

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Orientador Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra

**Otimização Multicritério Para Despacho Econômico e Ambiental de Usinas Térmicas
Utilizando Enxame de Partículas**

Autor: Raimundo Edney dos Santos Azevedo

DM 15 / 2015

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Autor: Raimundo Edney dos Santos Azevedo

**Otimização Multicritério Para Despacho Econômico e Ambiental de Usinas Térmicas
Utilizando Enxame de Partículas**

Dissertação de Mestrado Acadêmico apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (UFPA) como parte dos requisitos finais para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

UFPA / ITEC / PPGEE

Campus Universitário do Guamá

Belém-Pará-Brasil

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Azevedo, Raimundo Edney dos Santos, 1973-
Otimização multicritério para despacho econômico e
ambiental de usinas térmicas utilizando enxame de
partículas / Raimundo Edney dos Santos Azevedo. - 2015.

Orientador: Ubiratan Holanda Bezerra.
Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica, Belém, 2015.

1. Geradores termoelétricos. 2. Usinas
produtoras de vapor - impactos ambientais. 3.
Recursos energéticos - aspectos econômicos. 4.
Energia - fontes alternatiivas. I. Título.

CDD 22. ed. 621.31243

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**"OTIMIZAÇÃO MULTICRITÉRIO PARA DESPACHO ECONÔMICO E AMBIENTAL
DE USINAS TÉRMICAS UTILIZANDO ENXAME DE PARTÍCULAS"**

AUTOR: RAIMUNDO EDNEY DOS SANTOS AZEVEDO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 27/03/2015

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra

(Orientador – PPGEE/UFPA)



Prof.ª Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes

(Avaliadora Interna – PPGEE/UFPA)



Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira

(Avaliador Interno – PPGEE/UFPA)



Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite

(Avaliador Externo – ITEGAM)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS sobre todas as coisas.

Aos meus pais pelos valores éticos e morais que me foram ensinados desde os primeiros anos de vida.

Aos meus queridos irmãos em especial a meu irmão Prof. Dr. Manoel Azevedo pelo apoio, amor e espírito de união.

Aos Professores, Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra, Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite pela orientação, competência e dedicação à realização desta dissertação.

Ao amigo Dr. Jandecy Cabral Leite pela competência, dedicação, ajuda e amizade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do ITEC-UFPA pelo apoio e convênio entre o ITEGAM e UFPA que trouxe para a Manaus maiores oportunidades para todos em seus estudos.

Aos colaboradores do ITEGAM que sempre me apoiaram nesta jornada.

Ao INDT pelo programa de apoio ao desenvolvimento de seus colaboradores.

Dedicatória

Em especial a minha esposa Vanderléia Gonçalves.
A meus filhos: Lilian Sandy, Leandro Enricky e João Felipe.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE SIGLAS	12
RESUMO	13
ABSTRACT	14
CAPITULO I: INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Uma abordagem geral.....	15
1.2. Objetivos	16
Objetivo Geral	16
Objetivo Específico	16
1.3. Estado da arte	16
1.4. Estrutura da dissertação	20
CAPITULO II: GERAÇÃO TERMOELÉTRICA	22
2.1 Introdução.....	22
2.2 Recursos Energéticos	22
2.2.1. Tipos de Combustíveis.....	23
2.3 Ciclo Combinado	25
2.3.1. Turbina a gás	25
2.3.2. Turbina a vapor	27
2.3.3. Caldeira de Recuperação de Calor (HRSG)	28
2.3.4. Configuração de um Ciclo Combinado	29
2.4 Obtenção de Dados do Sistema de Geração para a Realização do Despacho de Carga Proposto nesta Dissertação	30
2.5 Conclusão	30
CAPITULO III: MODELAGEM DO DESPACHO ECONÔMICO E AMBIENTAL	31
3.1. Introdução.....	31
3.2. Formulação do problema de despacho.....	32
3.2.1. Formulação básica de despacho econômico.....	32
3.2.2. Restrições de operação das unidades geradoras.....	34
3.2.3. Funções de custo não lineares considerando os efeitos das válvulas de injeção	36

3.3.	Despacho Ambiental	37
3.3.1.	Despacho considerando as emissões	37
3.4.	Formulação do Problema Multiobjectivo	39
3.5.	Método de Otimização utilizado	40
3.6.	A otimização por enxame de partículas básico.....	41
3.7.	Representação do PSO	42
3.8.	Algoritmo de Otimização por Enxame de Partículas.....	44
3.9.	Conclusão	45
CAPITULO IV: DESPACHO ECONÔMICO E AMBIENTAL PARA USINAS TÉRMICAS UTILIZANDO PSO EM LABVIEW		46
4.1.	Introdução	46
4.2.	PSO utilizando Toolbox do Matlab no Labview.....	46
4.3.	Programação em <i>Labview</i>	48
4.4.	Fluxograma do software de despacho econômico e ambiental.	49
4.5.	Customização da Solução do DEAC para uma Usina Termelétrica Real	51
4.6.	Descrição das telas de base de dados.....	53
4.7.	Estudos de Casos e Apresentação de Resultados.	56
4.7.2.	Otimização Multiobjetivo: Despacho Econômico e Ambiental Conjunto	58
4.8.	Apresentação de Resultados do DEAC em Diferentes Cenários de Operação.....	61
CAPITULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		68
5.1.	Conclusão	68
5.2.	Proposta para trabalhos futuros	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		69
APÊNDICE A		73
APÊNDICE B		81
APÊNDICE C		84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2. 1:Componentes da turbina a gás	26
Figura 2. 2:Turbina a gás com ciclo simples.....	27
Figura 2. 3:Caldeira de Recuperação de Calor (HRSG)	28
Figura 2. 4: Configuração de um Ciclo Combinado	29
Figura 3. 1: Curva típica do custo de operação de um gerador movido a combustíveis fosseis.	32
Figura 3. 2: Três situações de operação possíveis de uma unidade de geração (a – geração constante, b – aumento da geração; c – diminuição da geração).....	34
Figura 3. 3: Curva potência/custo com zonas de operação proibidas.....	35
Figura 3. 4- Curva potência/custo considerando os efeitos de válvulas de injeção.....	37
Figura 4. 1 – Toobox do PSO para encontrar o mínimo de ‘F6’	48
Figura 4. 2: Cálculo da função custo, conforme equação 3.2.....	49
Figura 4. 3: Fluxograma para a implementação computacional do DEAC, via o ambiente Labview.	50
Figura 4. 4: Tela de painel de controle de toda a UTE.....	51
Figura 4. 5: Painel de descrição de geradores HFO	52
Figura 4. 6: Painel de descrição de geradores à gás natural.	52
Figura 4. 7:Tela de leitura e inserção de novos de dados dos motores a óleo diesel da UTE.	53
Figura 4. 8: Tela de Leitura e inserção de dados de motores a gás da UTE.....	54
Figura 4. 9: Tela de visualização de dados de índices de emissão de motores a óleo diesel.	55
Figura 4. 10: Tela de visualização de dados de índices de emissão de motores a gás.	55
Figura 4. 11: Gráfico de Geradores no Despacho Ótimo Ambiental	57
Figura 4. 12:Gráfico dos geradores envolvidos no despacho econômico	58
Figura 4. 13: Valores totais do DEAC.	59
Figura 4. 14: Resultados do DEAC para as Unidades Geradoras	60
Figura 4. 15: Resultados da Otimização Multicritério no Labview	60
Figura 4. 16- Painel de Controle com todas as geradoras a gás ligadas e todas as unidades geradoras a óleo desligadas.	61
Figura 4. 17: Resultado da otimização multicritério para o cenário 1.....	62
Figura 4. 18: Valores totais da otimização para o cenário 1.	63
Figura 4. 19:Painel de controle com as unidades geradoras a gás 80% e as unidades geradoras a óleo a 20%.....	63
Figura 4. 20: Resultado da otimização multicritério para o cenário 2.....	64
Figura 4. 21: Valores totais da otimização cenário 2.	65
Figura 4. 22: : Painel de Controle com todas as unidades geradoras a gás desligadas e todas as unidades geradoras a óleo ligadas.	65
Figura 4. 23- Resultado da otimização multicritério para o cenário 3	66
Figura 4. 24: Valores totais da otimização cenário 3.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1: Classificação dos combustíveis segundo seu estado físico	23
Tabela 2. 2: Características de alguns óleos combustíveis.....	24
Tabela 4. 1- Parâmetros utilizados no toolbox do PSO.....	47
Tabela 4. 2 - Encontrando mínimo da Função 'F6'.....	47
Tabela 4. 3: Despacho Ótimo Ambiental	56
Tabela 4. 4: Despacho Econômico	57
Tabela 4. 5: Resultados da Otimização Multicritério: DEAC	59
Tabela 4. 6: Resultados da Otimização Multicritério para o cenário 1.	62
Tabela 4. 7: Resultados da Otimização Multicritério para cenário 2.	64
Tabela 4. 8: Resultados da Otimização Multicritério para cenário 3.	66
Tabela 4. 9: Quadro comparativo dos três cenários simulados.	67

LISTA DE SIGLAS

PSO	Particle Swarm Optimization
SEE	Sistema de Energia Elétrica
UC	Unit Commitment
ELD	Economic Load Dispatch
MCI	Motor de Combustão Interna
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
NPGA	Niched Pareto Genetic Algorithm
EED	Environmental Economic Dispatch
VI	Virtual Instrument
SQP	Sequential Quadratic Programming
DE	Despacho Econômico
NO_x	Nitrato de Óxido
UTE	Usina Termoelétrica
OC	Oléo Combustível
PCI	Poder Calorífico Inferior
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
CC	Câmara de Combustível
HRSG	Heat Recovery Steam Generator
SO₂	Dióxido de Enxofre
CO	Monóxido de Carbono
DEAC	Despacho Econômico Ambientalmente Combinado
AG	Algoritmo Genético
HFO	Heavy Fuel Oil
UGG	Unidade Geradora de energia elétrica a gás
TRAFO	Transformador
KWh	Quilowatt-hora
MW	Megawatt
GE	General Electric
MAN	Marca de Motores
Labview	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench

RESUMO

Um dos principais objetivos na geração de energia elétrica em sistemas térmicos é minimizar o consumo de combustível através da alocação ótima de geração de energia para cada unidade geradora via o despacho econômico, mantendo as emissões de poluentes dentro do limite do licenciamento ambiental, cuja solução integrada está sujeita a um conjunto de restrições de igualdade e desigualdade.

Devido às preocupações ambientais que se desenvolvem a partir das emissões produzidas por usinas que utilizam combustíveis fósseis, o despacho econômico que minimiza apenas o custo total de combustível não pode mais ser considerado uma opção adequada de despacho. Esta dissertação propõe, portanto, uma estratégia de despacho conjunto baseado em modelos matemáticos para resolver o problema do despacho de carga levando em conta os problemas econômicos e da emissão de poluentes, cujas premissas são combinadas em uma função objetivo e várias restrições de natureza elétrica e de níveis de emissões utilizando o ambiente de software *Labview*. Os resultados alcançados com a aplicação dos procedimentos aqui propostos a uma usina térmica da cidade de Manaus- AM, mostram-se bastante positivos no sentido de providenciar soluções de despacho que se mostram sustentáveis com relação aos aspectos econômicos e ambientais considerados.

PALAVRAS CHAVES: Despacho econômico, Despacho Ambiental, PSO, Labview, Otimização.

ABSTRACT

One of the main objectives in the generation of electricity in thermal systems is to minimize fuel consumption through optimal allocation of power generation for each generating unit via the economic dispatch, maintaining pollutant emissions within the limits of environmental licensing, whose integrated solution is subject to a set of equality and inequality constraints.

Due to environmental concerns that were developed from the emissions produced by power plants that use fossil fuels, the economic dispatch that minimizes only the total fuel cost can no longer be considered a suitable option of dispatch. This paper therefore proposes a strategy based on mathematical models to solve the problem of load dispatch considering the economic problems and the emission of pollutants, whose premises are combined into an objective function and several electrical and emission constraints using the *LabView* software environment. The results achieved with the application of the procedures proposed here to a thermal power plant in the city of Manaus AM, appear quite positive towards providing dispatch solutions that proved sustainable with regard to the economic and environmental aspects considered.

KEYWORDS: Economic Dispatch, Environmental Dispatch, PSO, Labview, Optimization.

CAPITULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Uma abordagem geral.

A energia elétrica está no cerne da sociedade moderna, sendo um componente essencial do nosso estilo de vida e um fator determinante na competitividade da economia.

Um sistema de energia elétrica é basicamente composto por centrais de geração, linhas de transmissão e distribuição de energia, transformadores, capacitores, reatores, compensadores, outros elementos de rede e cargas. Eles devem ser projetados e operados de forma a atender com segurança e qualidade as cargas a ele conectadas. Dessa forma, um sistema de energia elétrica (SEE) deve transportar a energia elétrica dos centros de produção para os locais de consumo com máxima continuidade do serviço, custos mínimos, máximo de segurança para as pessoas e equipamentos, com tensão e frequência nos limites impostos nos regulamentos das agências de regulação. Estes objetivos são muitas vezes antagônicos, pelo que há necessidade de procurar soluções de compromisso (Barbosa, 2006).

As várias atividades necessárias à exploração de um SEE, não têm todas o mesmo escalonamento no tempo. Existem as atividades de curto-prazo, que incluem a previsão da carga, *Unit Commitment* (UnC), despacho econômico, estudos do fluxo de carga ótimo, coordenação hidrotérmica, formação de preços e análises de segurança. Noutras situações, o planejamento da operação é dado num contexto mais amplo que, juntamente com o planejamento da operação a curto prazo, incluem o planejamento de atividades de a médio e longo prazo cobrindo um período de até alguns anos, como o planejamento da manutenção, previsão de carga de médio e longo prazo e o planejamento da configuração da rede entre outros. Seja qual for o contexto adotado, o principal objetivo é que a exploração do SEE seja capaz de ir ao encontro das exigências do sistema ao menor custo possível, com um elevado nível de confiabilidade e qualidade (Baozheng, 2006).

Com o crescimento da demanda e o aumento dos requisitos de eficiência e competitividade que hoje se observa nos sistemas de energia, a questão do despacho econômico tem ganhado cada vez mais importância, tendo em conta que este envolve vários aspectos que podem melhorar a eficiência e a competitividade do sistema.

O aumento do consumo de energia que se tem observado nos últimos anos, juntamente com a escalada do preço do petróleo, faz com que a redução dos custos de operação do sistema, e conseqüentemente, a redução dos custos do despacho, seja cada vez mais uma prioridade. Até

porque, sendo os custos de produção muito elevados, então qualquer otimização do despacho econômico que permitir redução dos custos pode ter um impacto significativo.

1.2. Objetivos

Objetivo Geral

O objetivo principal desta dissertação é Desenvolver Técnicas computacionais para Despacho Economico e Ambiental em Usinas Térmicas

Objetivo Específico

Criar uma base de dados de uma usina termelétrica real e utilizá-la em uma ferramenta desenvolvida em Labview e ainda otimizar o despacho econômico e ambiental para ser aplicada em qualquer usina termelétrica similar.

Portanto a principal contribuição dessa dissertação é desenvolver um aplicativo baseado na otimização por enxame de partículas em ambiente *Labview* para ser utilizado como ferramenta de despacho de uma usina termelétrica na qual será possível definir as melhores condições para fazer um despacho de carga com menor custo e com menor emissão de poluentes para o meio ambiente.

Como parte desta dissertação é feito uma revisão da literatura técnica sobre o tema com base em artigos abordados na revisão bibliográfica, apresentada a seguir.

1.3. Estado da arte

Apesar de se encontrar na literatura, extensa pesquisa com foco em despacho econômico em usinas térmicas, despacho de emissões e problemas multiobjectivos, grande esforço de pesquisa ainda se verifica até hoje no sentido de obter soluções de despacho integradas de menor custo, respeitando as restrições técnicas, econômicas e ambientais.

O primeiro uso de programação multiobjetivo com sistemas de energia para a solução deste problema foi abordada por *Cheong e Dillon (1970)*. Um resumo dos algoritmos de despacho ambiental usando métodos de otimização convencionais foi apresentado. No entanto, foi percebido que as técnicas de otimização convencionais, ou seja aquelas ditas paramétricas, tornavam-se muito mais dispendiosas computacionalmente quando relacionadas com problemas cada vez mais complexos de despacho.

Diferentes métodos de funcionamento do sistema de energia foram discutidos por *Miller e Malinowski (1994)*, várias abordagens foram discutidas com o objetivo de ultrapassar as desvantagens do problema de despacho econômico de carga (ELD) clássico, posteriormente alguns desses métodos foram baseados em programação linear sucessiva e programação quadrática sucessiva descrita por diferentes autores.

Eberhart e Kennedy, (1995), propuseram uma otimização de funções não-lineares utilizando a metodologia de enxame de partículas. Neste estudo eles fizeram uma nova abordagem em relação ao PSO e em diversas aplicações de otimização de sistemas como: implementações de dois paradigmas que são discutidos e comparados, incluindo um paradigma orientado localmente

Wong, et al., (1997), concentraram-se no desenvolvimento de uma abordagem via o emprego de técnicas de inteligência computacional para o problema do despacho econômico através de algoritmo genético.

Song e Chou, (1999), apresentaram uma nova abordagem de algoritmo de busca inteligente utilizando um algoritmo de colônia de formigas para resolver os problemas de despacho econômico em sistemas de energia elétrica.

Yalcinoz e Altun (2001), descreveram um algoritmo genético híbrido para resolver o problema de despacho econômico de energia, neste é utilizado o termo híbrido porque o algoritmo incorpora a solução produzida com uma melhoria da rede neural Hopfield, como uma parte da sua população inicial, esta técnica melhora portanto a qualidade da solução e reduz o tempo de processamento, e ainda é comparada com a técnica clássica de otimização.

Abido, (2003), usou uma abordagem baseada algoritmo genético de Pareto (NPGA) para resolver o problema multiobjetivo de despacho econômica e ambiental (EED). Esta abordagem propôs a diversidade preservando um mecanismo para encontrar amplamente diferentes soluções ótimas de Pareto. A comparação com os métodos clássicos demonstra a superioridade da abordagem proposta e confirma o seu potencial para resolver o problema EED multiobjetivo.

Balakrishnan, et al., (2003), apresentaram uma metodologia baseada em rede neural adaptativa de Hopfield, onde a inclinação da função de ativação é ajustada para encontrar soluções aproximadas de pareto para o problema de otimização multiobjetivo de despacho econômico de carga considerando a emissão de poluentes.

Em relação ao software Labview segundo pesquisadores da *National Instruments. (2003)*, esta plataforma de Instrumentação Virtual (VI) foi definida como a combinação de funções de

medição e controle de hardware incorporadas através de um software de aplicação com padrão tecnológico aplicado à indústria para criar sistemas de instrumentação definida pelo usuário.

Blach e Strbac (2005), avaliaram os benefícios do uso de armazenamento para fornecer reserva permanente como parte das necessidades globais e em termos de economia das emissões de CO₂ e de custos de combustível associados com o equilíbrio do sistema em comparação a outras soluções e ainda eles descobriram que fornecer uma maior parte do aumento das reservas necessárias sob a forma de armazenamento por hidro bombeamento aumenta a eficiência do funcionamento do sistema e reduz a quantidade de energia eólica, que não pode ser absorvido.

Pereira-Neto, et al.(2005), propuseram resolver tanto o problema de despacho econômico como funções de custo não-convexas utilizando o carregamento do ponto de válvula devido a este carregamento do ponto de válvula do problema de despacho, que leva em conta as características do gerador não-linear, como os limites de taxa de rampa e zonas operacionais proibidas na operação do sistema de potência.

Onate, et al., (2005), propuseram uma resolução do controle hidrotérmico usando uma função de custo equivalente para as unidades térmicas disponíveis enquanto o compromisso unidade e o despacho econômico foram resolvidas considerando os indivíduos mais capazes que são obtidos a partir da fase de coordenação hidrotérmica, restrições de volume de e descargas de água são tratados gerando os limites em ambas as unidades hidrelétricas e termelétricas e ainda as limitações físicas sobre os volumes de armazenamento dos reservatórios, bem como as quantidades descarregadas.

Shailti, et al., (2005), propuseram uma nova metodologia para a solução de despacho econômico dinâmico utilizando dez unidades do sistema de teste com funções de custo de combustível suaves e não suaves foram utilizadas para adequar e demonstrar a eficácia do método proposto.

Coelho e Mariani, (2006), propõem uma nova abordagem para a resolução de problemas de despacho econômica de carga com efeito de ponto de válvula utilizando gerador de sequências de caos e técnica programação quadrática sequencial (SQP) para otimizar o desempenho de problemas de despacho econômico.

Lee, et al., (2006), resumem as aplicações de otimização por enxame de partículas no estado da arte (PSO) para resolver o problema de despacho econômico (DE) eles centralizam na aplicação de técnicas de PSO ao DE e descrevem suas vantagens e desvantagens na resolução dos problemas de despacho.

Liu, et al.(2006) apresenta um novo método modificado de otimização por enxame de partículas (PSO) para a produção de sistema de energia elétrica estocástica de custos e planejamento de operações portanto neste método eles formulam um processo estocástico em que a disponibilidade da unidade e da demanda de carga do sistema são parâmetros aleatórios com estatísticas conhecidas. Interrupções da unidade são modeladas como processos de Markov.

Tankut Yalcinoz et al., (2006), apresentou uma técnica de otimização baseado em articulação progressiva de informações de preferências para resolver o despacho econômico e ambiental multiobjetivo.

Chen, et al., (2007), tentaram melhorar o desempenho da otimização por enxame de partículas incorporando o conceito de ligação dinâmica, que é um mecanismo essencial em algoritmos genéticos, e propuseram uma nova técnica de identificação de ligação chamada de descoberta de ligação dinâmica para resolver problemas de parâmetro reais de otimização.

Ummels, et al., (2007), exploraram as oportunidades em um novo layout de um sistema eólico de geração elétrica holandês para que os problemas de carga mínima estivessem previstos com rajadas de energia de vento forte.

Warsono, et al., (2007), propuseram um método de algoritmo genético usando “carga negativa” e abordagem "inclusiva" de uma quantidade significativa de energia renovável em sistemas de energia resultando em restrições adicionais sobre o despacho econômico de carga para acomodar a natureza intermitente da saída. Esta condição pode não corresponder com a demanda de carga do sistema ou mecanismos comerciais atuais em um sistema de energia.

Basu et al., (2009), apresentou um método satisfatório utilizando lógica nebulosa interativa baseado na técnica de programação evolucionária para uma programação hidrotermal multiobjetiva de curto prazo.

Chen e Li, (2009), fizeram dois algoritmos de otimização por enxame de partículas modificados com um dos coeficientes de aceleração constante sendo que foram propostas para resolver o problema despacho econômico de energia com funções de custo quadrática por partes. Os resultados demonstraram que a viabilidade e a capacidade do método proposto resolviam problemas de despacho econômico com funções de custo não suaves.

Park et al. (2010), apresentam uma abordagem eficiente para a solução de problemas de despacho econômico (ED) com funções de custo não convexas usando uma otimização por enxame de partículas melhorada (IPSO) e ainda eles propuseram um quadro melhorado PSO empregando sequências aleatórias, combinadas com os convencionais pesos inertes linearmente

decrecentes e adotam um esquema de operação de cruzamento para aumentar a exploração e aproveitamento capacidade do PSO.

Kothari, et al., (2011), apresentaram uma técnica orientada por computador para geração de energia térmica que resultaram na emissão de NOx mínimo portanto a mistura de combustível ideal e despacho de carga sob restrições ambientais seria uma operação de um sistema de geração de modo que uma usina com taxas de emissão mais elevados possam gerar menos poluentes do que seriam sob simplesmente dividir custos.

Dhillon et al., (2011), propôs uma nova estratégia de busca binária sucessiva evolutiva baseada em aproximação para resolver problemas de despacho econômico de emissões com isso esta técnica surgiu como ferramenta de otimização útil para o tratamento de perdas na rede, limites de taxa de rampa, o ponto de carga da válvula e evitar zona proibida para determinar a solução objetiva ideal de despacho, bem como ponto de operação no domínio não-inferior para qualquer número-objetivo. Esta técnica mostrou-se eficiente para minimizar o nível de emissão.

Barjonas et al., (2012), propôs um novo método para resolver o problema de Despacho Econômico de ciclo combinado para unidades geradoras térmicas que utiliza uma rede neural multicamada, treinada com dados reais de entrada e saída, para determinar a potência da unidade de geração de vapor com base na potência das unidades geradoras térmicas a gás, que são utilizados como parâmetros de entrada.

Segundo o Grupo de Trabalho *IEEE (1995)*, apresentaram várias obras de autores desde o início da economia de fornecimento de energia para o estado e por fim analisaram várias soluções ótimas de despacho desde 1979.

Lora e Nascimento (2004), destacaram o momento de profundas mudanças no setor energético brasileiro, após a superação da crise energética de 2001 e ainda fizeram várias pesquisas em relação as usinas termelétricas no Brasil e trouxeram à tona uma discussão sobre o papel da geração termelétrica na matriz energética nacional

Em relação à geração térmica *Grone e Hallmam (1997)*, consideram que os MCI, e em particular os motores a ciclo Diesel apresentaram a mais alta eficiência dentre as máquinas térmicas para capacidades inferiores a 50MW.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por cinco capítulos, assim estruturados:

O Capítulo 1 é de natureza introdutória, onde se apresenta a motivação para a realização deste trabalho, bem como os objetivos que se propõem alcançar no desenvolvimento da

dissertação. Apresenta ainda o estado da arte, que traz referências de grande relevância para o desenvolvimento desta dissertação no que diz respeito tanto à formulação de problemas de despacho econômico como de problemas de despacho ambiental em usinas termelétricas.

O Capítulo 2 faz uma abordagem sobre geração termelétrica, como são constituídas as usinas que utilizam motores a combustão interna e portanto utilizam combustíveis fósseis para alimentação dos geradores. Apresenta ainda como funciona o sistema de geração térmica que utiliza ciclo combinado.

O Capítulo 3 faz a abordagem do problema de despacho econômico e despacho ambiental. Neste capítulo é feita a formulação matemática do problema de despacho, apresentando o algoritmo de otimização PSO o qual é utilizado nesta dissertação.

No capítulo 4, é demonstrado como o algoritmo de otimização foi implementado no software *Labview*, e ainda é demonstrado como são inseridos os dados e as restrições para serem utilizados na otimização tanto para o despacho econômico, para o despacho ambiental e para o despacho multiobjetivo, sendo também realizados testes e comparados os resultados.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho de dissertação, bem como é feita ainda uma referência de como este trabalho pode ser futuramente ampliado.

