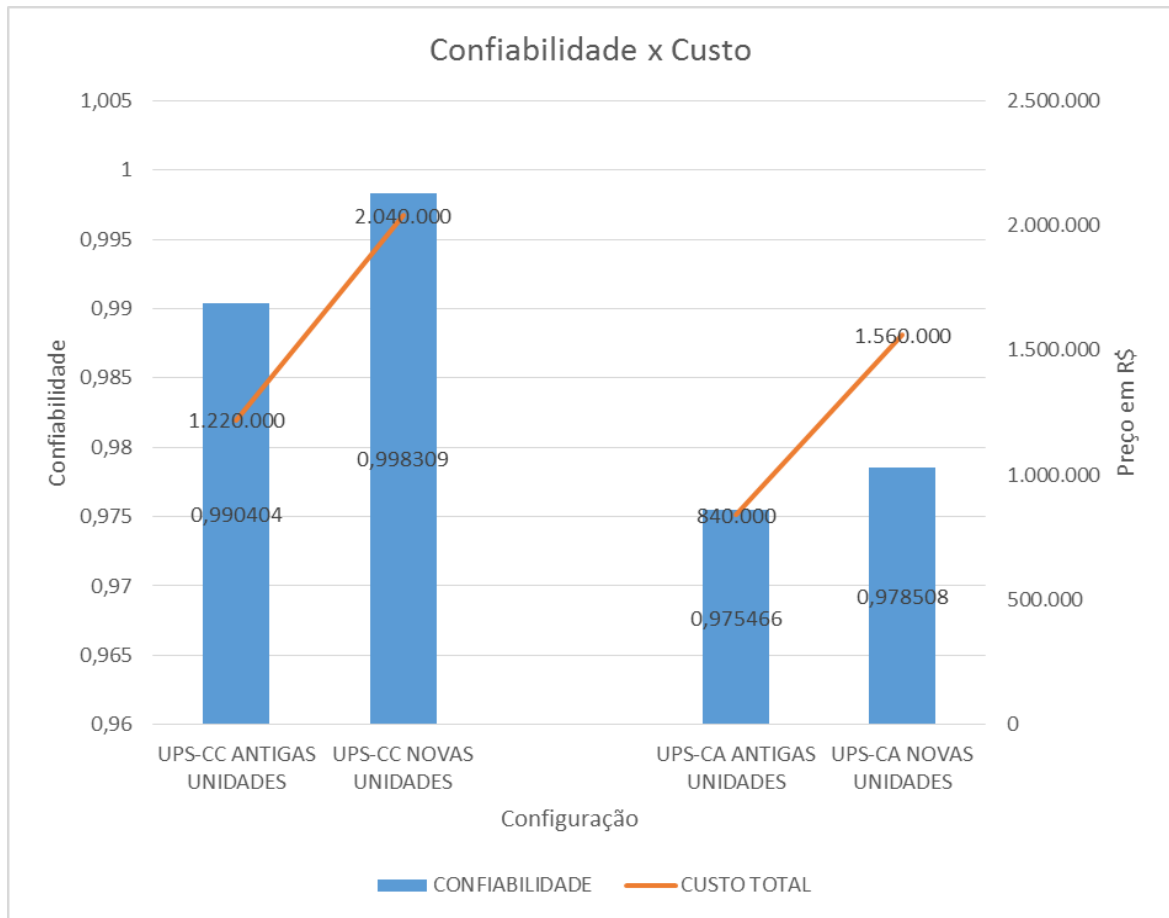
Tabela 12 – Relação de confiabilidade versus custo das diferentes configurações

UPS	CONFIABILIDADE	CUSTO TOTAL
UPS-CC ANTIGAS UNIDADES	0,990404	1.220.000,00
UPS-CC NOVAS UNIDADES	0,998309	2.040.000,00
UPS-CA ANTIGAS UNIDADES	0,975466	840.000,00
UPS-CA NOVAS UNIDADES	0,978508	1.560.000,00

Fonte: Própria.