CAPITULO II: GERAÇÃO TERMOELÉTRICA

2.1 Introdução

Neste capítulo será apresentado o motor a combustão interna (MCI) o qual representa a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido à sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso (Barbosa, 2006).

Dentre os MCI, os que operam segundo o ciclo diesel geralmente apresentam grande eficiência térmica quase que independentemente da faixa de operação (como por exemplo, com a carga parcial ou total) e não são tão sensíveis às condições ambientais como outros motores térmicos como por exemplo as turbinas a gás. É considerado, portanto, que os MCI, e em particular os motores a ciclo Diesel (Grone e Hallmam, 1997), apresentam a mais alta eficiência dentre as máquinas térmicas para capacidades inferiores a 50 MW, passando dos 40% e chegando a aproximadamente 58% se for considerada a recuperação de calor dos gases de exaustão (cogeração). Outras vantagens relacionadas à geração de eletricidade a partir de MCI incluem a possibilidade de se queimar diferentes combustíveis como o óleo Diesel, óleos pesados, óleos vegetais, entre outros, inclusive em motores já instalados, após pequenas alterações no motor (Lora e Nascimento, 2004). Entretanto, com a mudança de combustível, alterações inevitáveis ocorrerão em alguns dos parâmetros de desempenho, tais como potência, eficiência térmica, consumo, emissões, entre outros.

Adicionalmente, deve-se considerar que a modularidade dos equipamentos de uma Usina Termelétrica (UTE) operando com ciclo diesel possibilita um curto tempo de montagem e um mínimo espaço para construção, além da ótima flexibilização de carga. Uma vez pronta, a usina terá como característica uma rápida entrada em operação (*start-up*) e possibilidade de facilmente entrar ou sair de operação ao longo do dia. A faixa de aplicação de grupos motogeradores é ampla, podendo ir desde poucos kW até centenas de MW, para fins de geração isolada ou interligada, propulsão ou unidades de emergência.

2.2 Recursos Energéticos

Para a geração de energia termelétrica, o termo recurso energético está diretamente ligado ao termo combustível, o qual se define, como uma substância que ao se combinar quimicamente

com um composto oxidante gera uma reação exotérmica liberando elevadas quantidades de calor (Lora e Nascimento, 2004), os combustíveis podem ser classificados conforme o seu estado físico, como mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2. 1: Classificação dos combustíveis segundo seu estado físico

Estado Físico	Combustível
Sólido	Carvão mineral Carvão vegetal Xisto Turfa Lenha Resíduos Agroindustriais
Líquido	Gasolina Querosene Diesel Óleos combustíveis
Gasoso	Gás Natural GLP Biogás

2.2.1. Tipos de Combustíveis

Óleo Combustível.

A partir de 1986, os óleos combustíveis no Brasil passaram a ser divididos em dois grupos. O grupo “A” contém os óleos combustíveis com teor de enxofre superior a 1% e inferior a 5,5% e o grupo “B”, os com teor de enxofre inferior ou igual a 1%. Cada um destes grupos

foi subdividido em nove subgrupos, separados pela viscosidade, onde o nº 1 representa a mais baixa viscosidade neles encontrados e o nº 9, a mais alta.

Segundo Lora e Nascimento (2004), dos diversos tipos de óleos combustíveis disponíveis no mercado, o OC1A, OC1B, OC2A e OC2B representam 65% do mercado de óleos combustíveis no Brasil. As características físico-químicas mais relevantes destes combustíveis estão relacionadas na tabela 2.2:

Tabela 2. 2: Características de alguns óleos combustíveis.

Óleo Combustível (tipo)	Viscosidade máxima (SSF@50°C)	Enxofre (% peso)	PCI (kJ/kg)
OCA1	600	2,20	40488
OCA2	900	2,80	40023
OCB1	600	0,80	41221
OCB2	900	0,74	41142

Fonte: Lora e Nascimento, 2004

Geralmente em usinas térmicas usando ciclo diesel, a troca de combustível nos motores tem impacto direto no comportamento destes. Os efeitos na eficiência, potência e consumo serão os aspectos investigados na presente dissertação.

Gás Natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, resultado do acúmulo de energia solar sobre matéria orgânica enterrada a grandes profundidades. Em seu estado natural é composto, principalmente por metano, com proporções variadas de etano, propano, butano, hidrocarbonetos mais pesados e também por gases inorgânicos, considerados impurezas tais como, nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos de enxofre.

O gás natural é dividido em duas categorias: associado e não associado. Gás associado é aquele que, no reservatório, está dissolvido no óleo ou sob a forma de capa de gás. Neste caso, a produção de gás é determinada basicamente pela produção de óleo. Gás não associado é

aquele que, no reservatório, está livre ou em presença de quantidades muito pequenas de óleo, e nesse caso só se justifica comercialmente produzir o gás.

São várias as vantagens do uso do gás natural, mas a principal é que por ser um combustível gasoso não precisa ser atomizado para sua combustão, o que ao final se traduz em uma combustão mais eficiente, limpa e uniforme. Atualmente, as atenções estão cada vez mais focadas para o meio ambiente, e neste cenário o gás natural se apresenta como uma boa opção energética.

2.3 Ciclo Combinado

Uma usina termelétrica operando em ciclo combinado pode ser definida como um conjunto de obras e equipamentos cuja finalidade é a geração de energia elétrica, através de um processo que combina a operação de uma turbina a gás, movida pela queima de gás natural ou óleo diesel, diretamente acoplada a um gerador.

Os gases de escape da turbina a gás, devido à temperatura, promovem a transformação da água em vapor para o acionamento de uma turbina a vapor, nas mesmas condições descritas no processo de operação de uma termelétrica convencional. A potência média dessas centrais vem a ser de 300 MW, muito inferior à de uma termelétrica convencional.

Uma usina que opera em ciclo combinado usa turbinas a gás e a vapor associadas em uma única planta, ambas gerando energia elétrica a partir da queima do mesmo combustível. Para isto, o calor existente nos gases de exaustão das turbinas a gás é recuperado, produzindo o vapor necessário para o acionamento da turbina a vapor.

2.3.1. Turbina a gás

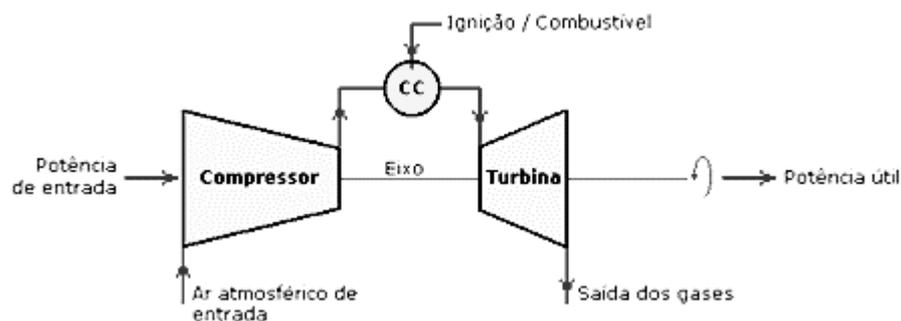
Os principais elementos das termelétricas de ciclo combinado são as turbinas a gás, uma tecnologia em grande parte proveniente das turbinas de propulsão a jato, desenvolvido para as aeronaves militares e civis, onde o combustível é o querosene. Nas termelétricas, o combustível mais utilizado é o gás natural, embora seja quase sempre dada a possibilidade de operar com um segundo combustível, como o óleo diesel, por exemplo, para evitar interrupções no caso de problemas no suprimento do gás.

Pode-se distinguir três componentes principais em uma turbina a gás:

- 1) O compressor;
- 2) A câmara de combustão (CC);
- 3) A turbina propriamente dita.

A figura 2.1 ilustra os três componentes principais de uma turbina a gás.

Figura 2. 1:Componentes da turbina a gás



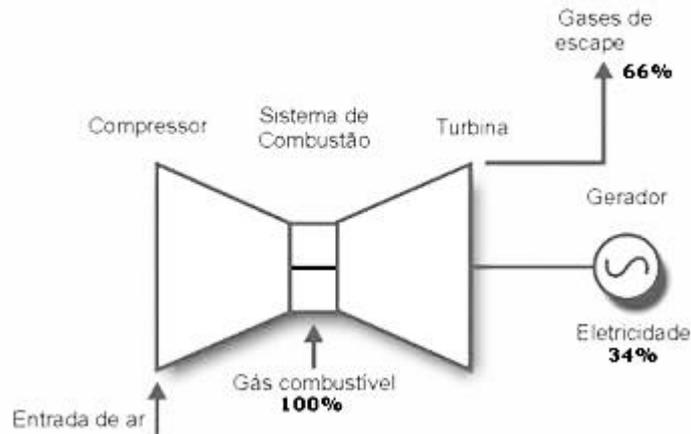
Fonte: Lora e Nascimento,2004

A turbina é uma fonte de acionamento mecânico tanto do compressor como do gerador elétrico. Como mencionado, uma turbina a gás consiste basicamente de um compressor com sua respectiva seção de entrada de ar, um sistema de combustão e uma turbina de expansão associada à seção dos gases de escape.

Se uma turbina estiver operando isoladamente (ciclo simples), como nas aeronaves, sua eficiência térmica é baixa, da ordem de 36%, ou seja, cerca de 64% do calor gerado pela queima do combustível é perdido nos gases de exaustão. Poderia se elevar esta eficiência térmica através da elevação de temperaturas e pressões de entrada, porém isto elevaria demasiadamente o custo de construção e manutenção dos equipamentos do processo, inviabilizando o projeto.

A figura 2.2 apresenta um arranjo típico de uma turbina a gás em ciclo simples, apresentando a distribuição de energia de entrada e saída:

Figura 2. 2: Turbina a gás com ciclo simples



Fonte: Lora e Nascimento, 2004

As turbinas a gás são ótimas máquinas para a produção de energia elétrica em ciclo simples ou cogeração, principalmente ao ser utilizado o gás natural ao invés de combustíveis líquidos. Quando se utiliza o gás natural como combustível, as emissões de poluentes, tais como NO_x, SO₂ e CO, são muito baixas. Em contrapartida, os combustíveis líquidos são conhecidos por acarretarem problemas de manutenção devido à presença de elementos químicos e sais que aceleram a corrosão dos componentes que se encontram na câmara de combustão e no caminho dos gases quentes.

2.3.2. Turbina a vapor

O segundo elemento básico nas usinas de ciclo combinado é a turbina a vapor, cuja função é gerar energia elétrica adicional a partir do vapor produzido no HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). Seu funcionamento não difere das turbinas usadas em termelétricas convencionais a vapor, com queima de carvão ou óleo. O vapor de saída da turbina é condensado e volta a ser usado como água de alimentação do HRSG.

As turbinas acionadas a vapor possuem suas dimensões, formato, dutos de entrada, válvulas de emergência, válvulas de regulação e câmara de admissão determinadas pelo volume e pelas condições iniciais do vapor (temperatura e pressão).

Após movimentar a turbina, o vapor retorna ao estado líquido e é bombeado de volta à caldeira, dando continuidade ao processo. A transformação do vapor em água novamente é feita com o auxílio de um circuito de água de refrigeração, o chamado condensador. Essa água pode

provir de um rio, lago ou mar, dependendo da localização da usina. Ressalta-se que essa água de refrigeração não tem contato direto com o vapor, e somente circula no interior dos tubos do condensador.

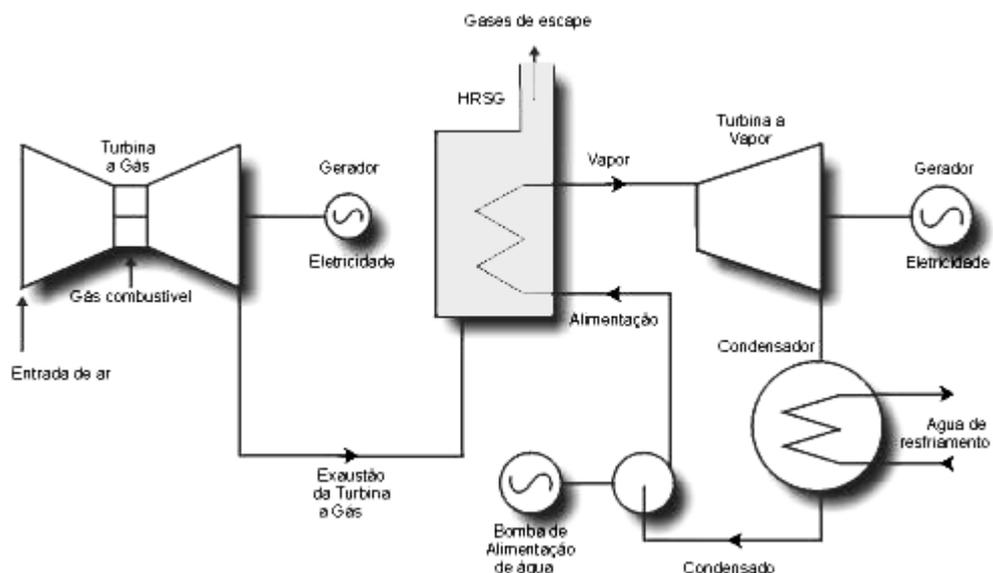
Caso a instalação esteja à beira-mar ou próxima de um rio, a preferência é pelo condensador a água, com passagem única. Se isto não for possível, podem-se utilizar torres de resfriamento ou mesmo, caso não haja água disponível, radiadores resfriados a ar. Neste último caso, os investimentos tendem a crescer e a eficiência térmica da planta fica reduzida.

2.3.3. Caldeira de Recuperação de Calor (HRSG)

As usinas de ciclo combinado têm como um dos seus principais elementos um gerador de vapor capaz de recuperar parte do calor dos gases de exaustão das turbinas a gás. Este gerador de vapor, ou caldeira, é normalmente conhecido pela sigla de origem inglesa HRSG, que significa Caldeira de Recuperação de Calor.

Usando um HRSG, a eficiência térmica eleva-se substancialmente, como se vê na figura 2.3, pois o vapor assim produzido aciona uma turbina, sem necessidade de queima de combustível adicional.

Figura 2. 3: Caldeira de Recuperação de Calor (HRSG)



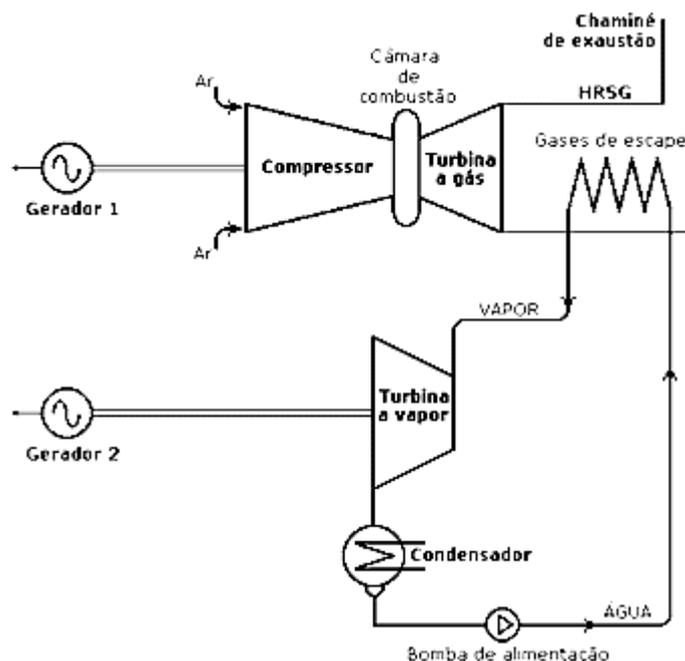
2.3.4. Configuração de um Ciclo Combinado

Os gases de escape de uma turbina a gás contêm uma significativa energia térmica. Esta energia pode ser utilizada numa caldeira de recuperação de calor (HRSG) para a produção de vapor que, por sua vez, pode ser expandido numa turbina a vapor. A esta configuração denomina-se geração em ciclo combinado. Na figura 2.4 está representado um exemplo típico deste arranjo de geração.

Um sistema de ciclo combinado requer consideravelmente menos combustível para produzir a mesma potência elétrica que seria produzida em dois sistemas simples separados. Com turbinas modernas, o rendimento de uma instalação em ciclo combinado é superior a 50%.

A escolha das turbinas a gás determina a capacidade de produção de uma termelétrica de ciclo combinado. Não se pode, porém, arbitrar livremente a potência de uma turbina, pois os poucos fabricantes mundiais têm suas máquinas padronizadas. Encontram-se turbinas a gás desde 1 MW a 330 MW.

Figura 2. 4: Configuração de um Ciclo Combinado



Fonte: Lora e Nascimento, 2004

2.4 Obtenção de Dados do Sistema de Geração para a Realização do Despacho de Carga Proposto nesta Dissertação

A presente dissertação baseou-se em uma análise feita sobre a produção de energia de uma usina termelétrica localizada no Estado do Amazonas, na cidade de Manaus, por um período de três os anos de operação cujos dados relativos a operação da Usina encontra no Apêndice X. Nesta análise foi feito um estudo da usina como um todo, destacando os principais setores e equipamentos que impactam no custo da usina. Com base nestes dados será montada a estrutura de otimização de despacho de carga proposta nesta dissertação, com a inclusão de restrições econômicas e ambientais.

2.5 Conclusão

A principal vantagem de uma usina termoelétrica é que pode ser construída próxima aos centros consumidos, economizando assim o custo das linhas de transmissão.

As desvantagens são que, além do alto custo dos combustíveis, há grande emissão de gases na atmosfera, que contribuem para o efeito estufa e chuva ácida, causando prejuízos significativos ao meio ambiente.

CAPITULO III: MODELAGEM DO DESPACHO ECONÔMICO E AMBIENTAL

3.1. Introdução

Para se fornecer energia elétrica, de forma confiável e econômica aos consumidores, as empresas geradoras enfrentam diversos problemas técnicos e econômicos no que se refere à operação, planejamento e controle dos sistemas de energia. A maioria dos problemas de otimização dos sistemas de energia, como é o caso do despacho econômico, apresentam características complexas e não lineares, com pesadas restrições de igualdade e desigualdade (Pereira-Neto, 2005).

Os investimentos em unidades de produção de energia elétrica são elevados, e os recursos necessários à sua operação são consideráveis e limitados. Assim, atualmente, um dos principais objetivos na operação dos mercados de eletricidade descentralizados é a otimização destes recursos (Onate et al., 2005).

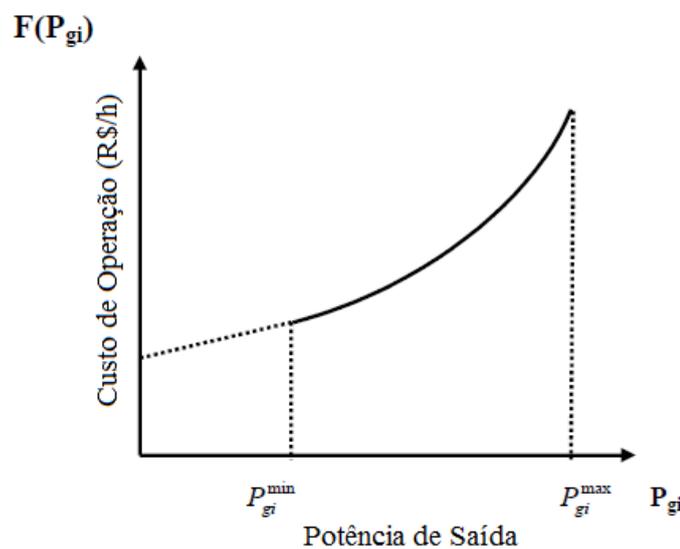
Com o desenvolvimento dos modernos sistemas de energia, o problema do despacho econômico tem recebido crescente atenção, uma vez que diversos aspectos da operação dos sistemas de energia estão envolvidos. Com o aumento do consumo de energia em escala mundial e o crescente aumento do preço do petróleo nos anos mais recentes, a redução dos custos de operação do sistema torna-se num assunto da mais alta importância. O problema de despacho econômico consiste na alocação da produção de energia necessária entre as unidades de geração disponíveis de modo a atender a demanda, minimizando o custo do combustível, sujeito a restrições tanto físicas como operacionais (Lora e Nascimento, 2004). Como resultado, o despacho econômico determina a melhor combinação de potências de todas as unidades geradoras, visando às necessidades da carga ao menor custo de operação possível, satisfazendo as restrições de igualdade e desigualdade do sistema (Miller, 1994). Além disso, o objetivo de um despacho econômico moderno é explorar a rede muito mais perto do seu limite de segurança. Uma vez que os custos de produção são bastante elevados, um despacho ótimo permite a economia de uma considerável quantidade de recursos (Park et al., 2010).

Por questões de simplicidade, nos problemas tradicionais de despacho econômico de unidades térmicas, a função de custo de cada unidade geradora tem sido aproximada por uma função quadrática, e é resolvida usando técnicas de programação matemática, tais como o multiplicador de Lagrange, método do gradiente e o método de Newton. Estes métodos conseguem resolver eficientemente problemas de despacho econômico, mas apenas se a curva do custo marginal ou incremental dos combustíveis for constantemente crescente. Ou seja, estes

métodos matemáticos necessitam de informação da derivada da função de custo, como o custo marginal e incremental (Park, 2010 e Lee, 2006).

Contudo, num problema prático de despacho, as funções de custo das unidades geradoras apresentam descontinuidades, devido a zonas de operação proibidas, pontos de válvulas de injeção, aos efeitos da multiplicidade de combustíveis, limites das rampas dos geradores, entre outros, e existem múltiplos mínimos locais e mínimos globais nessas curvas características. Por conseguinte, na prática, um problema de despacho econômico deve ser representado como um problema de otimização onde a função objetivo é não linear, com restrições de igualdade e desigualdade, que não pode ser resolvido diretamente através de métodos matemáticos, uma vez que estes têm maior probabilidade de falhar na localização da solução ótima, resultando daí em erros consideráveis. Todos estes aspectos tornam este problema de encontrar um mínimo global bastante complexo (Miller, 1994 e Liu, 2006).

Figura 3. 1: Curva típica do custo de operação de um gerador movido a combustíveis fosseis.



Fonte: (Kothari, 2011)

3.2. Formulação do problema de despacho

3.2.1. Formulação básica de despacho econômico

O despacho econômico em geral, pode ser formulado matematicamente com uma função objetivo e dois conjuntos de restrições, ou seja, um de igualdade e outro de desigualdade

(Miller, 1994 e Park, 2010). Para um sistema de geração com N geradores a serem despachados, a função custo total de geração, a ser minimizada, assume a forma apresentada na equação (3.1), como sendo o somatório dos custos de cada unidade de geração individual. Como uma aproximação usual, utiliza-se uma função quadrática para representar o custo de geração individual de cada unidade geradora, conforme apresentado na equação (3.2), que corresponde a curva de custo representada na figura 3.2

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (3.1)$$

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (3.2)$$

Onde:

F_T - Custo total da produção,

F_i - Função de custo do gerador i;

a_i, b_i, c_i - Coeficientes da função de custo do gerador i;

P_i - Potência ativa gerada no gerador i;

N - Número de geradores.

Para o balanço de potência ativa, uma restrição de igualdade deve ser satisfeita, a qual estabelece que a geração total deve suprir a carga total e as perdas de transmissão, conforme expresso na equação (3.3).

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_D + P_{LOSS} \quad (3.3)$$

Onde P_D é a carga total suprida e P_{LOSS} são as perdas totais. Estas perdas podem ser expressas em função da potência gerada, através dos coeficientes de perda B, de acordo com a relação (3.4), a seguir.

$$P_{LOSS} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{0i} P_i + B_{00} \quad (3.4)$$

A potência gerada por cada gerador deve estar compreendida entre um limite máximo e um limite mínimo. A respectiva restrição de desigualdade para cada gerador i é dada como:

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (3.5)$$

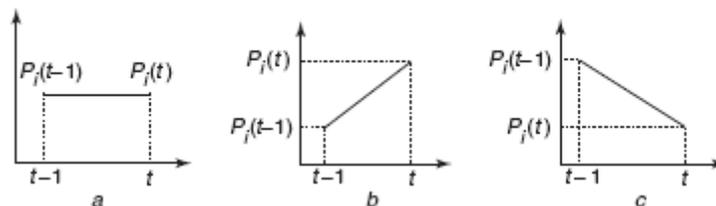
Onde $P_{i,min}$ e $P_{i,max}$ são a mínima e máxima potências geradas pelo gerador i , respectivamente.

3.2.2. Restrições de operação das unidades geradoras.

Em problemas de despacho econômicos mais complexos, para além da restrição de balanço e das restrições dos limites de geração dos geradores, podem ainda existir restrições associadas com os limites de rampa de geração dos geradores, restrições considerando zonas proibidas de operação, restrições de reserva girante e restrições de capacidade de fluxos nas linhas de transmissão.

Alguns artigos na literatura focam nos aspectos econômicos do despacho econômico, assumindo que a potência produzida pelos geradores pode ser ajustada instantaneamente. Embora esta suposição seja útil por permitir a simplificação do problema, não reflete o verdadeiro processo de operação das unidades geradoras, pois a gama de operação para estas unidades é restringida pelas suas rampas limites, conforme mostrado na Figura 3.3. Nesta figura são mostradas três situações possíveis nas quais o gerador produz durante o intervalo de tempo entre $t-1$ e t . A Figura 3.3a mostra a unidade gerando um valor constante de potência, a Figura 3.3b mostra a unidade geradora aumentando a sua geração, enquanto que na Figura 3.3c a unidade encontra-se diminuindo a sua geração (Barbosa, 2006).

Figura 3. 2: Três situações de operação possíveis de uma unidade de geração (a – geração constante, b – aumento da geração, c – diminuição da geração).



Os limites inferior e superior das rampas podem ser escritos da seguinte forma (Park et al.,2010):

$$P_i - P_i^0 \leq UR_i \quad e \quad P_i^0 - P_i \leq DR_i \quad (3.6)$$

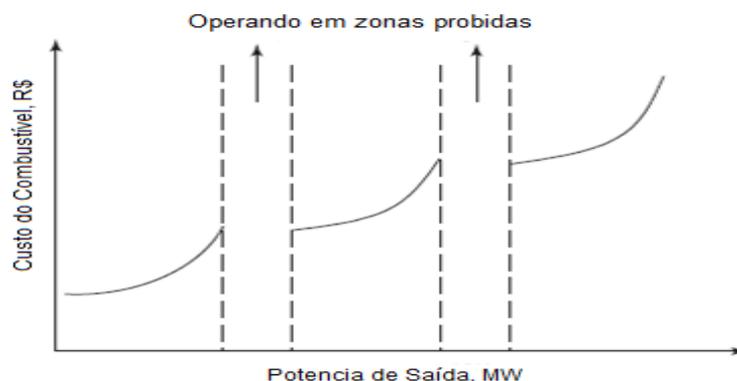
Onde P_i^o é a potência gerada anteriormente pelo gerador i . UR_i e DR_i são limites superiores e inferiores das rampas do gerador, respectivamente.

As restrições dos limites das rampas e os limites de potência das unidades geradoras podem ser escritos numa única restrição de desigualdade como apresentado em (Park et al., 2010), expresso na relação (3.7) a seguir:

$$\max\{P_{i,\min}, P_i^o - DR_i\} \leq P_i \leq \min\{P_{i,\max}, P_i^o + UR_i\} \quad (3.7)$$

Em alguns casos, as unidades de produção não conseguem funcionar em toda a sua faixa de operação, devido a limitações físicas de operação. As zonas de operação proibidas de uma unidade térmica típica podem ser, devido por exemplo, a vibrações num rolamento do eixo causadas pelo vapor, ou pode ser devido a falhas da própria máquina ou em equipamento auxiliar a ela associado, tais como caldeiras, bombas de alimentação, entre outros. Na prática, a forma da curva potência/custo na vizinhança das zonas proibidas é difícil de se determinar através de testes reais de desempenho ou a partir de registros operacionais. Em termos reais, os melhores resultados em termos econômicos são alcançados evitando a operação das unidades nestas zonas. As funções de custo que consideram as zonas de operação proibidas podem ser representadas como na Figura 3.4 (Barbosa, 2006).

Figura 3. 3: Curva potência/custo com zonas de operação proibidas.



Fonte: (Park, 2010)

Assim, para unidades de geração com zonas proibidas de operação, existem restrições adicionais na gama de operação da unidade (Park et al., 2010), tal que:

$$P_i \in \begin{cases} P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,1}^l \\ P_{i,k-1}^u \leq P_i \leq P_{i,k}^l \\ P_{i,pz_i}^u \leq P_i \leq P_{i,max} \end{cases}, \quad k = 2, 3, \dots, pz_i \quad i = 1, 2, \dots, n_{pz} \quad (3.8)$$

Onde $P_{i,k}^u$ e $P_{i,k}^l$ são, respectivamente, os limites inferior e superior da zona de operação proibida do gerador. Aqui, pz_i é o número de zonas proibidas da unidade i e n_{pz} é o número de unidades que têm zonas proibidas de operação.

Outra restrição que pode ser considerada num problema de despacho econômico é o requisito da existência de uma reserva girante do sistema. A restrição da reserva girante para assegurar a segurança do sistema de energia, é expressa da seguinte forma (Lee e Park, 2006):

$$\sum_{i=1}^N \{ \text{Min}(P_{i,max} - P_i, UR_i) \} \geq S_R \quad (3.9)$$

Onde S_R é a reserva girante requerida do sistema.

No caso da existência de restrições de fluxo de potência ativa nas linhas de transmissão, tem-se que (Lee e Park, 2006):

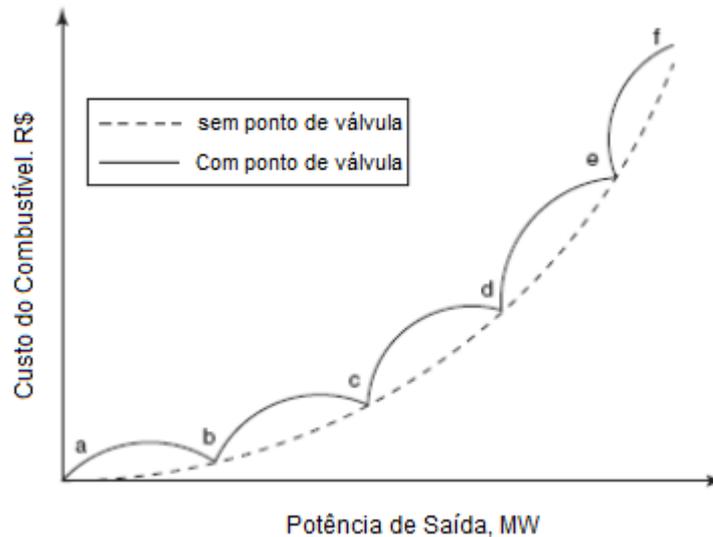
$$|P_{L,f,k}| \leq P_{L,f,k}^{max}, \quad k = 1, 2, \dots, L \quad (3.10)$$

Onde $P_{L,f,k}$ é a potência ativa na linha k e L é o número de linhas de transmissão consideradas.

3.2.3. Funções de custo não lineares considerando os efeitos das válvulas de injeção

Uma característica que causa a não linearidade da função objetivo de um problema de despacho econômico é a consideração do efeito das válvulas de injeção (*valve point effect*), que é muitas vezes modelado como uma função sinusoidal retificada recorrente (modelo *Walter-Sheble*), como aquela que está representada na Figura 3.5 (Barbosa, 2006).

Figura 3. 4- Curva potência/custo considerando os efeitos de válvulas de injeção.



Fonte: (Kothari, 2011)

As unidades geradoras com turbinas a vapor com várias válvulas apresentam uma grande variação nas funções de custo. Uma vez que as válvulas de injeção dão origem a ondulações, a função de custo contém uma não linearidade maior. Assim, para o caso de se considerar este efeito, à função objetivo comum deve-lhe ser adicionado funções senoidais, resultando na seguinte função (Park et al., 2006):

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + |e_i \times \sin(f_i \times (P_{i,min} - P_i))| \quad (3.11)$$

Onde e_i e f_i são coeficientes do gerador que refletem os efeitos das válvulas de injeção.

3.3. Despacho Ambiental

3.3.1. Despacho considerando as emissões

O problema de despacho econômico é simultaneamente minimizar a taxa de custo global e atender à demanda de carga de um sistema de potência. O problema de despacho econômico clássico destina-se a fornecer a quantidade necessária de energia para o menor custo possível. O problema de despacho pode ser indicado matematicamente como se segue:

Para minimizar o custo total de combustível em usinas térmicas:

$$F = \min_{P_i} \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (3.12)$$

Sujeito às restrições de igualdade de balanço de potência real:

$$\sum_{i=1}^n P_i - P^D - P^L = 0 \quad (3.13)$$

Onde:

$$P^L = \sum_{i=1}^n B_i P_i^2 \quad (3.14)$$

E a restrição de desigualdade de limites nas saídas de geradores é:

$$P_{min,i} \leq P_i \leq P_{max,i} \quad (3.15)$$

Onde a_i , b_i e c_i são os coeficientes de custo do gerador i th e n é o número de geradores comprometidos com o sistema operacional. P_i é a potência de saída do gerador, P^D é a demanda de carga e P^L representa as perdas de transmissão.

No entanto, há um grande benefício financeiro da estratégia de despacho clássica descrita acima, ele tende a produzir alta emissão de SO_2 e NO_x . Uma alternativa de despacho estratégica para satisfazer a exigência ambiental é minimizar o custo de operação sob restrições ambientais. O controle das emissões pode ser incluído em um despacho econômico convencional, adicionando o custo ambiental do despacho normal (Yalcinoz et al,2006). As emissões são modeladas como um custo ambiental e, em seguida, eles são adicionados ao custo de geração. A função objetivo torna-se então:

$$\text{Minimizar } C = w_0 F + w_1 E_S + w_2 E_N \quad (3.16)$$

Onde E_S é a função de emissão de SO_2 , E_N é a função de emissão de NO_x , w_0 , w_1 e w_2 são pesos de custo, emissão de SO_2 (Dióxido de Enxofre) e as emissões de NO_x (Óxido de Nitrogênio) respectivamente.

Neste trabalho, como curvas de custo de combustível, o SO_2 e NO_x , Estas curvas podem ser expressas como se segue:

$$E_S = \sum_{i=1}^n (d_i + e_i P_i + f_i P_i^2) \quad (3.17)$$

e,

$$E_N = \sum_{i=1}^n (g_i + h_i P_i + k_i P_i^2) \quad (3.18)$$

Onde d_i , e_i , f_i , g_i , h_i e k_i são os parâmetros estimados com base em resultados de ensaio das emissões unitários.

Neste modelo, quando os pesos de emissão são iguais a zero, a função objetivo torna-se um problema despacho econômico clássico. Nesta opção despacho econômico, unidades são minimizar os custos totais de produção do sistema. No despacho de emissão de SO_2 , pesos w_0 , w_2 são iguais a zero e w_1 é igual a um. No despacho de emissão de SO_2 , o objetivo é o de minimizar a emissão de SO_2 .

No despacho de emissão de NOx , pesos w_0 , w_1 são iguais a zero e w_2 é igual a um e o problema torna-se minimização das emissões de NOx . Quando os pesos não são zero na função objetivo, o problema torna-se minimizar o custo de combustível mais emissões ao mesmo tempo.

Mesmo que a ideia básica por trás da função composta dado na Eq. (3.16) seja boa, tem as seguintes dificuldades na aplicação:

- 1) O método de otimização com base numa função objetivo composta resulta numa "perda" de informações durante a conversão de um problema múltiplo para um único problema;
- 2) As condições ótimas para uma resposta podem estar longe de ser ideal ou mesmo fisicamente impraticável para os outros. Neste caso, os métodos objetivo único tradicional de otimização não são suficientes.

3.4. Formulação do Problema Multiobjective

O problema de despacho econômico ambientalmente combinado (DEAC) pode ser classificado como uma otimização multiobjective e um problema de programação não-linear. O objetivo do DEAC é estimar a quantidade ótima de energia gerada minimizando ambos os objetivos: custo de combustível (econômico) e de níveis de emissão(ambiental) simultaneamente, desde que satisfaçam a demanda de carga e restrições operacionais.

3.5.1. Objetivo econômico

O custo de combustível de uma unidade térmica é considerado como um critério essencial para a viabilidade econômica. A curva de custo de combustível, para a aplicação aqui proposta,

é assumida como sendo uma função quadrática da potência de saída gerada P_{gi} , apresentada na equação (3.11) e aqui repetida como:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i + |e_i \sin(f_i (P_{i \min} - P_i))|) \quad \$/h \quad (3.19)$$

3.5.2. Objetivo ambiental

As curvas de emissão podem ser diretamente relacionadas com a curva de custo do combustível através da taxa de emissão em Mkal, que é um fator constante para um dado tipo de combustível. Portanto, a quantidade de emissão é dada como uma função quadrática da saída do gerador, ou seja:

$$F_2 = \sum_{i=1}^{NG} (\alpha_i P_{gi}^2 + \beta_i P_{gi} + \gamma_i + \eta_i \exp(\delta_i P_{gi})) \quad \text{ton / h} \quad (3.20)$$

Onde α_i , β_i , γ_i , η_i e δ_i são os coeficientes de emissão e NG é o número de geradores que participam do despacho.

Dessa forma, o problema de otimização multiobjetivo pode ser definido como:

$$\text{Minimizar } [F_1, F_2]^T \quad (3.21)$$

Sujeito a:

Restrições de igualdade e desigualdade, expressas nas equações (3.6 a 3.10).

Onde F_1 , F_2 , são os objetivos a serem minimizados ao longo do conjunto de decisão admissível para o vetor de potências geradas P_g .

3.5. **Método de Otimização utilizado**

As modernas técnicas de otimização heurística como *simulated anelling*, algoritmos evolutivos, redes neurais, e colônia de formiga tem merecido muita atenção por parte dos pesquisadores, devido à sua capacidade de encontrar uma solução ótima global em quase todos os problemas de DEs (Coelho, 2006; Balakrishnan, 2003). Um desses paradigmas heurísticos modernos de otimização é o método de Enxame de Partículas (*Particule Swarm Optimization* ou PSO) (Eberhart; Kennedy, 1995), o qual será adotado neste trabalho.

O PSO é um tipo de algoritmo evolutivo com base numa população de indivíduos e motivado pela simulação do comportamento social em vez da sobrevivência do indivíduo mais

forte. É um processo evolutivo, baseado na população, semelhante aos outros algoritmos evolucionários, sendo inicializado com uma população de soluções aleatórias.

A diferença mais marcante entre PSO e os outros algoritmos evolucionários é que PSO escolhe o caminho da cooperação sobre a competição. Os outros algoritmos usam geralmente alguma forma de dizimação, para garantir a sobrevivência do mais apto. Em contraste, a população PSO é estável e indivíduos não são destruídos ou criados. Os indivíduos são influenciados pelo melhor desempenho de seus vizinhos. Além disso, o PSO tradicionalmente não tem operadores genéticos como cruzamento e mutação entre os indivíduos, e outros indivíduos nunca substituem as partículas durante a execução. Em vez disso, o PSO refina sua busca por atrair as partículas de posições com boas soluções.

Além disso, em comparação com os algoritmos genéticos (AGs), o mecanismo de troca de informações em PSO é significativamente diferente. Nos AG's, os cromossomos compartilham informações entre si. Assim toda a população se move como um grupo em direção a uma área ideal. No PSO, somente o Gbest (ou Pbest) passa as informações para os outros. É um único mecanismo de compartilhamento de informações. A evolução só olha para a melhor solução. No PSO, todas as partículas tendem a convergir para a melhor solução rapidamente comparado ao AG, mesmo na busca local, na maioria dos casos (Balakrishnan, 2003; Kennedy, 1995).

3.6. A otimização por enxame de partículas básico

Otimização por enxame de partículas (PSO) foi originalmente concebido e introduzido por Eberhart Kennedy em 1995 (Kothari,2011). O PSO é um algoritmo de busca de população com base na simulação do comportamento social dos pássaros, abelhas ou cardume de peixes. Cada indivíduo dentro do enxame é representado por um vetor multidimensional no espaço de busca. Este vetor tem também um vetor atribuído, o qual ~~que~~ determina o próximo movimento da partícula e é chamado de vetor de velocidade.

O algoritmo PSO também determina como atualizar a velocidade de uma partícula. Cada partícula atualiza sua velocidade baseado na velocidade atual e a melhor posição que explorou de tal forma que será também baseado na melhor posição global explorado pelo enxame.

O processo PSO é repetido então um determinado número de vezes ou até que seja alcançado um erro mínimo com base no índice de desempenho pretendido. Pode-se então

demonstrar que este modelo simples pode lidar com problemas difíceis de otimização de forma eficiente.

3.7. Representação do PSO

Seja p coordenadas (posição) de uma partícula e v sua velocidade de voo correspondente (velocidade) em um espaço de busca, respectivamente. Portanto, a i -ésima partícula i -th é representado como $P_i = [P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{iNG}]$ no espaço NP-dimensional. A melhor posição anterior de cada partícula é registrado e representado como $Pb_i = [Pb_{i1}, Pb_{i2}, Pb_{i3} \dots Pb_{iNG}]$. O índice da melhor partícula entre as partículas do grupo é representado pelo $[G_1, G_2, G_3, \dots, G_{NG}]$. a taxa de velocidade da partícula é representado como $v_i = [v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{iNP}]$. A nova velocidade e posição de cada partícula podem ser calculadas utilizando a velocidade atual e a distância do Pb_{ij} para G_j , como mostrado na seguinte expressão (Kothari, 2011).

$$v_{ij}^{r+1} = w \times v_{ij}^r + C_1 \times R_1 \times (Pb_{ij}^r - P_{ij}^r) + C_2 \times R_2 \times (G_j^r - P_{ij}^r) \quad (i = 1, 2, \dots, NP; j = 1, 2, \dots, NG) \quad (3.22)$$

$$P_{ij}^{r+1} = P_{ij}^r + v_{ij}^{r+1} \quad (i = 1, 2, \dots, NP; j = 1, 2, \dots, NG) \quad (3.23)$$

Onde:

NP é o número de partículas no grupo.

NG é o número de membros na partícula

R é o ponteiro de interação (geração)

w é o fator peso de inércia

C_1 e C_2 são as constantes de aceleração

R_1 e R_2 são valores aleatórios no intervalo $[0,1]$

v_{ij}^r é a velocidade do j -ésimo membro da i -ésima partícula na r -ésima iteração.

$$v_j^{min} \leq v_{ij}^r \leq v_j^{max} \quad (3.24)$$

P_{ij}^r é a posição atual da j -ésima partícula j -th na r -ésima iteração

Os parâmetros v_j^{min} e v_j^{max} determinam a resolução, ou aptidão, para procurar regiões entre a posição atual e a posição de destino. Se v_j^{max} é muito alta, as partículas podem voar passando por boas soluções. Se v_j^{max} é muito baixa, as partículas não podem explorar suficientemente além de soluções locais.

As constantes $C1$ e $C2$ representam a ponderação dos termos de aceleração estocásticos que puxam cada partícula em direção ao Pb_{ij}^r, G_j^r . Baixos valores permitem que as partículas se desloquem para longe da região de destino antes de serem atraídas de volta. Por outro lado, valores elevados resultam um movimento abrupto em direção, ou passando das regiões-alvo (Kothari, 2011). Considerando esses aspectos as equações (3.20) e (3.21) são escritas como:

$$v_{ij}^{new} = w \times v_{ij} + C_1 + R_1 \times (P_{ij}^{best} - P_{ij}) + C_2 + R_2 \times (G_j^{best} - P_{ij}) \quad (3.25)$$

$$P_{ij}^{new} = P_{ij} + v_{ij}^{new} \quad (i = 1,2 \dots NP; j = 1,2 \dots NG) \quad (3.26)$$

Na estratégia do PSO, a melhor posição da partícula, P_{ij}^{best} e a melhor posição global G_j^{best} são os principais fatores. A melhor posição de todos para P_{ij}^{best} é feita como sendo G_j^{best} . A Seleção adequada de peso de inércia é feita na equação (3.25) que fornece equilíbrio entre explorações globais e locais, assim exigindo menos iteração em média para encontrar uma solução suficientemente ótima. Como originalmente desenvolvido, w muitas vezes diminui linearmente entre 0,9 à 0,4 durante uma interação. Em geral o peso de inércia w é definido de acordo com a seguinte equação (Kothari, 2011):

$$w = w^{max} - \frac{w^{max} - w^{min}}{IT^{max}} \times IT \quad (3.27)$$

Onde:

IT^{max} é o número máximo de iterações (geração) e

IT é o número atual de iterações.

3.8. Algoritmo de Otimização por Enxame de Partículas

De acordo com o apresentado nas seções anteriores, o seguinte procedimento pode ser usado para a implementação do algoritmo PSO.

- 1) Para cada partícula do enxame P_i
 - a) Inicializar a posição da partícula com um vetor aleatório distribuído uniformemente nos limites inferior e superior do espaço de busca.
 - b) Avaliar o desempenho (aptidão) de cada partícula.
 - c) Procurar a aptidão mínima de cada desempenho de partículas.
 - d) Atribuir a posição mais conhecida da partícula (local) para a posição inicial
 - e) Atribuir a melhor posição Global para a posição mais conhecida do enxame (local) de acordo com o valor mínimo de aptidão
 - f) Inicializar a velocidade da partícula dentro de limites mínimos e máximos do espaço de busca.
- 2) Até que um critério de terminação for atendido (por exemplo, número de iterações executadas, ou adequada aptidão atingida), repita.
 - a) Para cada partícula:
 - 1) Criar vetores aleatórios R1 e R2 distribuídos uniformemente.
 - 2) Atualização velocidade da partícula: utilizando a Eq. (4.3).
 - 3) Atualizar a posição da partícula pela adição de velocidade:
Usando a Eq.(4.4).
 - 4) Avaliar o desempenho (fitness) de acordo com as novas posições:
 - a) Se a nova aptidão é menor do que a aptidão anterior ENTÃO

b) Atualizar as novas posições de partículas como o melhor da partícula (local) posição conhecida.

c) Atribuir nova aptidão como o fitness local e encontrar o mínimo de cada um.

d) Atualize melhor posição conhecida (melhor global) do enxame de acordo com a aptidão mínima.

b) Agora mantenha as melhores novas posições com a melhor solução encontrada.

3.9. Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os conceitos básicos sobre despacho econômico, a modelagem matemática utilizada, as restrições de igualdade e desigualdade utilizadas no método de despacho econômico.

Foi apresentado também o Despacho Ambiental ou despacho considerando as emissões de gases de efeito estufa, com a respectiva modelagem matemática.

E por fim foi apresentado o algoritmo de otimização PSO a ser utilizado nessa dissertação, a formulação matemática do mesmo, e o algoritmo a ser implementado no sistema de software Labview, para a solução do problema de DEAC.

CAPITULO IV: DESPACHO ECONÔMICO E AMBIENTAL PARA USINAS TÉRMICAS UTILIZANDO PSO EM LABVIEW

4.1. Introdução

Como já discutido no Capítulo III sobre Despacho Econômico, pode-se concluir que a operação a um custo mínimo absoluto não pode mais ser considerado o único critério para o despacho de energia elétrica devido à crescente preocupação com a consideração ambiental. A geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis libera vários contaminantes, tais como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, na atmosfera, cujas emissões devem ser minimizadas.

Com este foco, este trabalho desenvolve uma nova ferramenta computacional apropriada para o gerenciamento de uma usina térmica geradora de eletricidade com o objetivo de fazer um despacho econômico de carga, assim como o despacho de emissões (despacho ambiental) e ainda fazer uma otimização multicritério, que gere um melhor resultado das duas situações.

4.2. PSO utilizando Toolbox do Matlab no Labview

A programação apresentada nesta dissertação tem como base o toolbox desenvolvido em *Matlab* e adaptado para o *Labview*, desenvolvido pelo Prof Brian Birge. Meus sinceros agradecimentos a ele por esses toolboxes eficientes. Segundo o artigo (Birge, 2003), o método utilizado neste toolbox utiliza os seguintes parâmetros como padrão: Épocas = 13, Numero de Interações no Treinamento = 20 e Tamanho da População utilizada = 20, conforme os comentários da programação utilizado no artigo e mostrada na tabela 4.1.

Neste toolbox é utilizada a função Schaffer F6. Esta função possui duas entradas e uma saída e tem a semelhança de uma imagem de uma pedra jogada na água formando ondas circulares que diminuem quando o raio aumenta. Possui um mínimo global, conhecido como $x,y = 0$, e muitos mínimos e máximos locais, o que a torna uma boa função de teste para algoritmos.

Tabela 4. 1- Parâmetros utilizados no toolbox do PSO

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%PSOparams - PSO parameters
%
%P(1)- Epochs between updating display,
% works with P (13), default = 25.
%
%P(2)- Maximum number of iterations (epochs) to train,
% default = 2000.
%
%P(3)- population size, default = 20
%
%P(4)- maximum particle velocity, default = 4
%
%P(5)- acceleration const #1 (local best influence),
% default = 2
%
%P(6)- acceleration const #2 (global best influence),
% default = 2
%
%P(7)- Initial inertia weight, default = 0.9
%
%P(8)- Final inertia weight, default = 0.2
%
%P(9)- Epoch by which inertial weight = final value,
% default = 1500
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

Fonte: (Birge, 2003)

Executando a função PSO para um mínimo vinculado por $x,y=100$, obtem-se o resultado mostrado na tabela 4.2 e na figura 4.1.

Tabela 4. 2 - Encontrando mínimo da Função 'F6'

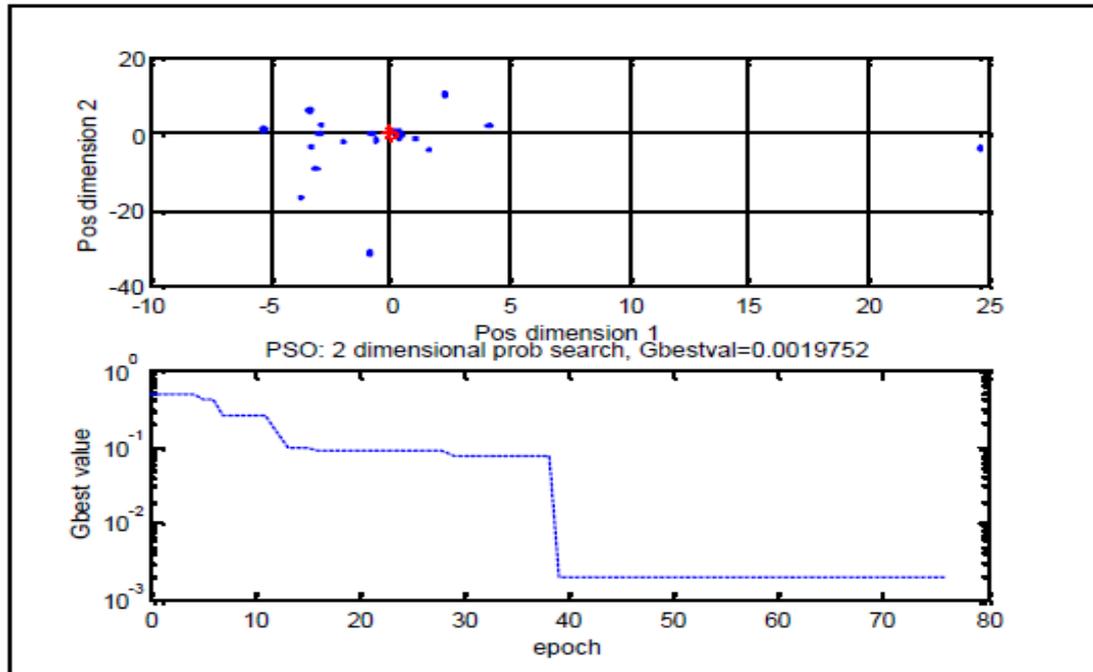
```

>> pso('f6',2,[-100,100;-100,100],0)
PSO: 1/2000 iterations, GBest = 0.499643.
PSO: 26/2000 iterations, GBest = 0.0858499.
PSO: 51/2000 iterations, GBest = 0.00197516.
PSO: 76/2000 iterations, GBest = 0.00197516.
PSO: 89/2000 iterations, GBest = 0.00197516.
***** global error gradient too small for too long
***** this means you've got the solution or it got
stuck
ans =
-4.400531404313024e-002
4.527939759978006e-003
1.975158000277422e-003

```

Fonte: (Birge, 2003)

Figura 4. 1 – Toolbox do PSO para encontrar o mínimo de ‘F6’



Fonte: (Birge, 2003)

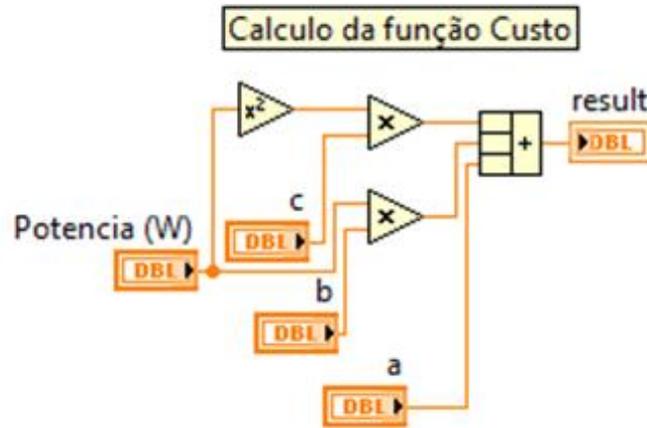
4.3. Programação em *Labview*

Ainda no Capítulo III, discutiu-se vários métodos de otimização para o problema do DEAC, optando-se em utilizar o método de enxame de partículas, pelo mesmo apresentar características que ajudam a encontrar de forma rápida, as soluções para este problema.