Através dos dados contidos na tabela 12, foi possível desenvolver o gráfico da figura 50, que mostra a confiabilidade de cada configuração e seu respectivo custo total de implantação, facilitando assim uma análise conclusiva sobre qual das configurações estudadas retornará um melhor custo benefício à empresa estudada.





**Figura 50 – Relação entre confiabilidade e custo total de instalação das diferentes configurações**  
**Fonte: Própria.**

Os valores de MTBF e confiabilidade, principal objetivo deste trabalho, são fatores muito importantes nas tomadas de decisões para escolha da configuração do Sistema de UPS. Porém, deve-se ainda destacar que mesmo diante do elevado grau de importância não são os únicos fatores de decisão, uma vez que também devem ser levados em consideração fatores econômicos e de manutenção.

Para que os gastos com aquisição de equipamentos não fiquem tão elevados, normalmente a empresa estipula uma linha de corte, que estabelece as especificações de confiabilidade mínimas para as UPS's, que para o caso da empresa estudada é de 0,9459, ou um MTBF de 180.000 horas. Dessa maneira podemos verificar que todas as configurações instaladas superaram este nível de confiabilidade.

## 7 CONCLUSÃO

Através dos dados presentes neste trabalho foi possível desenvolver uma análise para chegar à conclusão de qual é a melhor configuração UPS-CC e UPS-CA para a empresa em estudo.

- UPS-CC configuração das unidades antigas;
- UPS-CA configuração das unidades antigas.

Também fica evidenciado que a configuração UPS-CC é mais confiável e mais viável economicamente do que a UPS-CA, sendo recomendado à empresa estudada manter sua política de substituição de consumidores em corrente alternada por consumidores de corrente contínua sempre que possível.

## 7.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1.1 Estudo de modelagem de um conversor CC-CC como alternativa para as unidades de diodos de queda.

7.1.2 Possibilidade de introdução de controle automático de variação da tensão de flutuação de acordo com a temperatura ambiente.

7.1.3 Possibilidade de introdução de um sistema de abertura do circuito elétrico entre banco de baterias e consumidores quando o valor da tensão atinge o limite mínimo.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Cleiton M.; **Pré-detalhamento das arquiteturas de automação de unidades de processo de um complexo petroquímico.** UFSC, Florianópolis, 2009.

BASTOS, Renan Fernandes; **Sistema de Gerenciamento para Carga e Descarga de Baterias (Chumbo-Ácido) e para busca do Ponto de Máxima Potência Gerada em Painéis Fotovoltaicos Empregados em Sistemas de Geração Distribuída.** USP, São Carlos, 2013.

BESENHARD, Jurgen O.; **Handbook of Battery Materials.** WILEY-VCH, 2011.

BROSSET, Michel G. E.; BODEREAU, Ghislaine C.; **Conhecendo as Baterias.** MBT Comércio e Representações LTDA, 2004.

CHAGAS, Marcos Wilson Pereira; **Novas Tecnologias para Avaliação de Baterias.** IEP/LACTEC, Curitiba, 2007.

COELHO, Kefas Damazio; **Estudo de uma Fonte Ininterrupta de Corrente Contínua de Baixa Potência Gerenciada por um Microcontrolador.** UFSC, Florianópolis, 2001.

CROMPTON, Thomas R.; **Battery Reference Book.** 3. ed. Hardcover, 2000.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento.** Rio de Janeiro: José Olympio, 1994.

DEUS, Marcos Henrique Araujo; **Chave Estática de Transferência, Estudo e Soluções de Casos, Focados na Continuidade do Fornecimento e Aumento da Confiabilidade do Sistema.** UFMG, Belo Horizonte, 2011.

FEIGENBAUM, A. V. **Controle da Qualidade Total: Gestão e sistemas.** São Paulo: Makron Books, v. 1, 1994.

FILHO, Gil Branco; **Dicionário de termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade.** Abraman, 1996.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

Furlan, André Luiz; **Análise Comparativa de Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica Fotovoltaica por meio de Baterias e Hidrogênio em Localidades Isoladas da Região Amazônica**. UNICAMP, Campinas, 2008.