Dessa forma, a partir da formulação matemática do problema DEAC, e utilizando o método de enxame de partículas foram elaboradas as rotinas de solução empregando o ambiente *Labview*.

A programação completa em *Labview* encontra-se apresentada no Apêndice B. Na Figura 4.2 apresenta-se um exemplo desses blocos de programação, que no caso específico apresentado corresponde a programação da função custo, conforme estabelecida na equação (3.2).

Figura 4. 2: Cálculo da função custo, conforme equação 3.2.



Fonte: (Elaborada pelo autor)

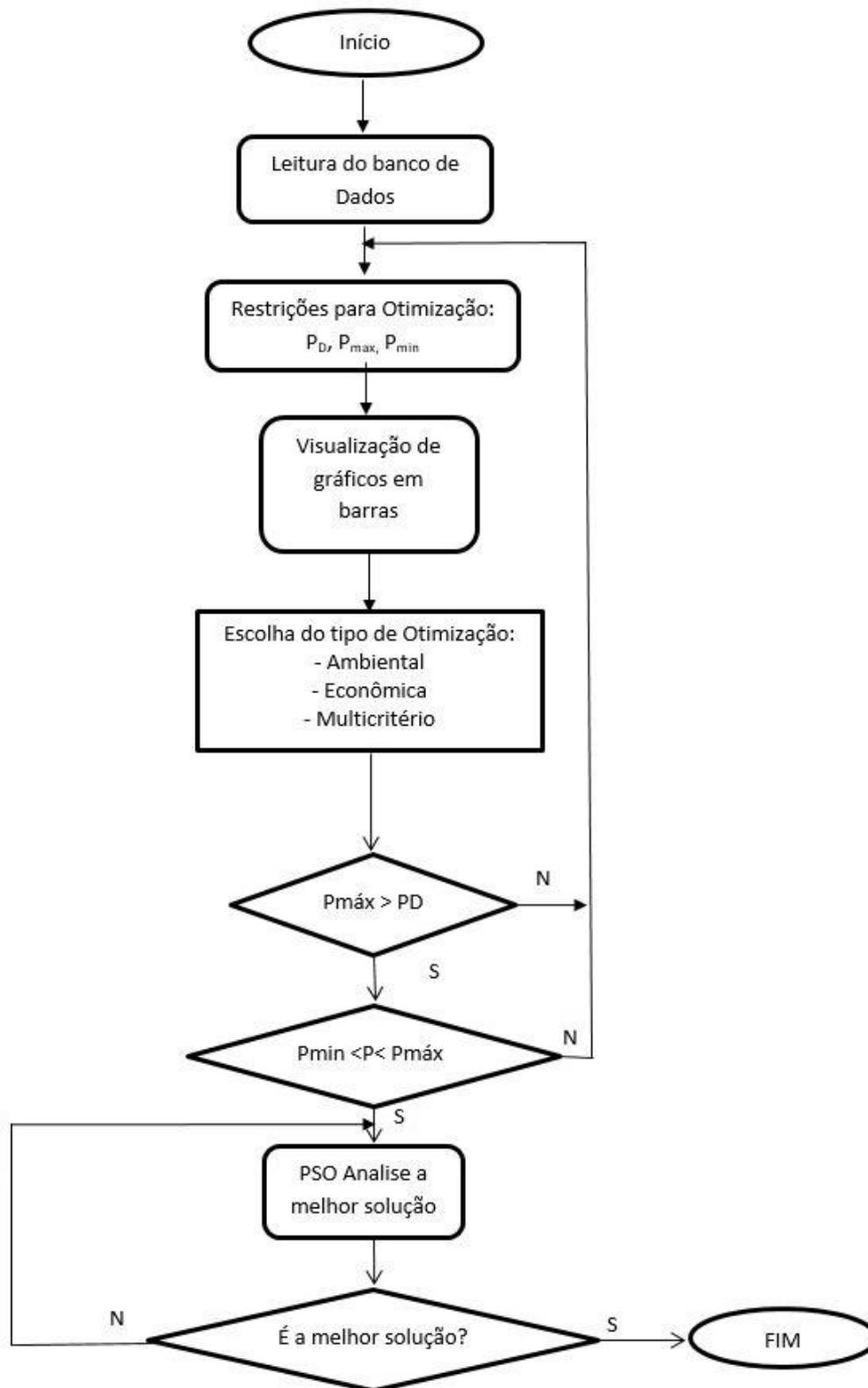
Esta e outras formulas desenvolvidas no software *Labview* são apresentadas no Apêndice B. Também em *Labview* foram programadas todas as janelas de dados, de diálogos e de apresentação de resultados que compõem a interface com o usuário, e que serão apresentadas ao longo deste capítulo.

4.4. Fluxograma do software de despacho econômico e ambiental.

A implementação da solução completa do problema de Despacho Econômico e Ambiental Conjunto (DEAC) foi realizada em *Labview*, segundo o fluxograma apresentado na Figura 4.3, a seguir.

Nota-se, pela observação deste fluxograma, que é oferecido ao analista a possibilidade de executar somente o Despacho Econômico, somente o Despacho Ambiental, e também, a solução conjunta, a qual encontra-se na opção multicritério.

Figura 4. 3: Fluxograma para a implementação computacional do DEAC, via o ambiente *Labview*.



Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.5. Customização da Solução do DEAC para uma Usina Termelétrica Real

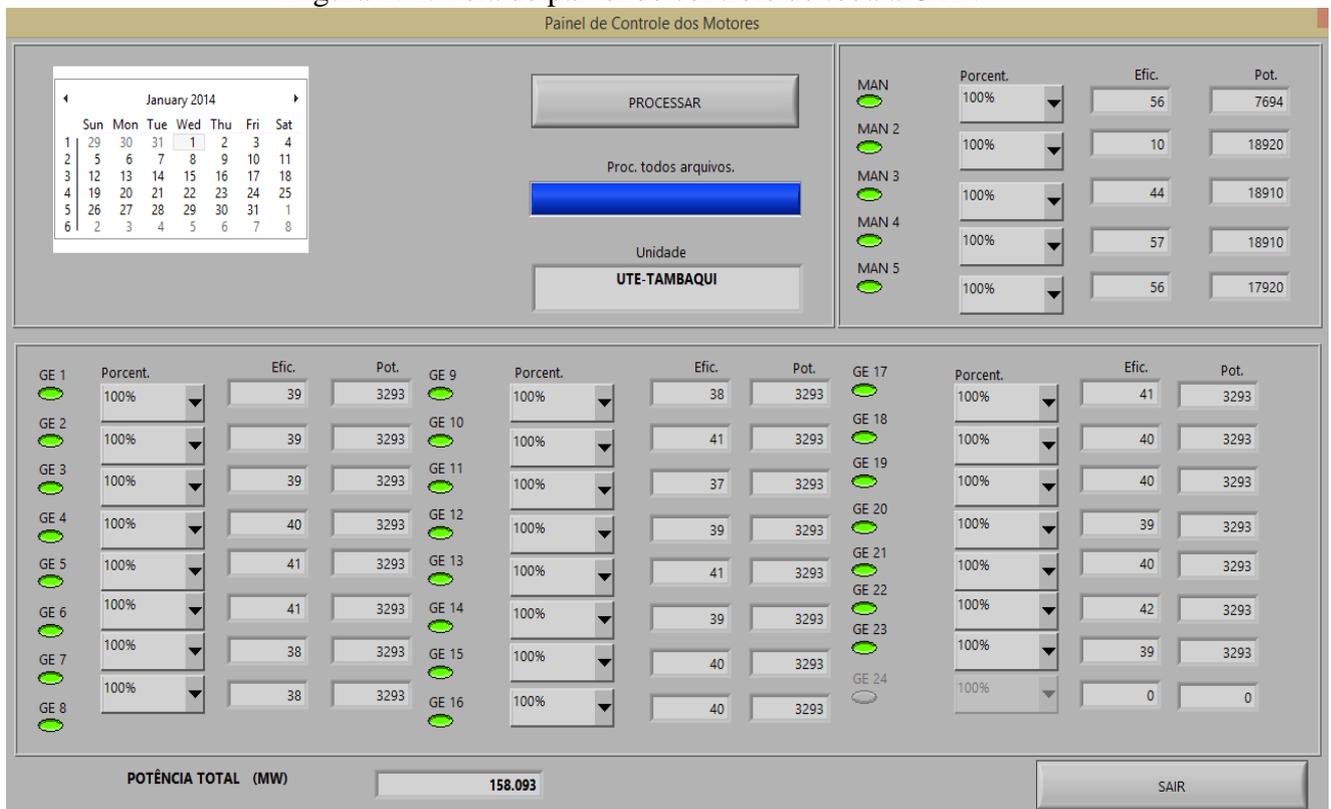
O modelo de despacho proposto nesta dissertação vai ser customizado, empregando o ambiente *Labview*, para representar o ambiente real de uma usina termelétrica da cidade de Manaus- AM, cujo sistema gerador é formado por cinco (05) geradores a óleo combustível pesado (HFO), os quais são denominados como (MAN1 à MAN5) e 23 geradores a Gás Natural, designados como (UGG1 à UGG23).

A seguir será feita a descrição técnica dessa Usina, mediante janelas de dados desenvolvidas em *Labview*.

Painel de Controle - Nesta tela, apresentada na Figura 4.4, é possível visualizar a usina como um todo, onde são destacadas as unidades geradoras a óleo combustível pesado no canto superior direito, e na parte inferior as unidades geradoras a gás. Cada gerador possui um botão verde que acende e apaga ativando ou não o respectivo gerador. Ao lado de cada botão de ativação tem-se indicadores de eficiência da unidade geradora e o valor da potência gerada.

Para atualizar os dados de cada simulação é necessário pressionar o botão “processar”. As unidades geradoras à HFO somam uma potência máxima de 82,3MW e as à Gás respectivamente de 75,79MW. A potência total da UTE é de 158,09MW.

Figura 4. 4: Tela de painel de controle de toda a UTE.



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Nas figuras 4.5 e 4.6, são mostrados os detalhes de cada grupo de geradores, a óleo combustível e a gás, como também é possível ligar e desligar cada gerador acionando o botão verde ao lado de cada unidade.

Figura 4. 5: Painel de descrição de geradores HFO

	Porcent.	Efic.	Pot.
MAN 	100%	56	7694
MAN 2 	100%	10	18920
MAN 3 	100%	44	18910
MAN 4 	100%	57	18910
MAN 5 	100%	56	17920

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 6: Painel de descrição de geradores à gás natural.

GE 1	Porcent.	Efic.	Pot.	GE 9	Porcent.	Efic.	Pot.	GE 17	Porcent.	Efic.	Pot.
	100%	39	3293		100%	38	3293		100%	41	3293
	100%	39	3293		100%	41	3293		100%	40	3293
	100%	39	3293		100%	37	3293		100%	40	3293
	100%	40	3293		100%	39	3293		100%	39	3293
	100%	41	3293		100%	41	3293		100%	40	3293
	100%	41	3293		100%	39	3293		100%	42	3293
	100%	38	3293		100%	40	3293		100%	39	3293
	100%	38	3293		100%	40	3293		100%	0	0

Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.6. Descrição das telas de base de dados

Nesta seção serão apresentadas todas as telas referentes à inserção e análise da base de dados. Estes dados foram extraídos da UTE-Tambaqui em Manaus, correspondente a um período de três anos (Apêndice A). Tanto as unidades geradoras a gás como as unidades a óleo combustível emitem relatório diários que incluem a de potência gerada, a eficiência, índice de emissões e outros.

4.6.1. Dados dos Geradores a Óleo Diesel – Nesta tela apresentada na figura 4.7 é possível visualizar, analisar e editar todos os dados dos geradores da usina, através da ferramenta de análise ou edição do menu do software de otimização.

Figura 4. 7:Tela de leitura e inserção de novos de dados dos motores a óleo diesel da UTE.

LEITOR DE ARQUIVOS HFO						
MAN1	UTE-TAMBAQUI	100%	80%	60%	40%	20%
VARIÁVEIS						
Consumo de combustível em kg/h		1477	1471	1114	773	439
Pot. de saída do motor em kW / P (KW)		7694	7688	5764	3843	1912
Temperatura ambiente		21,5	22,8	26,6	26,6	27,2
Temp. Med. dos gases de exaustão °C		384	382	353	343	365
Exergia espec. do comb. kJ/kg (ef)		50050,7	50050,7	50050,7	50050,7	50050,7
LHV (kJ/kg)		42700	42700	42700	42700	42700
Fluxo de combustível em kg/seg (mf)		0.32	0.32	0.24	0.17	0.10
Fluxo de Calor (Q) kJ/seg		13664.71	13609.20	10306.36	7151.54	4061.48
Exergia de combustível kJ/seg		16016.83	15951.77	12080.40	8382.54	4760.59
Eficiência energética		56.31	56.49	55.93	53.74	47.08
Eficiência exergética		48.04	48.20	47.71	45.85	40.16
Eficiência segundo Entransia		59.56	59.94	60.37	58.14	50.84
Consumo de combustível em m3/h		1477.00	1471.00	1114.00	773.00	439.00

Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.6.2. Dados dos geradores a gás – A Figura 4.8 mostra os dados de geradores a gás. Como no caso dos geradores a óleo, nesta tela também é possível visualizar, editar e analisar os dados extraídos do banco de dados.

Figura 4. 8: Tela de Leitura e inserção de dados de motores a gás da UTE.

		100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%
VARIÁVEIS										
Consumo de combustível em l/seg		216,5	197,1	175,7	154,5	133,8	113,6	92,8	75,6	57,4
Pot. de saída do motor em kW/P (KW)		3293	2980	2640	2310	1980	1650	1320	990	660
Temperatura ambiente		37,5	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1
Temp. Med. dos gases de exaustão (°C)		585	585	585	585	586	588	590	596	613
Exergia espec. do comb. kJ/kg (ef)		50050,7	50050,7	50050,7	50050,7	50050,7	50050,7	50050,7	50050,7	50050,7
LHV (kJ/kg)		49985,74	49985,74	49985,74	49985,74	49985,74	49985,74	49985,74	49985,74	49985,74
Fluxo de combustível em kg/seg (mf)		0.17	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04
Fluxo de Calor (Q) kJ/seg		8421.47	7680.70	6822.95	6004.20	5185.44	4405.68	3586.92	2924.12	2222.33
Exergia de combustível kJ/seg		8432.42	7690.68	6831.83	6012.01	5192.19	4411.41	3591.59	2927.92	2225.22
Eficiência energética		39.10	38.80	38.69	38.47	38.18	37.45	36.80	33.86	29.70
Eficiência exergetica		39.05	38.75	38.64	38.42	38.13	37.40	36.75	33.81	29.66
Eficiência segundo Entransia		41.74	41.19	41.08	40.85	40.54	39.75	39.05	35.90	31.44
Consumo de combustível em m3/h		777.60	709.20	630.00	554.40	478.80	406.80	331.20	270.00	205.20

Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.6.3. Índices de Emissão das unidades a HFO – São apresentados na Figura 4.9, sendo possível visualizar, analisar e editar todos os dados dos índices de emissão conforme a data de entrada.

4.6.4. Índices de Emissão das unidades à Gás – são apresentados na Figura 4.10, sendo possível visualizar, analisar e editar todos esses dados conforme a data de entrada.

Figura 4. 9: Tela de visualização de dados de índices de emissão de motores a óleo diesel.

Cálculos de Índice de Emissões MAN

Índice de emissões dos motores MAN

UTE-TAMBAQUI Janeiro 2014

Emissão	MAN1	MAN2	MAN3	MAN4	MAN5 - BC
Material Particulado MP (mg/ Nm3)	156,65	155,02	163,02	154,19	167,12
Dióxido de Enxofre SO2 (mg/ Nm3)	287,42	295,03	303,34	283,5	0
Dióxido de Carbono CO2 (%)	6,45	5,03	4,9	5,3	3,7
Monóxido de Carbono CO (mg/ Nm3)	66,66	73,6	77	108,33	594
Monóxido de Nitrogênio NO (mg/ Nm3)	1167	1306,6	1316,3	1328,66	75,66
Óxidos de Nitrogênio (NOx como NO2) (mg/ Nm3)	1843	2063,66	2079,3	2098,33	319,66
Hidrocarbonetos Totais (CxHy) (%)	0,03	0,033	0,03	0,0433	0
ÍNDICE DE EMISSÃO (g/m3)	111.143	93.4986	75.5324	93.5553	54.5765
TOTAL (g/m3)					428.306

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 10: Tela de visualização de dados de índices de emissão de motores a gás.

Cálculos de Índice de emissões à GÁS

Emissões de gases dos motores à gás

UTE-TAMBAQUI Janeiro 2014

UGG1

Emissões	Concentração (mg/Nm3)
Material Particulado	103,7
Dióx. de Nitrogênio	210
Limite de tolerância	320

Gases de Combustão

1a Coleta 2a Coleta 3a Coleta Média

	1a Coleta	2a Coleta	3a Coleta	Média
Oxigênio (O2) %	15,00	15,00	15,00	15,00
Dióxido de Carb.(CO2) %	2,00	3,00	3,00	2,67
Monóx. de Carb.(CO) ppm	163,00	163,00	160,00	162,00
(NO) mg/Nm3	44,00	99,00	96,00	79,67
(SO2) mg/Nm3	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidrocarb. Totais (CxHy) %	0,00	0,00	0,00	0,00

Concentração por motores

Partículas	103,00	103,00	103,00	103,00
(CO) %	163,00	163,00	160,00	162,00
(CO2) %	3,00	3,00	3,00	3,00

Coefficientes para determinar o consumo de combustíveis

Monóx. de carbono CO ppm	162
Parte do total	65.6728

VARIÁVEIS

Dióx. de Carbono (CO2) %	3
Material Particulado	103
Monóxido de carbono CO ppm	10639
ÍNDICE DE EMISSÃO (g/m3)	54.4718
TOTAL DA USINA (g/m3)	1722.92

SAIR

Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.7. Estudos de Casos e Apresentação de Resultados.

4.7.1. Despacho Econômico e Despacho Ambiental

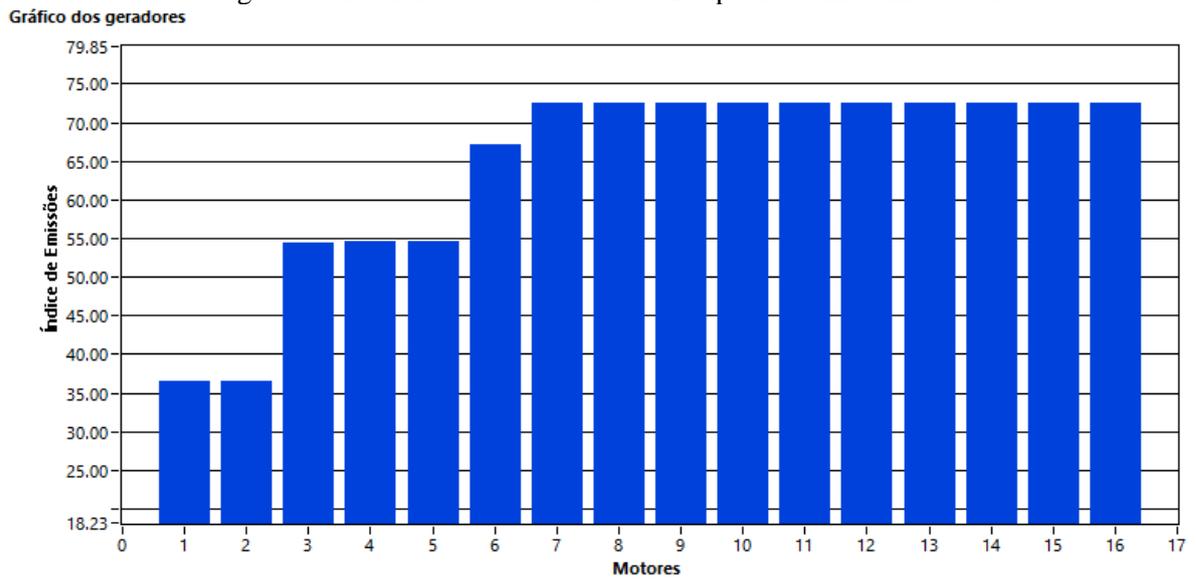
No despacho econômico a solução que se busca é aquela com menor custo operacional, e menor custo de manutenção, ao passo que no despacho ambiental procura-se a solução com menores índices de emissão, o que corresponde a despachar as unidades geradoras que emitem menos gases poluentes para o meio ambiente, e operam com o menor custo possível. O sistema de software desenvolvido nesta dissertação gera como solução para o despacho ambiental, uma tabela e um gráfico com as unidades geradoras em ordem crescente de índice de emissão como mostrado nas tabelas 4.3 e na figura 4.11. Para o despacho econômico as tabelas e gráficos gerados correspondem as unidades geradoras com menores custos de operação e com menores custos de manutenção, como mostrado na tabela 4.4 e na figura 4.12.

Tabela 4. 3: Despacho Ótimo Ambiental

Item	Gerador	Índice de Emissão (g/m ³)	Potência (kW)
1	UGG13	36.46	3293
2	UGG15	36.46	3293
3	UGG1	54.47	3293
4	UGG12	54.51	3293
5	UGG16	54.54	3293
6	MAN5	67.18	17920
7	UGG3	72.52	3293
8	UGG9	72.54	3293
9	UGG23	72.55	3293
10	UGG4	72.55	3293
11	UGG18	72.57	3293
12	UGG19	72.57	3293
13	UGG17	72.58	3293
14	UGG11	72.59	3293
15	UGG2	72.59	3293
16	UGG14	72.59	978

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 11: Gráfico de Geradores no Despacho Ótimo Ambiental



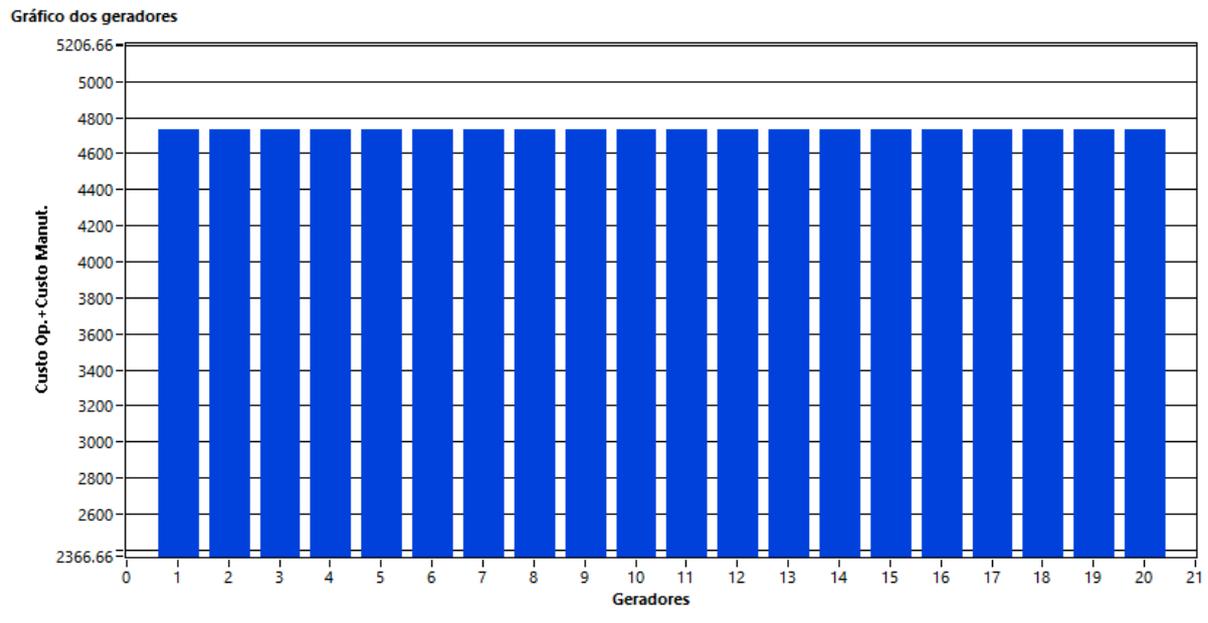
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 4. 4: Despacho Econômico

Item	Gerador	Custo (R\$/dia)	Potência (MW)
1	UGG1	4733.32	3,293
2	UGG2	4733.32	3,293
3	UGG3	4733.32	3,293
4	UGG4	4733.32	3,293
5	UGG5	4733.32	3,293
6	UGG6	4733.32	3,293
7	UGG7	4733.32	3,293
8	UGG8	4733.32	3,293
9	UGG9	4733.32	3,293
10	UGG10	4733.32	3,293
11	UGG11	4733.32	3,293
12	UGG12	4733.32	3,293
13	UGG13	4733.32	3,293
14	UGG14	4733.32	3,293
15	UGG15	4733.32	3,293
16	UGG16	4733.32	3,293
17	UGG17	4733.32	3,293
18	UGG18	4733.32	3,293
19	UGG19	4733.32	3,293
20	UGG20	4733.32	2,433

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 12:Gráfico dos geradores envolvidos no despacho econômico



Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.7.2. Otimização Multiobjetivo: Despacho Econômico e Ambiental Conjunto

Como já falado a otimização multiobjectivo não é uma tarefa simples, pois é necessário atender mais de um objetivo, porém o Algoritmo PSO tem demonstrado que consegue encontrar uma solução ótima adequada e com relativa rapidez. Novamente, para o caso do DEAC, como para os casos dos despachos isolados apresentados anteriormente, a solução *Labview* apresenta como resultados, uma tabela e um gráfico.

Como exemplo de um DEAC, na Tabela 4.5 são apresentados os resultados obtidos para o despacho para atender uma demanda de 100 MW. Verifica-se que este resultado as unidades geradoras estão dispostas na ordem das menos poluentes para as que mais poluem, assim como na coluna de custos relacionam-se aqueles de menor custo por primeiro. Outras informações importantes correspondem aos valores totais de emissão em (g/m^3) e o custo de operação por dia (R\$/dia), e a potência total gerada em (kW), como mostrado na Figura 4.13, e na Figura 4.14.

Figura 4. 13: Valores totais do DEAC.

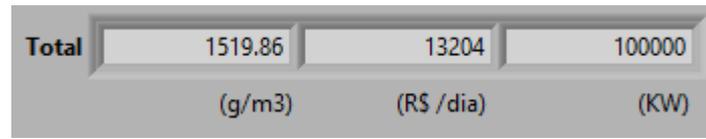
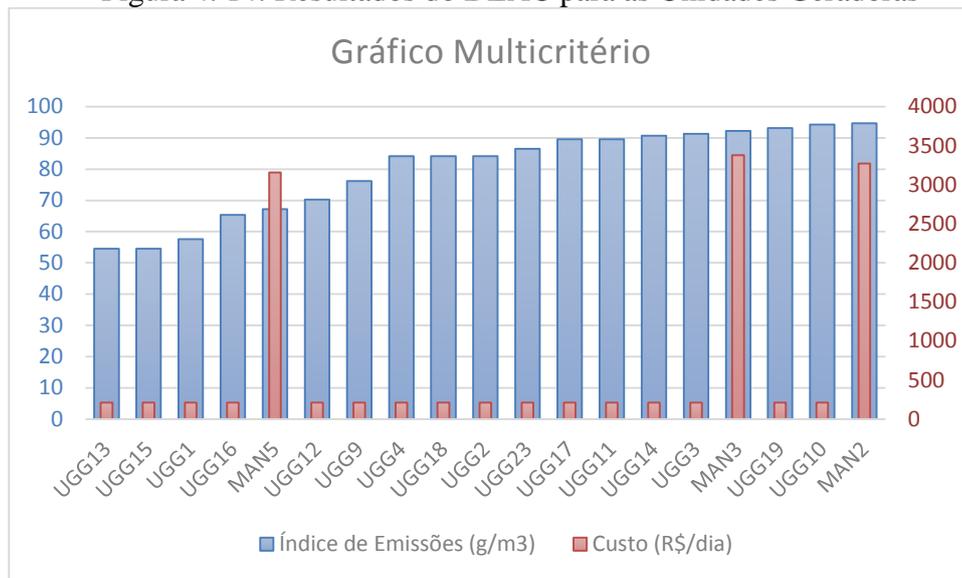


Tabela 4. 5: Resultados da Otimização Multicritério: DEAC

Item	Gerador	Índice de Emissões (g/m ³)	Custo (R\$/dia)	Potência (MW)
1	UGG13	54.51	212.16	3,293
2	UGG15	54.51	212.16	3,293
3	UGG1	57.59	212.16	3,293
4	UGG16	65.39	212.16	3,293
5	MAN5	67.18	3158.95	17,920
6	UGG12	70.23	212.16	3,293
7	UGG9	76.19	212.16	3,293
8	UGG4	84.12	212.16	3,293
9	UGG18	84.14	212.16	3,293
10	UGG2	84.16	212.16	3,293
11	UGG23	86.46	212.16	3,293
12	UGG17	89.55	212.16	3,293
13	UGG11	89.56	212.16	3,293
14	UGG14	90.65	212.16	3,293
15	UGG3	91.3	212.16	3,293
16	MAN3	92.27	3377.28	18,910
17	UGG19	93.15	212.16	3,293
18	UGG10	94.27	212.16	3,293
19	MAN2	94.63	3273.3	10,482

Fonte: (Elaborada pelo autor)

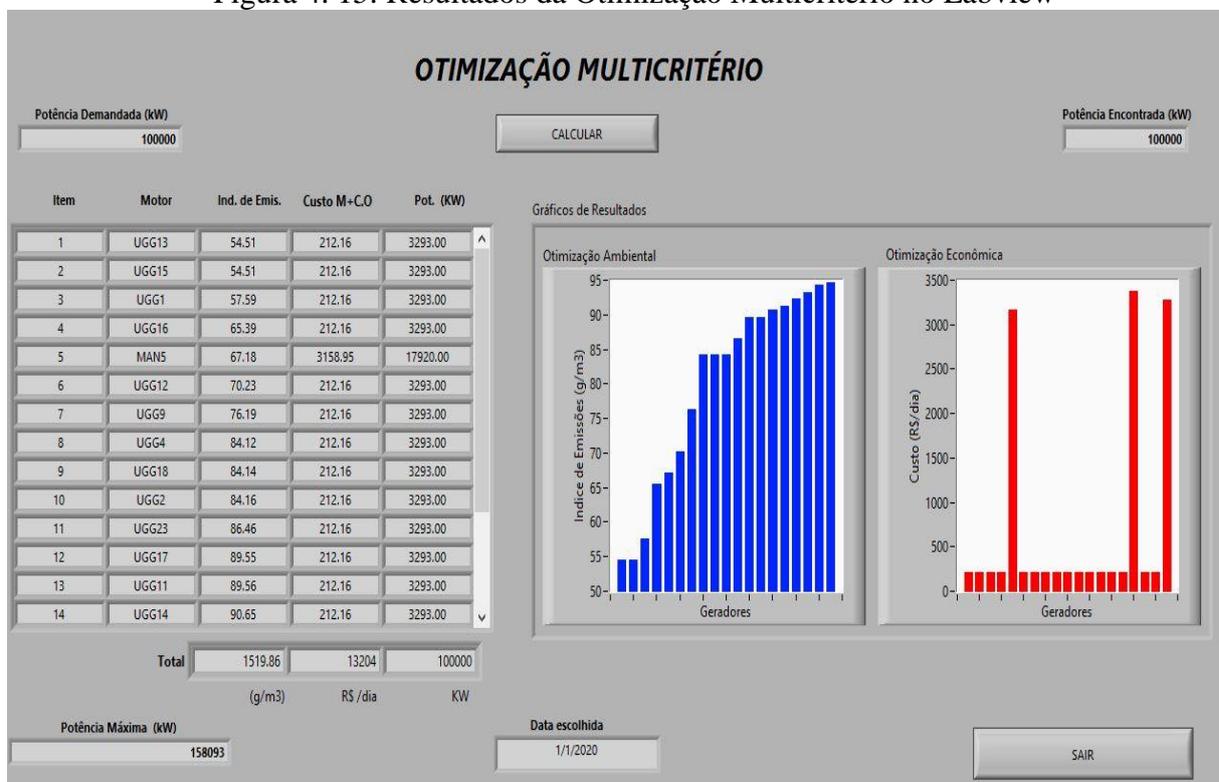
Figura 4. 14: Resultados do DEAC para as Unidades Geradoras



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Na figura 4.15 mostra a tela de visualização dos resultados no Labview, nela é possível visualizar os valores dos resultados das otimizações tanto econômica como ambiental, bem como os gráficos e os resultados total de cada coluna.

Figura 4. 15: Resultados da Otimização Multicritério no Labview



Fonte: (Elaborada pelo autor)

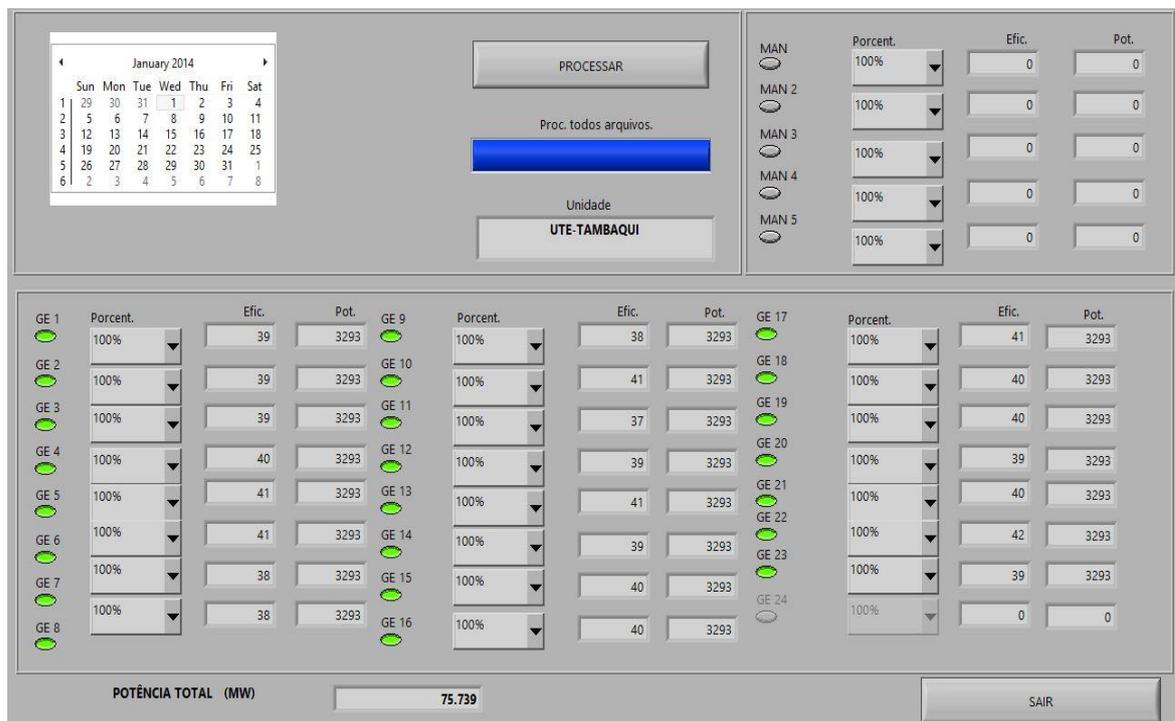
4.8. Apresentação de Resultados do DEAC em Diferentes Cenários de Operação

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com o DEAC, para diferentes cenários operativos, fazendo-se ao final da seção, uma análise comparativa entre eles.

4.8.1. Cenário 1: Neste cenário são utilizados somente as unidades geradoras a gás, enquanto as unidades a óleo permanecem desligadas durante toda a solução. A carga a ser atendida neste cenário é de 65 MW.

Para este cenário, na figura 4.16, mostra-se inicialmente a tela do Painel de Controle, com os dados das unidades geradoras ativadas para esta simulação. Os resultados obtidos com o DEAC para este cenário estão apresentados respectivamente na Tabela 4.6, e os gráficos das figuras 4.17 e 4.18.

Figura 4. 16- Painel de Controle com todas as geradoras a gás ligadas e todas as unidades geradoras a óleo desligadas.



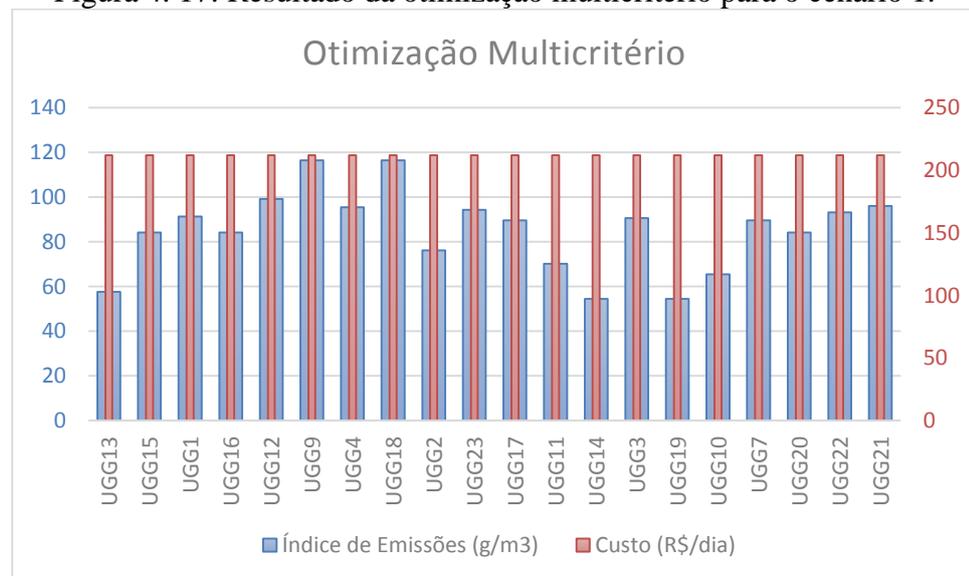
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 4. 6: Resultados da Otimização Multicritério para o cenário 1.

Item	Gerador	Índice de Emissões (g/m ³)	Custo (R\$/dia)	Potência (kW)
1	UGG13	57.59	212.16	3293
2	UGG15	84.16	212.16	3293
3	UGG1	91.3	212.16	3293
4	UGG16	84.12	212.16	3293
5	UGG12	99.12	212.16	3293
6	UGG9	116.5	212.16	3293
7	UGG4	95.49	212.16	3293
8	UGG18	116.51	212.16	3293
9	UGG2	76.19	212.16	3293
10	UGG23	94.27	212.16	3293
11	UGG17	89.56	212.16	3293
12	UGG11	70.23	212.16	3293
13	UGG14	54.51	212.16	3293
14	UGG3	90.65	212.16	3293
15	UGG19	54.51	212.16	3293
16	UGG10	65.39	212.16	3293
17	UGG7	89.55	212.16	3293
18	UGG20	84.14	212.16	3293
19	UGG22	93.15	212.16	3293
20	UGG21	95.99	212.16	2433

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 17: Resultado da otimização multicritério para o cenário 1.



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 18: Valores totais da otimização para o cenário 1.

Total	1702.92	4243.13	65000
	(g/m3)	R\$ /dia	KW

Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.8.2. Cenário 2 - Neste cenário são utilizadas as unidades geradoras a gás à 80% da capacidade nominal, enquanto as unidades a óleo são utilizadas com 20% de suas capacidades nominais. A carga a ser atendida neste cenário é de 65 MW.

Para este cenário, na figura 4.19, mostra-se inicialmente a tela do Painel de Controle, com os dados das unidades geradoras ativadas para esta simulação. Os resultados obtidos com o DEAC para este cenário estão apresentados respectivamente na Tabela 4.7, e nos gráficos das figuras 4.20 e 4.21.

Figura 4. 19: Painel de controle com as unidades geradoras a gás 80% e as unidades geradoras a óleo a 20%.

The control panel interface includes a calendar for March 2015, a 'PROCESSAR' button, and a table of generator data. The data table is as follows:

Generator	Porcent.	Efic.	Pot.
MAN	20%	47	1912
MAN 2	20%	10	14170
MAN 3	20%	38	4763
MAN 4	20%	49	4763
MAN 5	20%	0	0
GE 1	80%	38	2640
GE 2	80%	37	2640
GE 3	80%	39	2640
GE 4	80%	39	2640
GE 5	80%	39	2640
GE 6	80%	39	2640
GE 7	80%	39	2640
GE 8	80%	39	2640
GE 9	80%	38	2640
GE 10	80%	39	2640
GE 11	80%	38	2640
GE 12	80%	39	2640
GE 13	80%	39	2640
GE 14	80%	39	2640
GE 15	80%	41	2640
GE 16	80%	39	2640
GE 17	80%	40	2640
GE 18	80%	39	2640
GE 19	80%	39	2640
GE 20	80%	39	2640
GE 21	80%	40	2640
GE 22	80%	38	2640
GE 23	80%	39	2640
GE 24	100%	0	0

The total power is displayed as **POTÊNCIA TOTAL (MW) 86.328**. A 'SAIR' button is located at the bottom right.

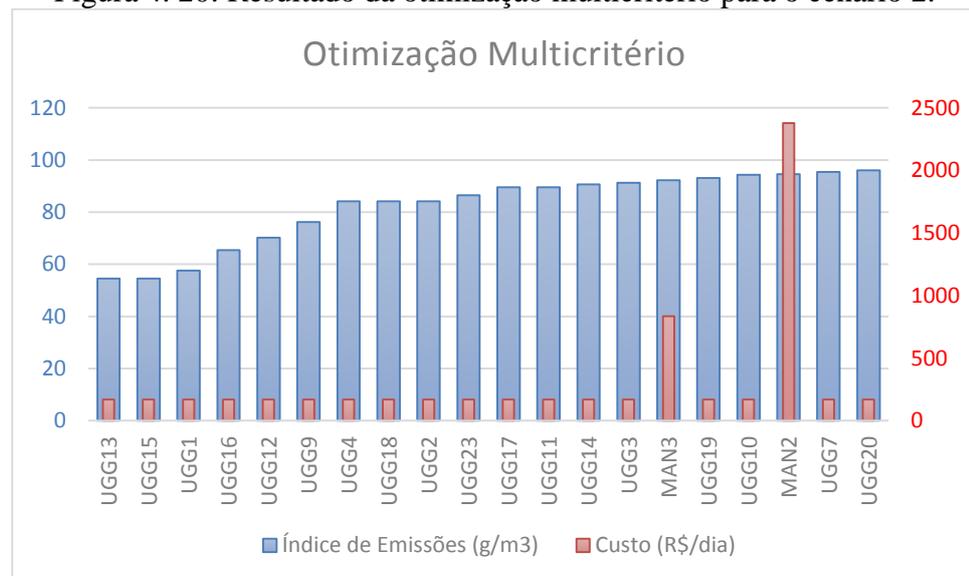
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 4. 7: Resultados da Otimização Multicritério para cenário 2.

Item	Gerador	Índice de Emissões (g/m ³)	Custo (R\$/dia)	Potência (kW)
1	UGG13	54.51	169.62	2640
2	UGG15	54.51	169.62	2640
3	UGG1	57.59	169.62	2640
4	UGG16	65.39	169.62	2640
5	UGG12	70.23	169.62	2640
6	UGG9	76.19	169.62	2640
7	UGG4	84.12	169.62	2640
8	UGG18	84.14	169.62	2640
9	UGG2	84.16	169.62	2640
10	UGG23	86.46	169.62	2640
11	UGG17	89.55	169.62	2640
12	UGG11	89.56	169.62	2640
13	UGG14	90.65	169.62	2640
14	UGG3	91.3	169.62	2640
15	MAN3	92.27	833.88	4763
16	UGG19	93.15	169.62	2640
17	UGG10	94.27	169.62	2640
18	MAN2	94.63	2378.54	14170
19	UGG7	95.49	169.62	2640
20	UGG20	95.99	169.62	1187

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 20: Resultado da otimização multicritério para o cenário 2.



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 21: Valores totais da otimização cenário 2.

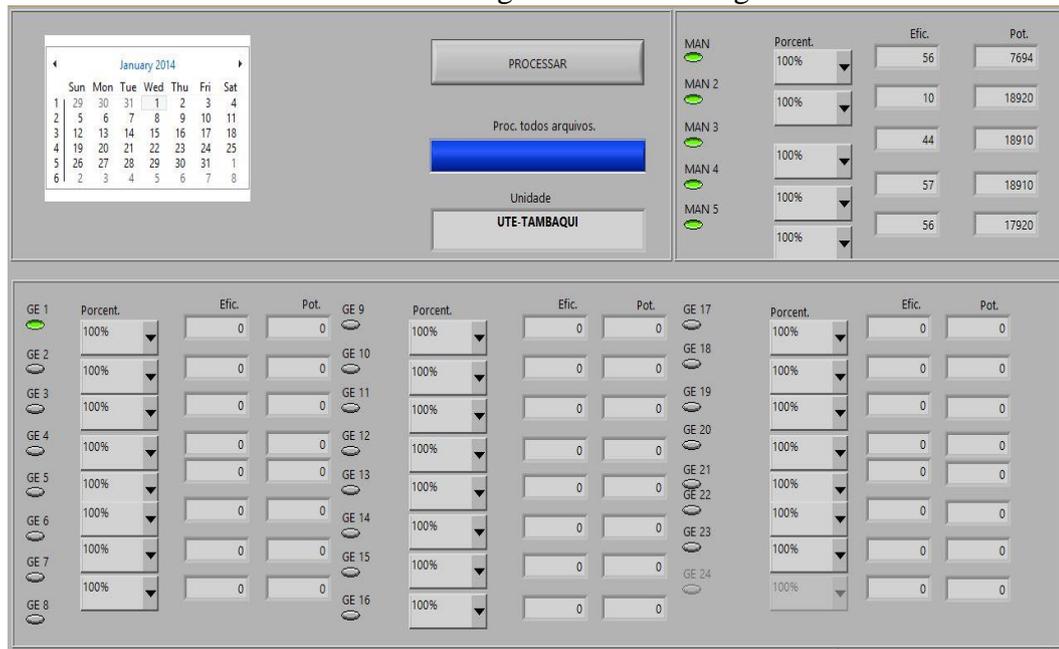
Total	1644.15	6265.61	65000
	(g/m ²)	R\$ /dia	KW

Fonte: (Elaborada pelo autor)

4.8.3. Cenário 3 - Neste cenário são utilizadas somente as unidades geradoras a óleo, enquanto as unidades a gás permanecem desligadas durante toda a solução. A carga a ser atendida neste cenário é de 65 MW.

Para este cenário, na figura 4.22, mostra-se inicialmente a tela do Painel de Controle, com os dados das unidades geradoras ativadas para esta simulação. Os resultados obtidos com o DEAC para este cenário estão apresentados respectivamente na Tabela 4.8, e nos gráficos das figuras 4.23 e 4.24.

Figura 4. 22: : Painel de Controle com todas as unidades geradoras a gás desligadas e todas as unidades geradoras a óleo ligadas.



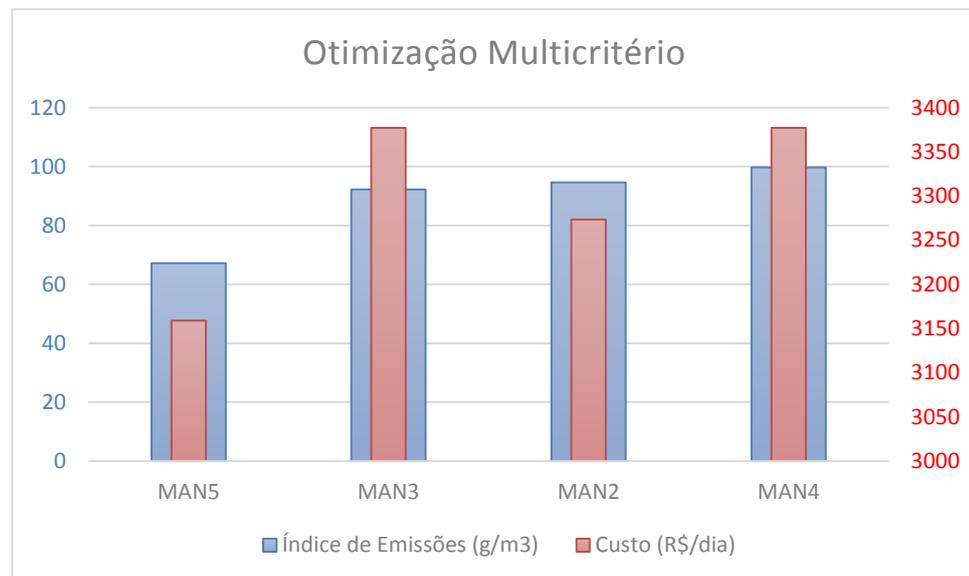
Fonte: (Elaborada pelo autor)

Tabela 4. 8: Resultados da Otimização Multicritério para cenário 3.

Item	Gerador	Índice de Emissões (g/m ³)	Custo	Potência (kW)
1	MAN5	67.18	3158.95	17920
2	MAN3	92.27	3377.28	18910
3	MAN2	94.63	3273.3	18920
4	MAN4	99.73	3377.28	9250

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 23- Resultado da otimização multicritério para o cenário 3



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Figura 4. 24: Valores totais da otimização cenário 3.

Total	353.809	13186.8	65000
	(g/m ³)	R\$ /dia	KW

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Análise Comparativa dos Resultados dos Diferentes Cenários

Na tabela 4.9, para efeito de análise comparativa, os resultados obtidos com o DEAC para os três cenários simulados.

Tabela 4. 9: Quadro comparativo dos três cenários simulados.

Cenário	Descrição	Índice de Emissões (g/m³)	Custo (R\$/dia)	Total de Geradores	Potência de Saída (MW)
1	Motores a gás ligados (100%) e motores óleo desligados	1.702,92	4.243,13	20 – Geradores à Gás	65
2	Motores a gás (80%) e motores óleo (20%)	1.644,15	6.265,61	18-Geradores à Gás 2- Geradores à Óleo	65
3	Motores a gás desligados e motores a óleo ligados (100%)	353,80	13.186,8	4 – Geradores à Óleo	65

Fonte: (Elaborada pelo autor)

Analisando este quadro comparativo é possível verificar que o menor índice de emissões corresponde ao terceiro cenário, porém o custo deste cenário é o mais elevado.

Então uma solução de compromisso que pode ser adotada, como apresentando um desempenho intermediário é sem dúvida o cenário 2.

CAPITULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusão

O problema de otimização no despacho de carga tanto econômico como ambiental foi formulado como um problema multicritério que considera tanto a redução do custo de geração como a redução de emissões de poluentes para o meio ambiente.

Realizou-se a implementação do algoritmo baseado em otimização por enxame de partículas (PSO) para a resolução do problema de despacho econômico e ambiental de carga e foi desenvolvido uma ferramenta computacional feito em *Labview* para ser utilizado em otimização para usinas térmicas.

Os resultados obtidos a partir da aplicação deste algoritmo foram testados em três diferentes configurações de uma planta real de uma usina térmica. Como base neste estudo pode-se observar que:

- O software desenvolvido é capaz de lidar conforme a base de dados da usina.
- Os resultados extraídos dessa abordagem são considerados satisfatórios para o despacho econômico e problemas de despacho ambiental.

Embora as respostas do software de otimização tenham sido satisfatórias, o algoritmo de otimização não examina todas as condições possíveis do sistema elétrico e, em particular, o comportamento de todas as possibilidades ante as variações de seus parâmetros. Ainda se faz necessário um número maior de testes com cenários operacionais.

5.2. Proposta para trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, sugere-se a utilização de outras técnicas de otimização, e comparar o desempenho entre elas.

Também sugere-se a aplicação do PSO para o problema do despacho hidrotérmico, considerando as restrições de emissões para o meio ambiente, e testar este novo algoritmo em um sistema real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abido, M. A.; “A novel multiobjective evolutionary algorithm for environment economical power dispatch,” *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 65, pp. 71–81, April 2003.

ANEEL, Anexo I “Limites de consumo específico de combustíveis por faixa de potência e tecnologia”, FEB 2011, www.aneel.gov.br/.

Azevedo, R.E.S.; Bezerra, U. H.; Leite, J. C.; Azevedo, M. S. S.; Neto, V. D. S.; “*Despacho Econômico E Ambiental De Energia Elétrica Usando Técnicas Computacionais Em Labview*”, Congresso ALTAE 2013, Havana, 2-5, dezembro 2013.