GABIATTI, Gerson; **Estudo, Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Alimentação Ininterrupta de Energia**. UFSC, Florianópolis, 1991.

GONÇALVES, Fabricio Douglas; **Resposta de Sistemas Ininterruptos de Energia Frente a Fenômenos de Qualidade de Energia**. UNB, Brasília, 2008.

Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE 1184: **Guide for Batteries for Uninterruptible Power Supply Systems**. New York, 2006.

Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE 1188: **Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead- Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications**. New York, 2005.

Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE 446: **Emergency and Standby Power systems for Industrial and Commercial Applications Working Group**. New York, 2000.

Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE 493 (Gold Book): **IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power System**. New York, 2007.

Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE 1491: **Guide for Selection and Use of Battery Monitoring Equipment in Stationary Applications**. New York, 2005.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso; **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e disponibilidade**. Qualitymark, 2001.

Norma Brasileira. NBR IEC 60079-10: **Equipamentos elétricos para Atmosferas Explosivas**. Rio de Janeiro, 2006.

International Electrotechnical Commission. IEC 61511-3: **Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 3: Guidance for the determination of the required safety integrity levels**. Genebra, 2003.

International Electrotechnical Commission. IEC 62040-3: **Uninterruptible power systems (UPS) – Part 3: Method of specifying the performance and test requirements**. Genebra, 1999.

JÚNIOR, Carlos R. S.; Souza, Paulo H. R.; **Implementação de Controle Digital para Carregador de Baterias Tipo Chumbo-Ácido**. UFG, Goiânia, 2004.

JÚNIOR, Reinaldo S.; **Diagnóstico e Tratamento de Falhas Críticas em Sistemas Instrumentados de Segurança**. USP, São Paulo, 2011.

KING, Alexander; KNIGHT, Willian; **Uninterruptible power supplies and standby power systems**. McGraw-Hill, 2003.

LAZZARIN, Telles B.; **Paralelismo de inversores de tensão aplicado a Nobreaks**. IFSC, 2012.

LAZZARIN, Telles B.; **Estudo e Implementação de um Carregador de Baterias com uma Técnica de Avaliação de sua Vida Útil**. UFSC, Florianópolis, 2006.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B.; **Handbook of batteries**. 3. ed. McGraw-Hill, 2001.

MATTOS, J. C.; TOLEDO, J. C. **Custos da qualidade: diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000**. Revista Gestão & Produção, São Carlos, v. 5, ed. 3, 1998.

MATSUMOTO, Ricardo S.; Santos, Erick, W.; **DIBB – Dimensionador de Banco de baterias**. UFPR, 2010.

MARTINS, Denizar Cruz; BARBI, Ivo; **Introdução ao estudo de conversores CC-CA**. 2. ed. 2008.

MOURA CLEAN; **Manual Técnico - Acumuladores Moura S.A.** Belo Jardim, PE.

Norma interna Petrobras. N-2760: **Norma Petrobras: Sistema Ininterrupto de Energia para uso Industrial**. Versão em revisão para publicação: 09/2010.

PINHO, João Tavares; **Sistemas Híbridos**. 1. ed. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2008.

POMILIO, José Antenor; **Conversores CA/CC - Retificadores**. UNICAMP, São Paulo, 2014.

POMILIO, José Antenor; **Conversores CC/CA como Fontes de Alimentação com Frequência Fixa**. UNICAMP, São Paulo, 2014.

RASHID, Muhammad H.; **Eletrônica de Potência - Circuitos, Dispositivos e Aplicações**. Makron Books, 1999.

TOLEDO, J. C. **Conceitos sobre custos da qualidade**. Apostila, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2002.

WOTECOSKI, Antonio; **Confiabilidade Aplicada a Sistemas Críticos de Alimentação Elétrica. Aumento da Disponibilidade e Abandono do Sistema Tradicional**. Curitiba, 2006.

WOTECOSKI, Antônio; **Estudo e Implantação de Melhoria da Confiabilidade na Alimentação Elétrica 120 Vca de Sistemas Críticos de uma Planta Petroquímica**. Monografia, Curso de Pós Graduação em Gerência de Manutenção, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2006.