Balakrishnan, S., P. S. Kannan and C. Aravindan and P. Subathra, “*On-line emission and economic load dispatch using adaptive Hopfield neural network*”, *Applied Soft Computing*, vol. 2, no. 4, pp. 297-305, 2003.

Barbosa F. M.; “*Exploração de Sistema Eléctricos de Energia*”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006, artigo publicado pela FEUP.

Basu, M.; “*An interactive fuzzy satisfying method based on evolutionary programming technique for multiobjective short-term hydrothermal scheduling*”. *Electr Power Syst Res* 2004; 69:277–85.

Birge, B., “*PSOt, A Particle Swarm Optimization Toolbox for Matlab*”, *IEEE Swarm Intelligence Symposium Proceedings, NCSU, MAE Dept.726 N. West St., Raleigh, NC, April 24-26, 2003*.

Blach M.; Strbac G.; “*Value of storage in providing balancing services for electricity generation systems with wind penetration*,” *Manchester Center for Electric Energy, February 2005*.

Chen, C.H.; Lin, C.C.; “*Simple particle swarm optimization for economic dispatch with piecewise quadratic fuel cost function*”, *Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications*, 2009. CITISIA 2009, pp.412-417, 25-26 July 2009.

Chen, Y.P.; Peng, W.C.; Jian, M.C.; "*Particle Swarm Optimization with Recombination and Dynamic Linkage Discovery*", *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions*, vol.37, no.6, pp.1460-1470, Dec. 2007.

Cheong HK, Dillon TS. *Application of multiobjective optimization methods to the problem of generation expansion planning. In: Proceedings Sixth Power System Computation Conference (PSCC-6), Damstadt, West Germany, 1978, p. 3–11.*

Coelho, L. S. and Mariani, V. C.; "*Combining of chaotic differential evolution and quadratic programming for economic dispatch optimization with valve-point effect,*" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 989-996, 2006.

Eberhart, R. C. and Kennedy, J.; "A new optimizer using particle swarm theory," *Proceedings of the 6th. International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan, pp. 39-43, 1995.

IEEE Working Group, "*Potential impacts of clean air regulations on system operations,*" *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, pp.647–653. 1995.

Jong-Bae Park; Yun-Won Jeong; Woo-Nam Lee; Joong-Rin Shin; , "*An improved particle swarm optimization for economic dispatch problems with non-smooth cost functions*" *Power Engineering Society General Meeting*, 2006. IEEE, pp.7 pp., 0-0 0.

Kothari, D. P. and Dhillon, J. S., "*Power System Optimization,*" Second Edition, PHI learning Private limited, 2011.

Lab VIEW 7 Express. *User manual.National Instruments*, Edição Abril de 2003.

Leandro B.C. R; R.N.M. Machado; André M.D.F.;" *Despacho Econômico de Unidades Térmicas em Ciclo Combinado Utilizando Método Analítico em Conjunto com Redes Neurais Artificiais*", Departamento de Ensino e Processos Industriais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) -Belém, Brasil.

Lee, K.Y.; Park, J.B.; *"Application of Particle Swarm Optimization to Economic Dispatch Problem: Advantages and Disadvantages,"* Power Systems Conference and Exposition, 2006. PSCE '06. 2006 IEEE PES, pp.188-192, Oct. 29 2006-Nov. 1 2006.

Liu, B.; Ren, P.; Gao, L.; Li, N.; *"A New Combinatorial Meta-heuristic Algorithm for Stochastic Electric Power System Production Costing and Operations Planning,"* Intelligent Control and Automation, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress on , vol.2, no., pp.7429-7433, 0-0 0.

Lora, E.E.S, Nascimento, M.A.R, *Geração Termelétrica – Planejamento, Projeto e Operação*, volumes I e II, 1ª edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

Miller, R.H. and Malinowski, J. H., *"Power System Operation,"* McGraw-Hill, Inc., 1994.

Miranda, V.: *"Evolutionary Computing - Technical report"*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto/INESC, 2005.

Onate, P.E.; Ramirez, J.M.; *"Optimal operation of hydrothermal systems in the short term"*, Power Symposium, 2005. Proceedings of the 37th Annual North American, pp. 113-119, 23-25 Oct. 2005.

Park, J.B.; Jeong, Y.W.; Shin, J.R.; Lee, K.Y.; *"An Improved Particle Swarm Optimization for Non convex Economic Dispatch Problems"*, Power Systems, IEEE Transactions, vol.25, no.1, pp.156-166, Feb. 2010.

Pereira-Neto, A.; Unsihuay, C.; Saavedra, O.R.; *"Efficient evolutionary strategy optimisation procedure to solve the nonconvex economic dispatch problem with generator constraints"*, Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings- , vol.152, no.5, pp. 653- 660, 9 Sept. 2005.

Pinson, P.; Chevallie, C.; Kariniotakis G.; , *"Optimizing Benefits from Wind Power Participation in Electricity Markets using Advanced Tools for Wind Power Forecasting and Uncertainty Assessment"*, École des Mines de Paris, Center of Energy Studies, 2004.

Shailti S. K.; Natarajan, A.; *"Constrained optimization using evolutionary programming for dynamic economic dispatch"* Intelligent Sensing and Information Processing, 2005. Proceedings of 2005 International Conference, pp. 314- 319, 4-7 Jan. 2005.

Song, Y. H. and Chou, C. S. V., *"Large-scale economic dispatch by artificial ant colony search algorithms,"* *Electric Machines and Power Systems*, vol. 27, pp. 679-690, 1999.

Ummels B.C.; Pelgrum E.; Kling W.L.; *"Integration of large-scale wind power and use of energy storage in the Netherlands' electricity supply"*, IET Renewable Power Generation, June 2007.

Warsono; King, D.J.; Ozveren, C.S.; Bradley, D.A.; *"Economic Load Dispatch Optimization of Renewable Energy in Power System Using Genetic Algorithm,"* Power Tech, 2007 IEEE Lausanne, pp.2174-2179, 1-5 July 2007.

Wong, K.P.; *"Computational intelligence applications in unit commitment, economic dispatch and load flow"*, Advances in Power System Control, Operation and Management, 1997. APSCOM-97. Fourth International Conference on (Conf. Publ. No. 450), vol.1, no., pp.54-59 vol.1, 11-14 Nov 1997.

Yalcinoz, T. and Altun, H.; *"Power economic dispatch using a hybrid genetic algorithm,"* *IEEE Power Engineering Review*, pp. 59-60, March 2001.

Yalcinoz, Tankut, Koksoy, Onur, *"A multiobjective optimization method to environmental economic dispatch, Department of Electrical and Electronic Engineering"*, Nigde University, Nigde 51200, Turkey, Department of Mathematics, Nigde University, Nigde 51200, Turkey, Març de 2006.

APÊNDICE A

INFORMAÇÕES SOBRE A USINA TAMBAQUI (Manaus/AM)

Há 02 (duas) empresas deste grupo de geração de energia em Manaus, sendo elas: A empresa Breitener Jaraqui S. A. e a Breitener Tambaqui S.A. esta última será nosso estudo de caso. Esta Usina está configurada em duas fases: sendo a primeira composta de 3 (três) motores do tipo 18V 48/60 de fabricação MAN B & W acoplados a geradores do tipo AMG 1600UU14 DSEB de 18.428 KW e 13,8KV de fabricação ABB, um (1) tipo 16V 32/40 de fabricação MAN B & W acoplado a gerador AMG 1120MP10 DSEA de 7.457 KW e da ABB, movidos a óleo combustível, e de 1 (um) motor do tipo 18V 51/60 DF de fabricação MAN B &W acoplados a geradores do tipo AMG 1600UU14 DSEB de 17.560 KW e 13,8 KV de fabricação ABB, movido a óleo combustível e a gás natural (bicombustível).

A segunda fase foi construída com 23 motores GEJ a gás natural, o objetivo de garantir a bi-combustibilidade da usina em atendimento a cláusula 1 do Contrato de Suprimento de Energia.

A usina possui uma (1) Subestação do tipo Barramento Simples com Barramento de Transferência equipada com dois (2) vãos de transformadores elevadores de 50 / 69 / 77 VA, 13,8 – 69 KV + 2 x 2,5% de fabricação TRAFO, um (1) vão de acoplamento e um (1) de linha, e uma linha de transmissão de 69 KV de aproximadamente 4 km, circuito simples para interligação com uma subestação da Eletrobrás Amazonas Energia.

Existe um conjunto de tancagem para armazenamento de óleo combustível, óleo lubrificante e óleo diesel, bem como plataforma de descarga e sistema de combate a incêndio. Foram construídos na USINA Tambaqui prédios administrativos e de apoio para escritórios, refeitório, vestiário, segurança e oficina (BREITENER, 2012).

A usina terá uma capacidade de entrega de 155,778 MW, sendo 62,741 MW a óleo combustível, 17,56 MW bicombustível e 75,477 MW movidos a gás natural.

Na Usina MAN os grupos geradores, os auxiliares dos grupos, painéis elétricos de média e de baixa tensão, painéis de supervisão, controle e proteção, transformadores de serviços auxiliares, os equipamentos principais do sistema de condicionamento de óleo combustível, óleo diesel e de óleo lubrificante, equipamentos de tratamento de água, equipamentos de

geração de vapor e os equipamentos da subestação foram trazidos da antiga. A usina Breitener, em Maracanaú, foi transferida e instalada em Manaus/AM em atendimento ao Contrato de Suprimento de Energia 1815/05 com a Eletrobrás Amazonas Energia.

A Usina GEJ operara no ciclo OTTO a Gás Natural, sendo equipada com 23 (vinte e três) motores do tipo J620F111, configuração V60o, com 20 cilindros com potência mecânica de saída de 3.431 kW e potência elétrica de saída de 3.293 kW e fabricação GE Jenbacher (GEJ), acoplados aos geradores do tipo DIG 142 d/4 de fabricação AVK com potência nominal de 4.102 KVA, fator de potência 0,8, 13,8 KV, 60 Hz, 1800 rpm. O conjunto terá a capacidade de geração de 3.282KW/4.102KVA em 13.800V com fator de potência 0,8. A fonte de energia será o Gás Natural de fornecimento da CIGAS. O seu diagrama unifilar geral pode ser visto no projeto BCO-TBQDE- ELE-003-UNIF da empresa Breitener, como mostra as Figuras 1.4, 1.5 e 1.6. O diagrama geral da planta é mostrado nas Figuras 1.4, 1.5 e 1.6.

Figura 1.4. Diagrama geral Usina Tambaqui, (2013).

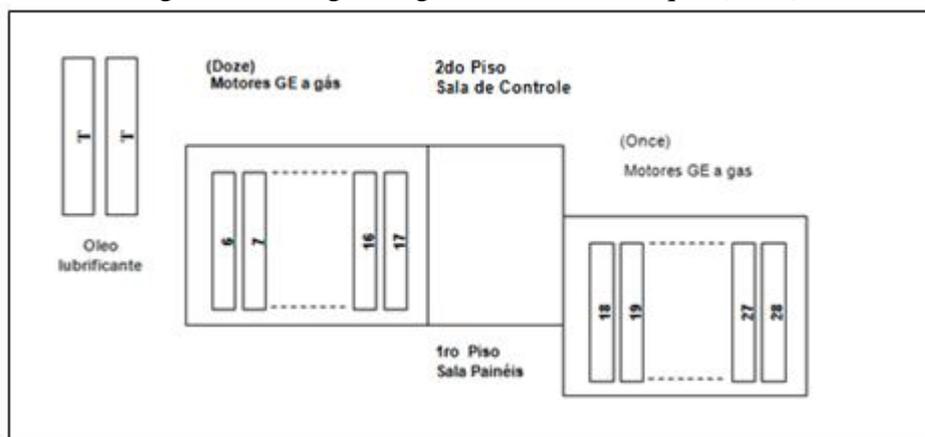


Figura 1.5. Diagrama geral Usina Tambaqui, (2013).

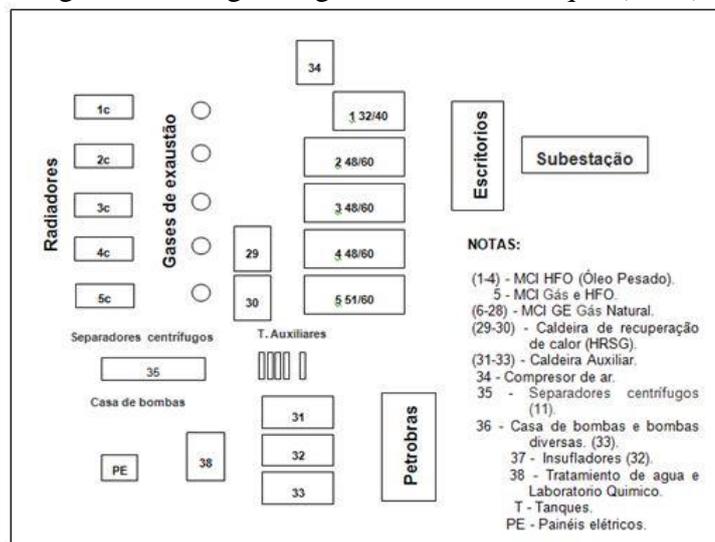
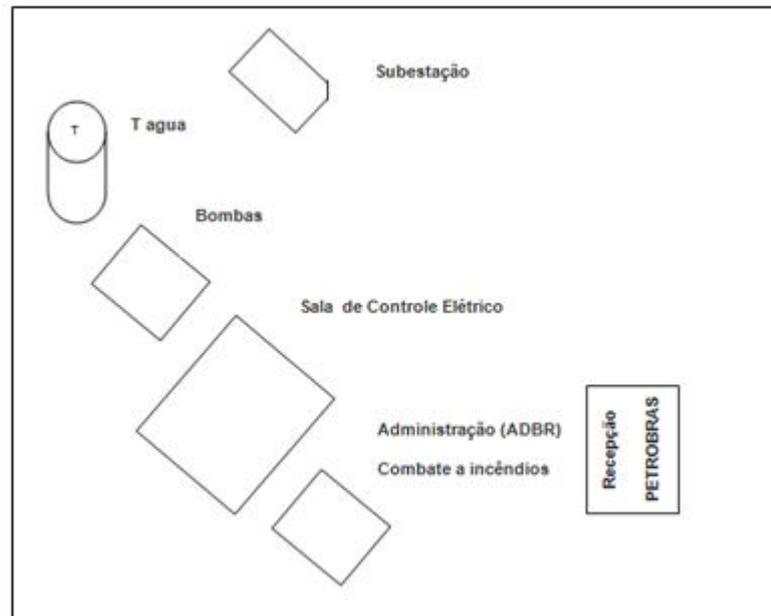


Figura 1.6. Diagrama geral Usina Tambaqui, (2013).



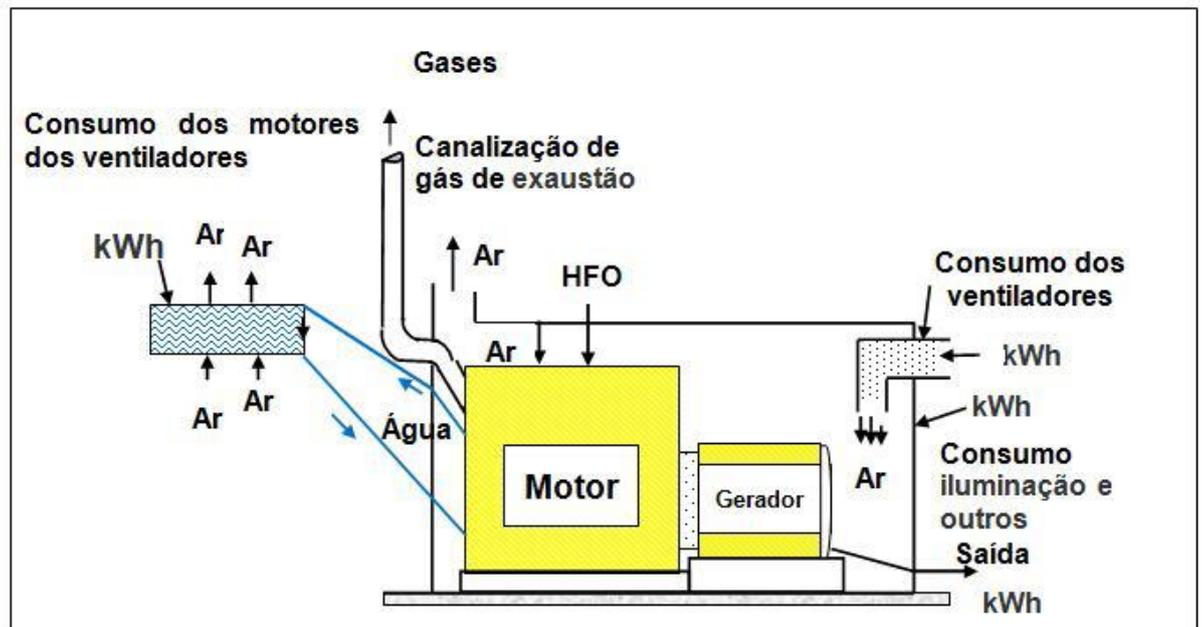
Grupos geradores com Motores de Combustão Interna HFO

A UTE Tambaqui possui três (3) grupos geradores Diesel de 18 cilindros, quatro tempos, para instalação estacionária, turbo carregado e resfriado pelo ar de alimentação, cilindros em vê, rotação no sentido horário:

E um (1) grupo gerador Diesel de 16 cilindros, quatro tempos, para instalação estacionária, turbo carregado e resfriado pelo ar de alimentação, cilindro em vê, rotação sentido horário:

A Figura 1.7 tem o diagrama da instalação do grupo gerador com motor MAN a HFO com os fluxos de massa e energia.

Figura 1.7. Diagrama da instalação do grupo gerador com motor MAN HFO com os fluxos de massa e energia.



Grupos geradores com Motores de Combustão Interna Gás/HFO

É um (1) grupo gerador Bicomustível de 18 cilindros, quatro tempos, para instalação estacionária, turbo carregado e resfriado pelo ar de alimentação, cilindro em vê, rotação sentido horário (MAN em 2007):

O diagrama da instalação do grupo gerador com motor MAN a HFO com os fluxos de massa e energia é similar ao descrito na **Figura 1.7** só que possui uma entrada adicional de gás.

A tonelada equivalente de petróleo (TEP) tem por objetivo a conversão de todas às formas de energia final para uma única forma de energia primária, permitindo realizar uma análise comparativa homogêneo tomando como base uma única medida de conversão.

Análises dos Dados

Custo dos Combustíveis

A seguir, o demonstrativo dos custos da geração de energia elétrica na conversão dos diversos combustíveis derivados de petróleo a partir da substituição pelo gás natural (GN) no parque térmico existente é analisado.

O gás natural é um combustível que pode tecnicamente ser utilizado em diversas aplicações industriais, apresentando características que o diferencia de forma favorável dos demais insumos energéticos tais como óleo combustível e diesel. Uma das vantagens mais

significativas obtidas com a utilização do GN é a eliminação de estoques de armazenagem e redução significativa das emissões de CO₂, quando da sua queima em substituição a outro combustível.

Custo do óleo combustível e diesel. Combustível comprado (em R\$ 1.000,00)

O custo do óleo combustível é determinado pela soma do óleo combustível (OAC1) e do diesel usados na geração de eletricidade. Em ambos os casos, as quantidades compradas e os custos específicos por unidade de medida estão disponíveis nos relatórios da empresa. O OAC1 comprado é determinado pela quantidade de combustível comprada e o custo por unidade de medida, como mostra a equação 2.1:

$$OACIC = OAC * Valor\ médio \quad (2.2)$$

Onde:

OACIC- Óleo combustível comprado em kg

Valor médio (R\$/Kg) – Custo específico por kg de combustível.

A cota do combustível (OAC1) comprado é determinada pelo consumo específico contratado e pela energia entregue, ou seja, como mostra a equação 2.2:

$$CCQ = EForn * SFOC\ contratual * Valor\ médio \quad (2.3)$$

Onde:

CCQ – Combustível Comprado Cota (em R\$1.000,00).

EForn- Energia Fornecida (MWh).

SFOC – Consumo específico contratado (Kg/MWh).

O combustível OAC1 comprado com quota extra é calculado como a diferença entre o combustível comprado (CCQ) equação 1.19 e o combustível comprado cota, equação 1.20.

Para o caso do Diesel tem-se, na equação 2.3:

$$CDC = DC - Valor\ médio \quad (2.4)$$

Onde: CDC - Combustível Diesel comprado (em R\$1.000,00).

DC - Diesel comprado (Lts) (Ver conversão).

Os resultados estão apresentados na Tabela 1.7.

Tabela 1.7. Custo com OAC1, Diesel.

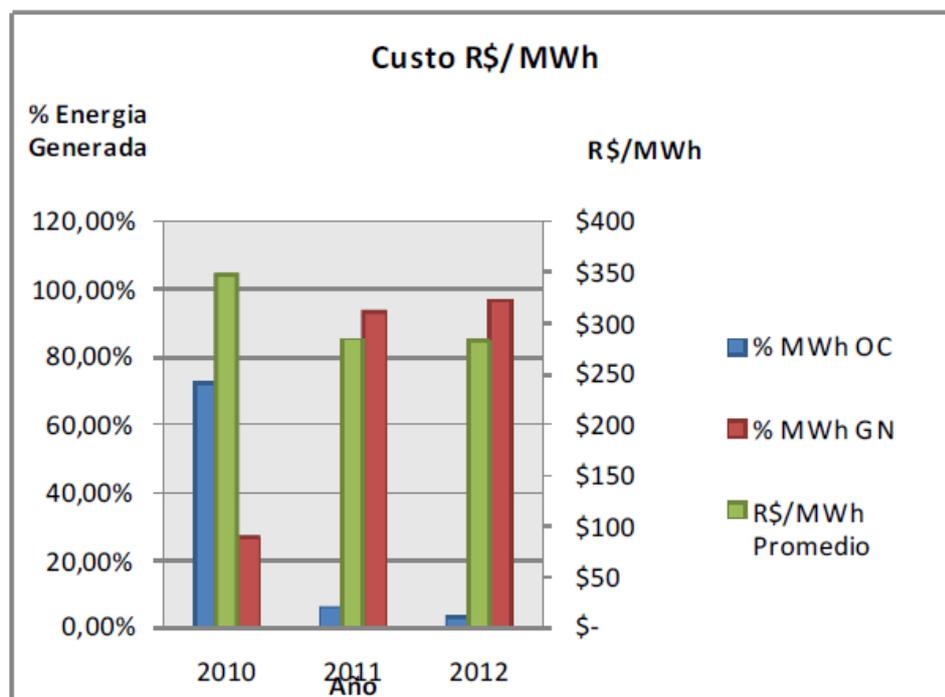
Ano	OCA1 comprado (Kg)	OCA1 comprado (em R\$1.000,00)	Diesel comprado (Lts)	Diesel comprado (em R\$1.000,00)	Combustível comprado (em R\$1.000,00)
2010	76,779,016.00	131,841.64	1,072,507.00	2,129.19	133,970.84
2011	6,096,337.00	10,777.52	562,151.00	1,149.11	11,926.64
2012	1,411,650.00	2398.95801	229057	465.8934004	2,864.85

Custo específico da energia fornecida

O incremento no uso do gás natural como fonte primária tem impactado de forma expressiva no valor do custo da energia fornecida a companhia distribuidora.

Com base nos dados fornecidos pela UTE Tambaqui, o preço dos combustíveis OCA1, OC, Diesel e GN livre da tributação e dos custos de operação, manutenção, capital etc. foram sintetizados nas Tabelas 1.12 e 1.13 indicando uma tendência na diminuição do custo específico MWh na medida em que o percentual da geração com gás natural aumentar.

Figura 1.14. Custos (R\$/MWh)



Avaliando os custos de produção da energia elétrica nas usinas térmicas do sistema Manaus indicando que o custo da energia gerada, considerando somente o preço do combustível, é da ordem de R\$ 466,51/MWh na conversão com óleo OC1A, onde o preço médio do óleo, a preço de 2005, era R\$ 1.362,69/ton. Para conversão com a queima de óleo

leve PTE, o custo obtido era R\$ 1,641/l, ou seja, R\$ 550,97/MWh. Enquanto que o custo da geração de energia elétrica, mediante o uso do óleo PGE, ficou em aproximadamente R\$ 319,94/MWh (Pinson et al., 2004).

Para conversão com queima do óleo Diesel, o custo obtido foi de R\$ 1.590,28/ton, e o preço médio no valor de R\$1,886/l, resultando no custo de R\$ 523,77/MWh. A análise dos resultados da UTE Tambaqui, indica uma melhoria dessas taxas em relação às existentes no ano de 2006 (Pinson et al., 2004), porém deve-se considerar que neste período ocorreu elevação de 20% no custo do combustível.

Segundo o relatório da EIA (2012), o custo médio do MWh para geração empregando ciclo combinado oscila entre 94 a 132 USD/MWh. Especificamente, na UTE Tambaqui, considerando uma taxa de câmbio de 1USD = R\$ 2,02, a tendência para o custo do MWh encontra-se dentro desta escala, porém é necessário analisar o emprego de tecnologias de ciclo combinado, pois, conforme descrito no relatório da EIA (2012), é possível alcançar valores entre 58 e 65 USD/MWh.

Eficiência térmica da geração elétrica

O indicador de eficiência da transformação constitui uma aplicação específica para o setor elétrico. É obtido dividindo a energia elétrica gerada na UTE pelo conteúdo energético dos combustíveis ou das fontes primárias conforme descrito na equação 2.4 (Blach e Strbac, 2005).

$$EGE_i = \frac{GTE_i}{ETI_i} * 100 \quad (2.5)$$

Onde:

EGE_i : Eficiência da geração elétrica no i-ésimo período (%)

GTE_i : Geração total de eletricidade expressada em unidades calóricas no iésimo período (tep).

ETI_i : Conteúdo total energético dos combustíveis e fontes primárias utilizadas nas usinas termoeletricas, em tep, no i-ésimo período Este indicador permite estimar a oferta total de energia primária que deve ser estabelecida, para o fornecimento de energia elétrica. Pode, também, servir como justificativa para o desenvolvimento de projetos de geração de energia

mais eficientes. A Tabela 1.15 apresenta os valores registrados pela UTE Tambaqui para o indicador de eficiência térmica.

Tabela 1.15. Índice de eficiência energética

Ano	Eficiência térmica (%) OC	Eficiência térmica (%) GN	Eficiência térmica (%) TOTAL
2010	40,17%	36,60%	39.25
2011	39,52%	37,78%	37.85
2012	38,15%	37,72%	37.86

A incorporação do sistema com a tecnologia de ciclo combinado pode atingir níveis de eficiência superior a 60%, o que, sem dúvida, tem um impacto sobre as taxas de retorno da planta. A título de exemplificação, a Tabela 1.15 apresenta o comportamento do índice de eficiência térmica para o período 2009 a 2011 nas instalações da empresa IBERDROLA (Ummels, 2007) que atua na distribuição de gás natural e na geração e distribuição de energia elétrica com ações no mercado brasileiro de energia.

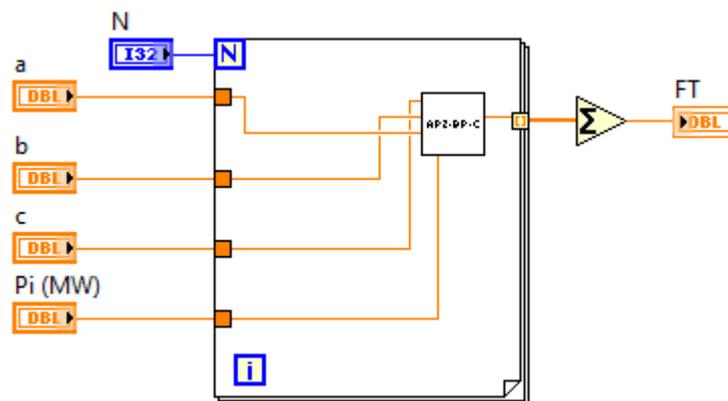
APÊNDICE B

Equações de despacho econômico e Ambiental demonstradas no Labview.

1) Equação (3.1)

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i)$$

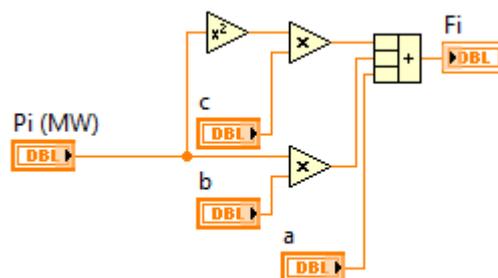
Fig.1- Equação 3.1 demonstrada no Labview



2) Equação (3.2)

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2$$

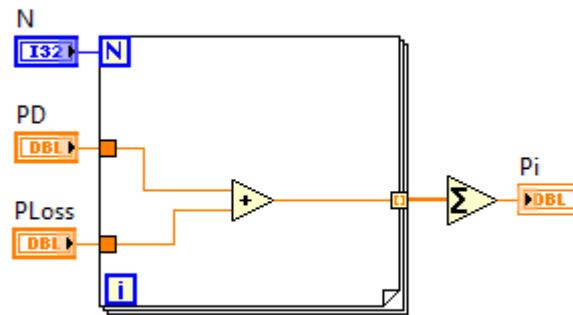
Fig.2- Equação 3.2 demonstrada no Labview



3) Equação (3.3)

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_D + P_{Loss}$$

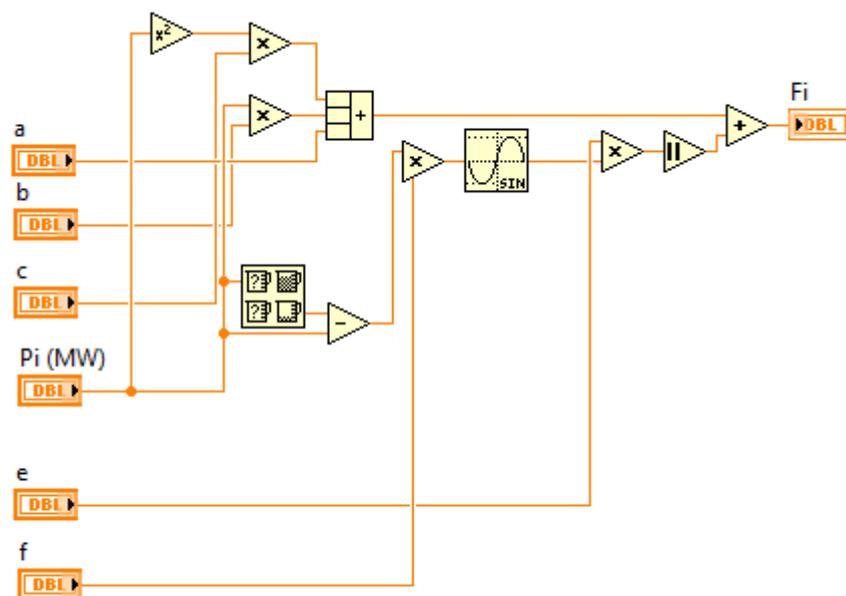
Fig.3- Equação 3.3 demonstrada no Labview



4) Equação (3.11)

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + |e_i \times \sin(f_i \times (P_{i,min} - P_i))|$$

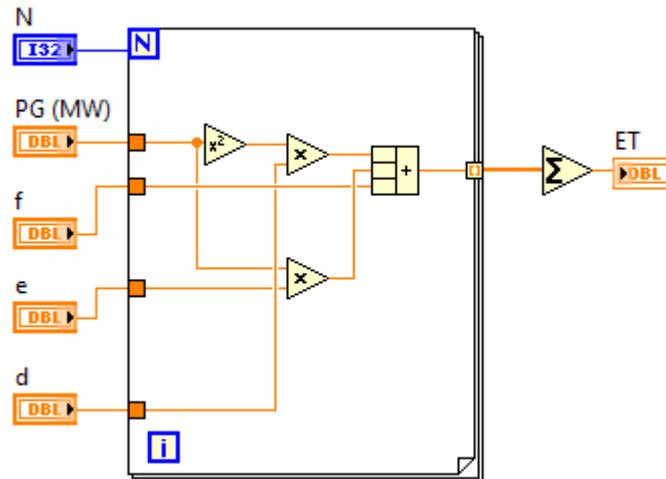
Fig.4- Equação 3.11 demonstrada no Labview



5) Equação (3.12)

$$E_T = \sum_{i=1}^n (d_i P_{Gi}^2 + e_i P_{Gi} + f_i) \quad \left(\frac{kg}{h}\right)$$

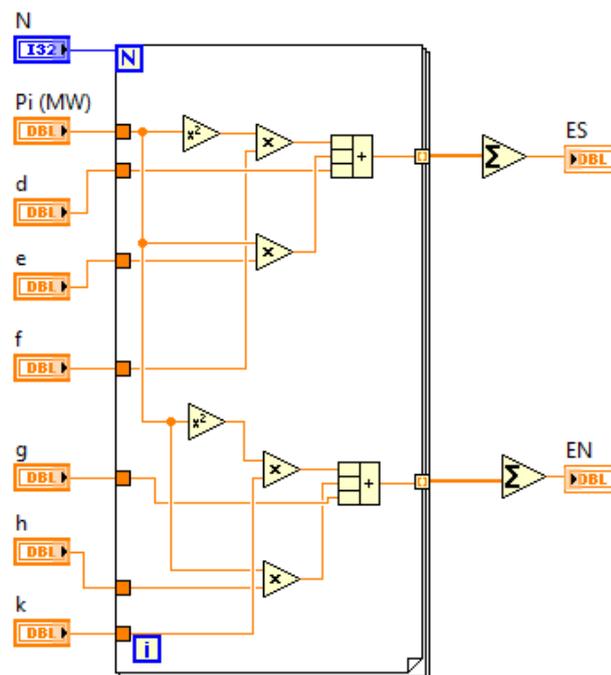
Fig.5- Equação 3.12 demonstrada no Labview



6) Equações (3.17) e (3.18)

$$E_S = \sum_{i=1}^n (d_i + e_i P_i + f_i P_i^2) \quad e \quad E_N = \sum_{i=1}^n (g_i + h_i P_i + k_i P_i^2)$$

Fig.6 – Equações 3.17 e 3.18 demonstrada no Labview



APÊNDICE C

LabVIEW - Introdução

LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica que utiliza ícones, em vez de linhas de texto, para criar aplicações. Em contraste as linguagens de programação baseadas em texto, em que instruções determinam a execução do programa, o LabVIEW utiliza programação baseada em fluxo de dados, onde o fluxo dos dados determina a execução.

No LabVIEW, você constrói uma interface de usuário, utilizando um conjunto de ferramentas e objetos. A interface de usuário é conhecida como Painel frontal. Então, você adiciona o código utilizando representações gráficas de funções para controlar os objetos do painel frontal. O diagrama de bloco contém esse código. Sob certos aspectos, o diagrama de bloco assemelha-se a um fluxograma.

O LabVIEW está totalmente integrado para comunicação com diversos hardwares, como GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485, USB e dispositivos DAQ plug-in. O LabVIEW também possui recursos internos para conectar sua aplicação a Internet, utilizando o LabVIEW Web Server e aplicativos como ActiveX e redes TCP/IP.

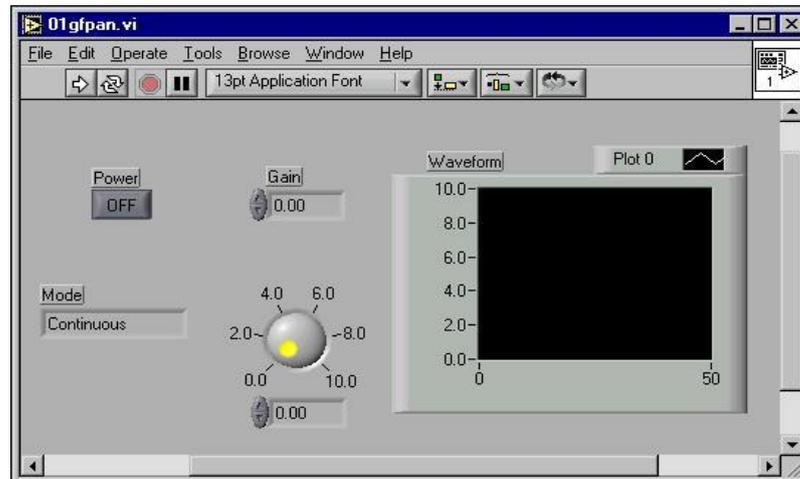
Utilizando o LabVIEW, você pode criar aplicações de teste e medição, aquisição de dados, controle de instrumento, registro de dados, análise de medição e geração de relatório. Também pode criar executáveis e bibliotecas compartilhadas, como DLLs, já que o LabVIEW é um compilador real de 32 bits.

Instrumentos virtuais

Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais (VIs - Virtual Instruments). Os VIs contêm três componentes principais: o painel frontal, o diagrama de bloco e o painel de ícones e conectores.

O **painel frontal** é a interface com o usuário. A figura 1 mostra um exemplo de um painel frontal.

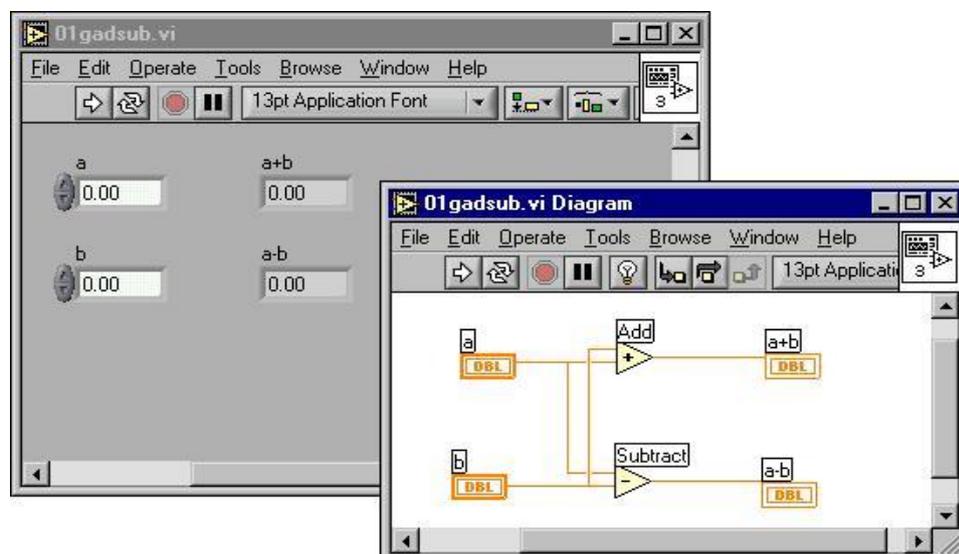
Fig.1- Painel Frontal



Você monta o painel frontal com controles e indicadores, que são os terminais interativos de entrada e saída do VI, respectivamente. Controles são botões, botões de pressão, dials e outros dispositivos de entrada. Indicadores são gráficos, LEDs e outros displays. Os controles simulam dispositivos de entrada de instrumentos e fornecem dados para o diagrama de bloco do VI. Os indicadores simulam dispositivos de saída de instrumentos e exibem os dados que o diagrama de bloco adquire ou gera.

Após a montagem do painel frontal, utilizando representações gráficas de funções, você constrói o código para controlar os objetos do painel frontal. O diagrama de bloco contém este código. Os objetos do painel frontal aparecem como terminais, exibidos a esquerda, no diagrama de blocos. Os objetos do diagrama de bloco incluem terminais, subVIs, funções, constantes, estruturas e ligações, que transferem dados entre outros objetos do diagrama de bloco. O exemplo a seguir mostra um diagrama de bloco e seu painel frontal correspondente.

Fig. 2 – Diagrama em Blocos e Painel Frontal



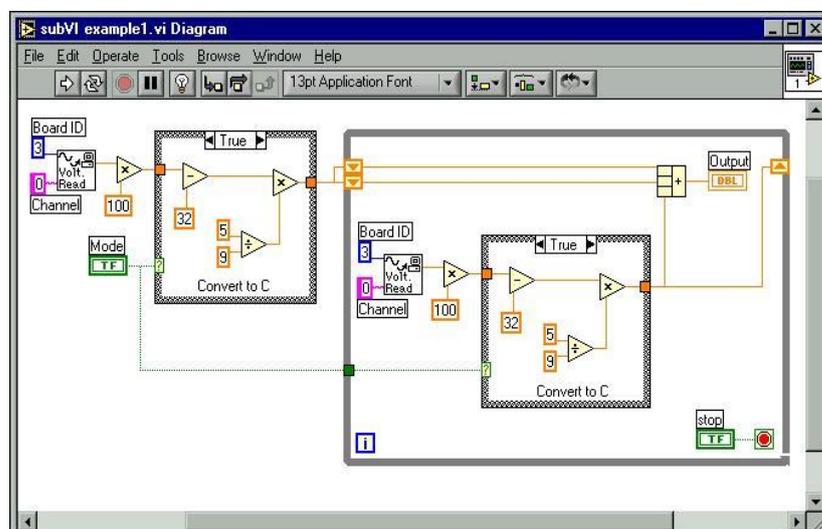
Após a montagem de um painel frontal e o diagrama de bloco, você poderá montar o painel de ícones e conectores para que você possa utilizar o VI em um outro VI. Um VI dentro de um outro VI é chamado subVI. Um subVI corresponde a uma sub-rotina em linguagens de programação baseadas em texto. Todos os VIs exibem um ícone no canto superior direito das janelas do painel frontal e do diagrama de bloco. Um ícone é a representação gráfica de um VI. Pode conter texto, imagens ou uma combinação de ambos. Se você utilizar um VI como um subVI, o ícone identificará o subVI no diagrama de bloco do VI.

Também é necessário montar um painel de conectores, para utilizar o VI como um subVI. O painel de conectores é um conjunto de terminais que corresponde aos controles e indicadores do VI, semelhante a lista de parâmetros de uma chamada de função em linguagens de programação baseadas em texto. O painel de conectores define as entradas e saídas que podem ser ligadas ao VI para que este possa ser utilizado como um subVI. Um painel de conectores recebe dados em seus terminais de entrada e transferem os dados para o código do diagrama de bloco através dos controles do painel frontal, recebendo os resultados em seus terminais de saída dos indicadores do painel frontal.

A vantagem do LabVIEW está na natureza hierárquica do VI. Após a criação de um VI, você pode utilizá-lo como um subVI no diagrama de bloco de um VI de alto nível. Não existe limite para a quantidade de níveis na hierarquia. A utilização de subVIs ajuda você a gerenciar alterações e a depurar o diagrama de bloco rapidamente.

A medida que os VIs são criados, você pode perceber que uma determinada operação é executada com frequência. Considere a possibilidade de utilizar subVIs ou loops (ciclos) para executar essa operação de forma repetitiva. Por exemplo, o diagrama de bloco a seguir contém duas operações idênticas.

Fig. 3- Diagrama em blocos para criar um subVI



A caixa de diálogo LabVIEW inclui os seguintes componentes:

Blank VI para criar um novo VI. Clique na seta ao lado do botão para criar um outro tipo de objeto em LabVIEW, como um controle.

Open para abrir um VI já existente.

Find Examples para abrir um arquivo de ajuda que lista todos os exemplos de VIs do LabVIEW disponíveis.

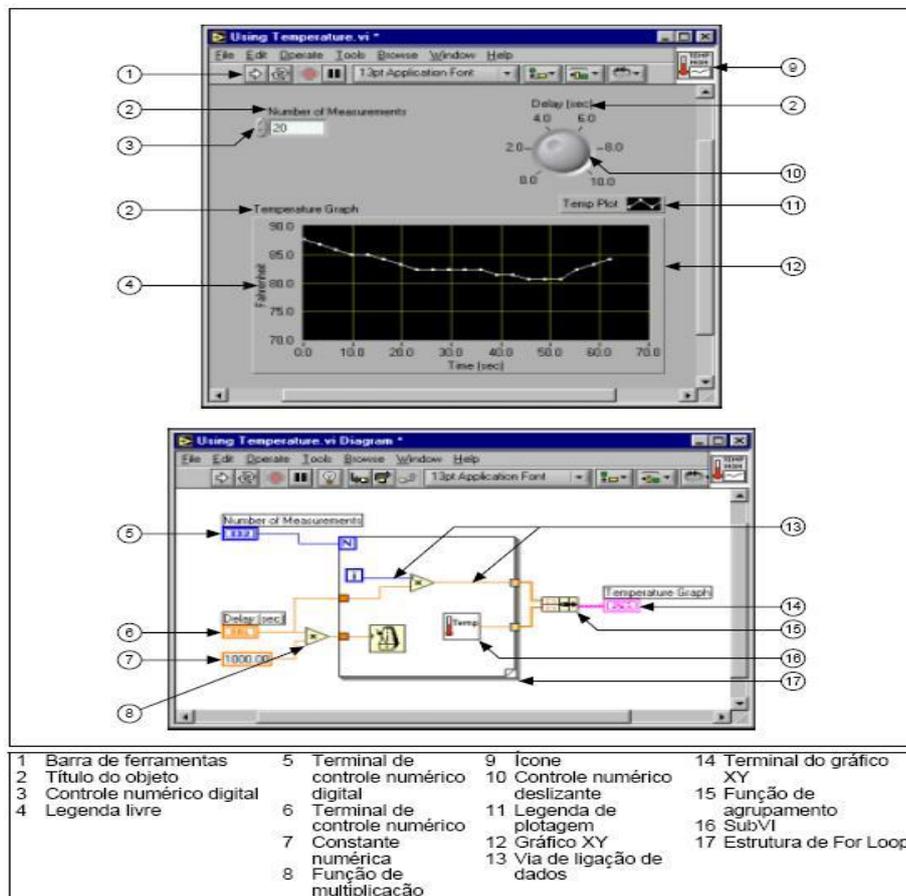
Getting Started with LabVIEW para abrir o LabVIEW Tutorial interativo. Utilize esse tutorial para aprender conceitos básicos do LabVIEW.

Janelas do painel frontal e do diagrama de bloco

Quando você clica na opção Blank VI, uma janela de painel frontal sem título aparece. A janela exibe o painel frontal e é uma das duas janelas do LabVIEW que você utiliza para montar um VI. A outra janela contém o diagrama de bloco.

A Figura 6 a seguir exibe uma janela de painel frontal e sua janela de diagrama de bloco correspondente.

Fig. 6 – Detalhes Painel Frontal e Diagrama em Blocos



Barra de ferramentas do painel frontal

Utilize os botões da barra de ferramentas para executar e editar um VI. A seguinte barra de ferramentas aparece no painel frontal.

Fig 7 – Barra de ferramentas do Painel Frontal



Clique no botão Run para executar o VI. Durante a execução do VI, o botão será alterado conforme ilustrado a seguir, se o VI for um VI de alto nível.

Botão **Run** muitas vezes aparece quebrado, conforme mostrado a esquerda, quando você cria ou edita um VI. Esse botão indica que o VI está com defeito e não pode ser executado. Clique nesse botão para exibir a janela Error list, que lista todos os erros.

Botão **Run Continuously** para executar o VI até que você anule ou interrompa sua execução. Também é possível clicar no botão novamente para desabilitar a execução contínua.

Durante a execução do VI, o botão **Abort Execution** aparece. Clique nele para parar a execução do VI imediatamente.

Botão **Pause** para dar uma pausa na execução de um VI. Quando você clica no botão Pause, o LabVIEW destaca no diagrama de bloco o local onde a execução foi interrompida. Clique no botão novamente para continuar executando o VI.

O menu **Text Settings** na barra de ferramentas para alterar as configurações de fonte do VI, incluindo tamanho, estilo e cor. Selecione o menu Align Objects na barra de ferramentas para alinhar objetos ao longo dos eixos, incluindo vertical, margem superior, esquerdo, e assim por diante.

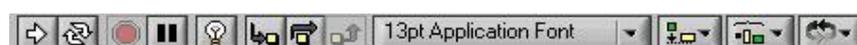
O menu **Distribute Objects** na barra de ferramentas para distribuir objetos uniformemente, incluindo intervalos, compressão, e assim por diante.

O menu **Reorder** na barra de ferramentas quando você tiver objetos que se sobrepõem um ao outro e desejar definir qual deles deve ficar antes ou depois do outro.

Barra de ferramentas do diagrama de bloco

Quando você executa um VI, botões aparecem na barra de ferramentas do diagrama de bloco que pode ser utilizada para depurar o VI. A seguinte barra de ferramentas aparece no diagrama de bloco.

Fig. 8- Barra de ferramentas do Diagrama em Blocos



Botão **Highlight Execution** para ver o fluxo de dados através do diagrama de bloco. Clique no botão novamente para desabilitar essa função.

Botão **Step Into** para executar (passo a passo) um loop, um subVI, e assim por diante. A execução passo a passo sobre um VI permite percorrer o VI de nó a nó. Cada nó pisca para demonstrar quando ele está pronto para ser executado. Ao avançar a um nó, você fica pronto para uma próxima execução.

Botão **Step Over** para entrar (diretamente) em um loop, um subVI, e assim por diante. Ao passar diretamente pelo nó, você executa o nó sem o esquema de passo único.

Botão **Step Out** para sair de um loop, um subVI, e assim por diante. Ao sair de um nó, você conclui a execução passo a passo através do nó e vai para o próximo nó.

Botão **Warning** aparece quando há um problema potencial com o diagrama de bloco, mas ele não faz com que o VI pare sua execução. Você pode habilitar o botão Warning selecionando Tools»Options e Debugging no menu superior.

Menus de atalho

O menu utilizado com mais frequência é o menu de atalho do objeto. Todos os objetos do LabVIEW e espaços vazios do painel frontal e do diagrama de bloco têm menus de atalho associados. Utilize os itens do menu de atalho para alterar a aparência ou o comportamento dos objetos do painel frontal e do diagrama de bloco. Para acessar o menu de atalho, clique com o botão direito no objeto, painel frontal ou diagrama de bloco.

Menus

Os menus localizados na parte superior de uma janela de VI contêm itens que são comuns para outros aplicativos, como Open, Save, Copy e Paste, e outros itens específicos para o LabVIEW. Alguns itens de menu também apresentam combinações de teclas de atalho.

Obs. Alguns itens de menu ficam indisponíveis durante a execução de um VI.

Menu **File** basicamente para abrir, fechar, salvar e imprimir VIs.

Menu **Edit** para pesquisar e modificar componentes de um VI.

Menu **View** para acessar vários elementos que compõem um VI como sua hierarquia por exemplo.

Menu **Project** para realizar o gerenciamento dos seus projetos em LabVIEW.

Menu **Operate** para executar, anular e alterar outras opções de execução do VI.

Menu **Tools** para se comunicar com instrumentos e dispositivos DAQ, comparar VIs, montar aplicações, habilitar o servidor Web e configurar o LabVIEW.

Menu **Window** para exibir janelas e paletas do LabVIEW.

Menu **Help** para visualizar informações sobre paletas, menus, ferramentas, VIs e funções, visualizar instruções passo a passo com relação a utilização de recursos do LabVIEW, acessar os manuais do LabVIEW e visualizar o número de versão do software e as informações sobre a memória do computador.

Paletas

O LabVIEW tem paletas gráficas flutuantes para ajudar na criação e execução dos VIs. As três paletas são Tools, Controls e Functions. Você pode posicionar essas paletas em qualquer lugar da tela.

Paleta Tools

Você pode criar, modificar e depurar VIs, utilizando as ferramentas localizadas na paleta flutuante Tools. A paleta Tools está disponível no painel frontal e no diagrama de bloco. Uma ferramenta é um modo especial de operação do cursor do mouse. Quando você seleciona uma ferramenta,

o ícone do cursor é alterado para o ícone da ferramenta. Utilize as ferramentas para operar e modificar objetos do painel frontal e do diagrama de bloco. Selecione Window»Show Tools Palette para exibir a paleta Tools. Você pode posicionar a paleta Tools em qualquer lugar da tela. Pressione a tecla <Shift> e clique com o botão direito para exibir uma versão temporária da paleta Tools na posição do cursor.

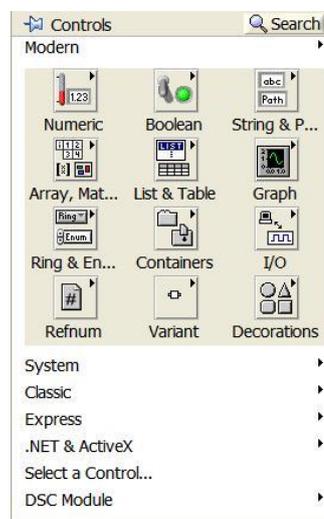
Fig. 9 – Paleta de Ferramentas



Paleta Controls

Utilize a paleta Controls para indicar controles e indicadores no painel frontal. A paleta Controls está disponível somente no painel frontal. Selecione Window»Show Controls Palette ou clique com o botão direito no espaço de trabalho do painel frontal para exibir a paleta Controls. Você também pode exibir a paleta Controls clicando com o botão direito em uma área aberta do painel frontal. Fixe a paleta Controls, clicando no pino, localizado no canto superior esquerdo da paleta.

Fig. 10 – Paleta Controls

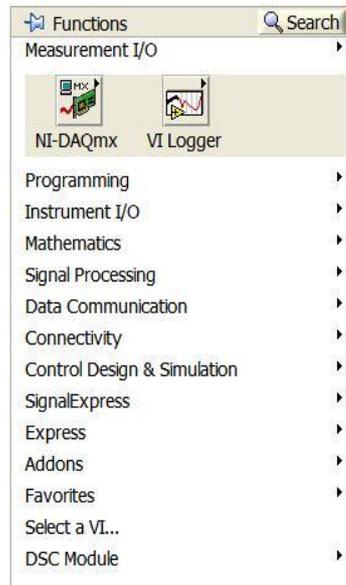


Paleta Functions

Utilize a paleta Functions para montar o diagrama de bloco. A paleta Functions está disponível somente no diagrama de bloco. Selecione

Window » Show Functions Palette ou clique com o botão direito no espaço de trabalho do diagrama de bloco para exibir a paleta Functions. Também é possível exibir a paleta Functions clicando com o botão direito em uma área aberta do diagrama de bloco. Fixe a paleta Functions clicando no pino, localizado no canto superior esquerdo da paleta.

Fig 11- Paleta Functions



Carregando VIs

Você carrega um VI na memória, selecionando File»Open. A caixa de diálogo Choose the VI to open aparece, de forma que você possa navegar para o VI a ser aberto.

Se o LabVIEW não puder localizar imediatamente um subVI, ele começará a pesquisar em todos os diretórios especificados no campo VI Search Path, que poderá ser editado selecionando Tools»Options e, em seguida, Paths no menu superior. O campo Searching lista os diretórios ou VIs, à medida que o LabVIEW os pesquisa. Você pode fazer com que o LabVIEW ignore um subVI, clicando no botão Ignore SubVI, ou pode clicar no botão Browse para procurar o subVI que está faltando.

Salvando VIs

Selecione Save ou Save As no menu File para salvar VIs como arquivos individuais ou agrupar diversos VIs e salvá-los em uma biblioteca de VIs. Os arquivos da biblioteca de VIs terminam com a extensão (.lib). A National Instruments recomenda que você salve os VIs como arquivos individuais, organizados em diretórios, principalmente se diversos desenvolvedores estiverem trabalhando no mesmo projeto.

Criando um VI

Os VIs contêm três componentes principais: o painel frontal, o diagrama de bloco e o painel de ícones e conectores.

Painel frontal

Você monta o painel frontal com controles e indicadores, que são os terminais interativos de entrada e saída do VI, respectivamente. Controles são botões, botões de pressão, dials e outros dispositivos de entrada.

Indicadores são gráficos, LEDs e outros displays. Os controles simulam dispositivos de entrada de instrumentos e fornecem dados para o diagrama de bloco do VI. Os indicadores simulam dispositivos de saída de instrumentos e exibem os dados que o diagrama de bloco adquire ou gera.

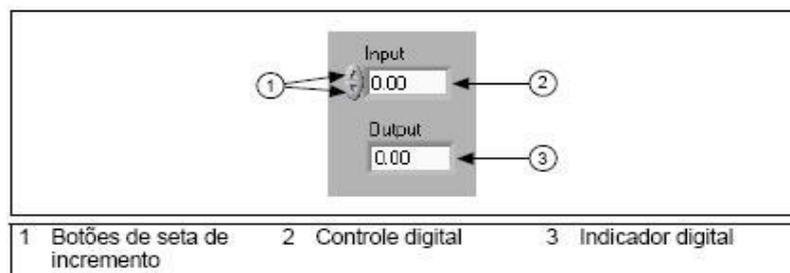
Utilize a paleta Controls para indicar controles e indicadores no painel frontal. A paleta Controls está disponível somente no painel frontal.

Selecione Window»Show Controls Palette ou clique com o botão direito no espaço de trabalho do painel frontal para exibir a paleta Controls.

Controles e indicadores numéricos

Os dois objetos numéricos mais utilizados são: os controles e os indicadores digitais, conforme mostrado na figura 12.

Fig.12 – Controles e indicadores digitais



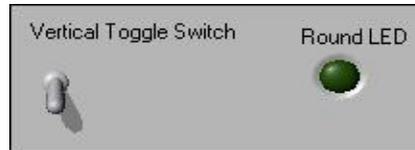
Para inserir ou alterar valores em um controle digital, você pode clicar nos botões de seta de incremento com a ferramenta Operating ou clicar duas vezes no número com a ferramenta Labeling ou Operating, digitar um novo número e pressionar a tecla <Enter>.

Controles e indicadores booleanos

Utilize controles e indicadores Booleanos para inserir e exibir valores Booleanos (TRUE ou FALSE). Objetos Booleanos simulam chaves, botões de pressão e LEDs. Os objetos

Booleanos mais comuns são a chave toggle vertical e o LED redondo, conforme mostrado na ilustração a seguir.

Fig.13 – Indicadores Booleanos



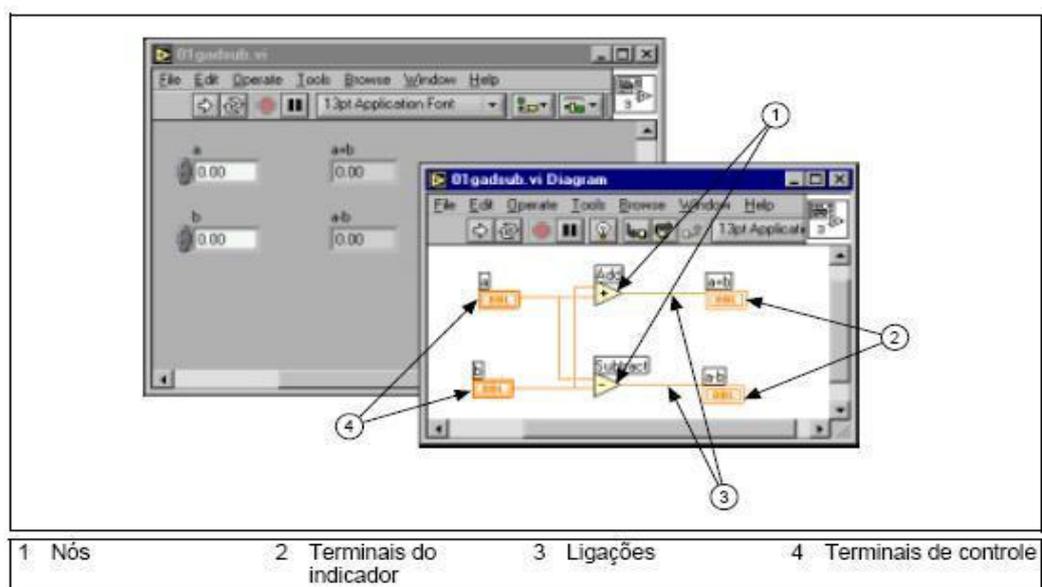
Configurando controles e indicadores

Você pode configurar quase todos os controles e indicadores, utilizando os menus de atalho. Para acessar o menu de atalho de um controle ou indicador, clique com o botão direito no objeto. Por exemplo, para configurar um título, clique com o botão direito no título. Para configurar um display digital, clique com o botão direito no display digital.

Diagrama de bloco

O diagrama de bloco é composto por nós, terminais e ligações, como mostrado na seguinte ilustração.

Fig.14 – Detalhes de Diagrama em Blocos



Nós

Os Nós são objetos do diagrama de bloco que possuem entradas e/ou saídas e executam operações quando o VI é executado. Eles são semelhantes a declarações, operadores, funções e

sub-rotinas em linguagens de programação baseadas em texto. Os tipos de nós incluem funções, subVIs e estruturas. Funções são elementos de execução internos, comparáveis a um operador, uma função ou uma declaração. SubVIs são VIs utilizados no diagrama de bloco de um outro VI, comparáveis a sub-rotinas. Estruturas são elementos de controle de processo, como estruturas Case (condicionais) e Sequence (sequenciais), For Loops ou While Loops. Os nós Add e Subtract no diagrama de bloco anterior são nós de função.

Terminais

Os objetos do painel frontal aparecem como terminais no diagrama de bloco. Os terminais representam o tipo de dados do controle ou do indicador. Por exemplo, um terminal DBL, como mostrado a esquerda, representa um controle ou indicador numérico de ponto flutuante e dupla precisão.

Terminais são portas de entrada e saída que trocam informações entre o painel frontal e o diagrama de bloco. Os terminais são semelhantes a parâmetros e constantes em linguagens de programação baseadas em texto.

Os tipos de terminais incluem terminais de controle ou indicador e terminais de nós. Os terminais de controle e indicador pertencem a controles e indicadores do painel frontal. Os dados inseridos nos controles do painel frontal são inseridos no diagrama de bloco através dos terminais de controle. Em seguida, os dados são inseridos nas funções Add e Subtract. Quando as funções Add e Subtract completam seus cálculos internos, elas produzem novos valores de dados. O fluxo de dados para os terminais de indicador, em que eles saem do diagrama de bloco, são inseridos novamente no painel frontal e aparecem nos indicadores do painel frontal.

Os terminais do diagrama de bloco anterior pertencem aos quatro controles e indicadores do painel frontal. Os painéis de conectores das funções Add e Subtract, mostrados a esquerda, têm três nós de terminal. Para exibir o painel de conectores, clique com o botão direito no nó da função e selecione Visible Items >> Terminals no menu de atalho.

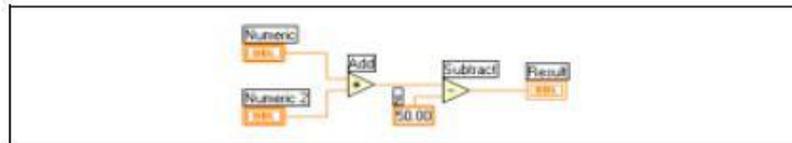
Programação do fluxo de dados

O LabVIEW segue um modelo de fluxo de dados para executar VIs. Um nó do diagrama de bloco é executado quando todas as suas entradas estão disponíveis. Quando um nó completa sua execução, fornece dados para seus terminais de saída e transfere os dados de saída para o próximo nó no caminho do fluxo de dados.

Visual Basic, C++, JAVA e a maioria das outras linguagens de programação baseadas em texto seguem um modelo de fluxo de controle de execução de programas. No fluxo de controle, a ordem sequencial de elementos do programa determina a ordem de execução de um programa.

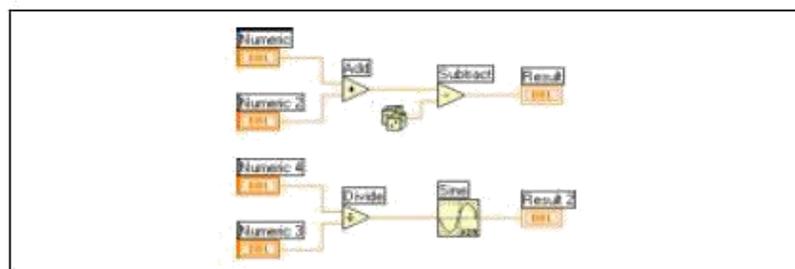
Por exemplo, considere um diagrama de bloco que adiciona dois números e depois subtrai 50,0 do resultado da adição. Nesse caso, o diagrama de bloco é executado da esquerda para a direita, não porque os objetos foram posicionados nessa ordem, mas sim porque uma das entradas da função Subtract não será válida até que a execução da função Add seja concluída e que os dados sejam transferidos para a função Subtract. Lembre-se de que um nó é executado apenas quando os dados estão disponíveis em todos os seus terminais de entrada e de que o nó fornece dados para seus terminais de saída apenas quando conclui a execução.

Fig. 15 – Exemplo em diagrama em blocos 1.



No exemplo a seguir, considere qual segmento de código será executado primeiro, a função Add, Random Number ou Divide. Não é possível realmente saber porque as funções Add e Divide estão disponíveis ao mesmo tempo e porque a função Random Number não possui entradas. Em uma situação em que um segmento de código deve ser executado antes de outro e não existe nenhum tipo de dependência de dados entre as funções, utilize uma estrutura Sequence para forçar a ordem de execução.

Fig. 16 – Exemplo em diagrama em blocos 2.



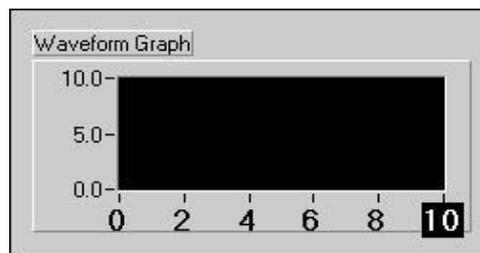
Alterando fonte, estilo e tamanho de texto

Você pode alterar a fonte, o estilo, o tamanho e o alinhamento de qualquer texto exibido em um título ou o display de um controle ou indicador, selecionando o menu Text Settings na barra de ferramentas.

Determinados controles e indicadores utilizam texto em mais de um display.

Os exemplos incluem eixos de gráficos e indicadores digitais ou marcadores de escala em escalas numéricas. Você pode modificar cada exibição de texto de maneira independente, utilizando a ferramenta Labeling para destacar o texto, como mostrado no gráfico a seguir. Em seguida, selecione o menu Text Settings na barra de ferramentas.

Fig. 17 – Alterando fontes



Redimensionando objetos

Você pode alterar o tamanho da maioria dos objetos do painel frontal.

Quando você move a ferramenta Positioning sobre um objeto redimensionável, alças de redimensionamento, como mostradas a esquerda, aparecem nos cantos de um objeto retangular ou círculos de redimensionamento aparecem em um objeto circular. Quando você redimensiona um objeto, o tamanho de fonte permanece o mesmo. Arraste as alças ou os círculos de redimensionamento até que a borda tracejada esteja contornando o tamanho de objeto desejado e solte o botão do mouse. Pressione a tecla <Shift> enquanto arrasta as alças ou os círculos de redimensionamento para manter o objeto proporcional a seu tamanho original.

Você também pode redimensionar objetos do diagrama de bloco, como estruturas e constantes.

Copiando objetos entre VIs e de outras aplicações

Você pode copiar e colar objetos de um VI para outro, selecionando Edit»Copy e, em seguida, Edit»Paste. Também pode copiar imagens ou texto de outras aplicações e colá-los no painel frontal ou diagrama de bloco.

Se os dois VIs estiverem abertos, você poderá copiar objetos entre VIs, arrastando-os de um VI ao outro.

Animação de execução

Visualize uma animação da execução do diagrama de bloco, clicando no botão **Highlight Execution**, como mostrado a esquerda. A animação de execução mostra o movimento de dados no diagrama de bloco de um nó para outro. Utilize a execução animada juntamente com a execução passo a passo para ver como os dados se movem de um nó ao outro através de um VI.

Obs. A execução animada reduz bastante a velocidade de execução do VI.

Pontas de prova

Utilize a ferramenta Probe, como mostrada a esquerda, para verificar valores em uma ligação enquanto o VI é executado. Quando a execução é interrompida em um nó devido a um modo passo a passo ou um ponto de parada, você também pode sondar a ligação que acabou de ser executada para ver o valor que passou por essa ligação.

Também pode-se criar uma ponta de prova personalizada para especificar que indicador você utiliza para visualizar os dados sondados. Por exemplo, se você estiver visualizando dados numéricos, poderá optar por ver os dados em um gráfico. Para criar uma ponta de prova, clique com o botão direito em uma ligação e selecione Custom Probe no menu de atalho.

Pontos de parada

Utilize a ferramenta Breakpoint, como mostrada a esquerda, para indicar um ponto de parada em um VI, um nó ou uma ligação do diagrama de bloco para interromper a execução.

Quando você define um ponto de parada em uma ligação, a execução é interrompida depois que os dados passam pela ligação. Selecione um ponto de parada no espaço de trabalho do diagrama de bloco para interromper a execução depois que todos os nós do diagrama forem executados. Pontos de parada são indicados com quadros vermelhos para nós e diagramas de

bloco e pontos vermelhos para ligações. Quando você move o cursor sobre um ponto de parada já existente, a área em preto do cursor da ferramenta Breakpoint aparece em branco.

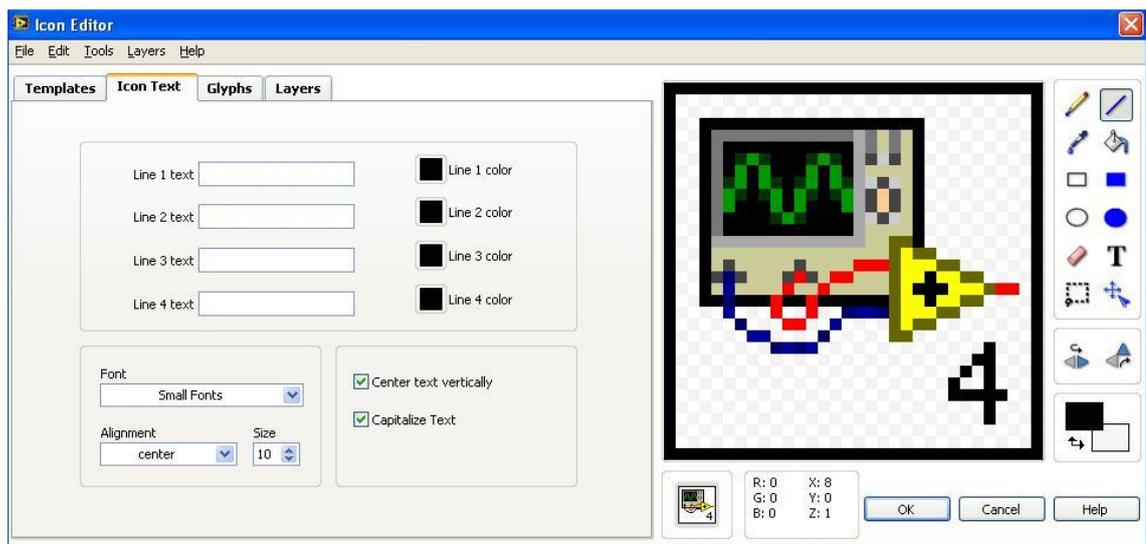
Criando um ícone

Todos os VIs exibem um ícone, como mostrado a esquerda, no canto superior direito das janelas do painel frontal e do diagrama de bloco. Um ícone é a representação gráfica de um VI. Pode conter texto, imagens ou uma combinação de ambos. Se você utilizar um VI como um subVI, o ícone identificará o subVI no diagrama de bloco do VI.

O ícone padrão contém um número que indica quantos novos VIs você abriu desde a inicialização do LabView. Crie ícones personalizados para substituir o ícone padrão, clicando com o botão direito no ícone que está no canto superior direito do painel frontal ou do diagrama de bloco, selecionando Edit Icon no menu de atalho ou clicando duas vezes no ícone no canto superior direito do painel frontal. Você também pode editar ícones selecionando File»VI Properties, selecionando General no menu Category na barra de ferramentas e clicando no botão Edit Icon.

Utilize as ferramentas que estão do lado esquerdo da caixa de diálogo Icon Editor para criar o desenho do ícone na área de edição. A imagem do ícone em tamanho normal aparece na caixa adequada, a direita da área de edição, como mostrado na caixa de diálogo a seguir.

Fig. 18 – Editor de ícone



Você também pode arrastar um gráfico de qualquer lugar do seu sistema de arquivo e pode soltá-lo no canto superior direito do painel frontal ou diagrama de bloco. O LabVIEW converte o gráfico em um ícone de 32 32 pixels.

Dependendo do tipo de monitor que você utiliza, poderá projetar um ícone separado para modo de cor monocromático, de 16 e de 256 cores. O LabVIEW utiliza o ícone monocromático na impressão, a não ser que você tenha uma impressora colorida. O padrão é o modo de 256 cores. Selecione a opção Copy from para alterar modos.

Criando Estruturas Básicas de Programação

While Loops

Semelhante a um Do Loop ou um Repeat-Until Loop em linguagens de programação baseadas em texto, um While Loop, como mostrado a esquerda, executa um subdiagrama até que uma condição seja alcançada. A estrutura de While Loop está localizada na paleta Functions » Structures. Utilize o cursor para arrastar um retângulo de seleção ao redor da seção do diagrama de bloco a ser repetida. Quando você soltar o botão do mouse, um limite de While Loop circundará a seção selecionada.

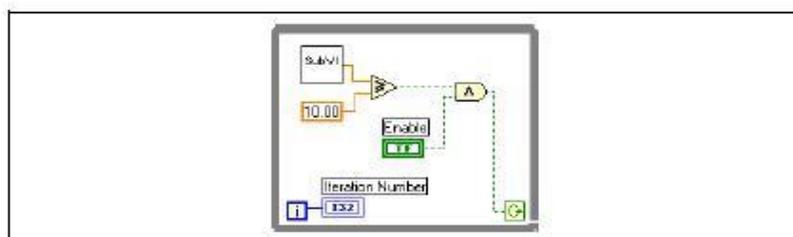
Adicione objetos do diagrama de bloco ao While Loop, arrastando-os e soltando-os dentro da estrutura.

O While Loop executa o subdiagrama até que o terminal condicional, um terminal de entrada, receba um valor Booleano específico. O comportamento e a aparência padrão do terminal condicional é Continue If True, como mostrados a esquerda. Quando um terminal condicional está configurado como Continue If True, o While Loop executa seu subdiagrama até o terminal condicional receber um valor FALSE.

O terminal de iteração (um terminal de saída), como mostrado a esquerda, contém o número de iterações concluídas. A contagem de iterações sempre inicia em zero. Durante a primeira iteração, o terminal de iteração retorna o valor 0.

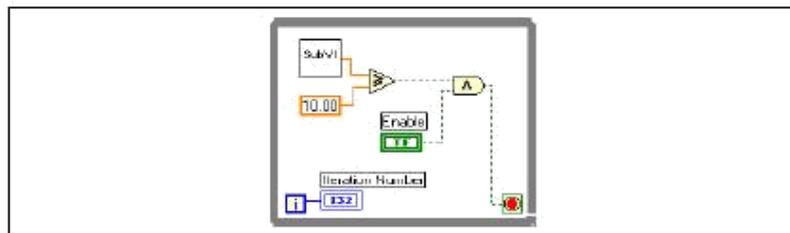
No diagrama de bloco a seguir, o While Loop será executado até que a saída do subVI seja menor que 10.00 ou o controle Enable seja FALSE. A função And retorna um valor TRUE apenas se as duas entradas são TRUE. Do contrário, retorna um valor FALSE.

Fig. 19 –While Loop (a).



Você pode alterar o comportamento e a aparência do terminal condicional, clicando com o botão direito no terminal ou na borda do While Loop e selecionando Stop If True, como mostrado a esquerda. Você também pode utilizar a ferramenta Operating para clicar no terminal condicional, com o intuito de alterar a condição. Quando um terminal condicional está configurado como Stop If True, o While Loop executa seu subdiagrama até que o terminal condicional receba um valor TRUE, como mostrado no diagrama de bloco a seguir.

Fig. 20 – While Loop (b).

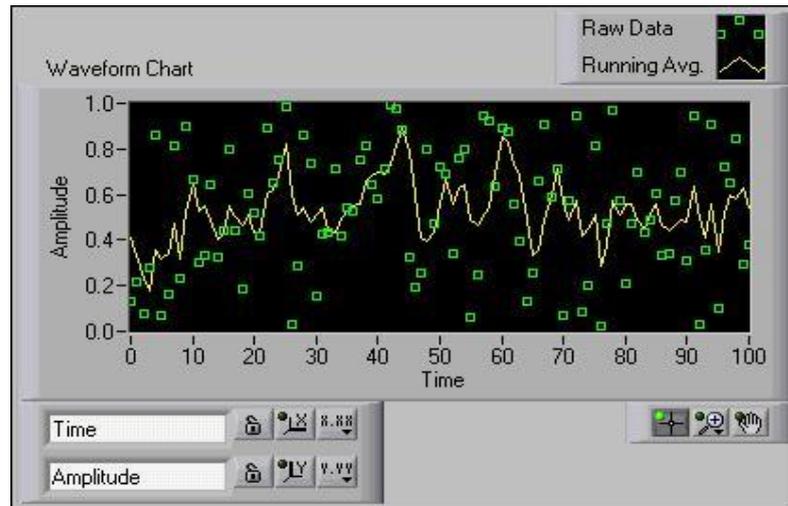


O While Loop é executado até que a saída do subVI seja maior que ou igual a 10.00 e o controle Enable seja TRUE.

Diagramas de forma de onda

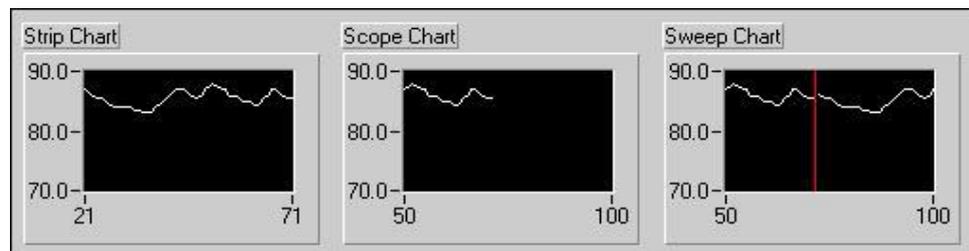
O diagrama de forma de onda é um indicador numérico especial que exibe uma ou mais plotagens. O diagrama de forma de onda está localizado na paleta Controls»Graph. Eles podem exibir única ou várias plotagens. O painel frontal a seguir mostra um exemplo de um diagrama de forma de onda de várias plotagens.

Fig. 21 – Diagrama de forma de onda (a)



Os diagramas utilizam três modos diferentes para rolar dados, como mostrado no painel frontal a seguir. Clique com o botão direito no diagrama e selecione Advanced»Update Mode no menu de atalho. Selecione Strip Chart, Scope Chart ou Sweep Chart. O modo padrão é Strip Chart.

Fig. 22 – Diagrama de forma de onda (b)



Um Strip Chart mostra dados sendo executados continuamente da esquerda para a direita pelo diagrama. Um Scope Chart mostra um item de dados, como um pulso ou uma onda, rolando parcialmente pelo diagrama, da esquerda para a direita. Uma exibição de varredura é semelhante a uma exibição EKG. Um modo sweep funciona basicamente como um modo scope, exceto pelo fato de ela mostrar os dados antigos do lado direito e os dados novos do lado esquerdo, separados por uma linha vertical. O Scope Chart e o Sweep Chart têm exibições de retorno semelhantes a um osciloscópio. Devido ao fato de haver menos overhead no retorno de uma plotagem, o Scope Chart e o Sweep Chart exibem plotagens de forma bem mais rápida que o Strip Chart.

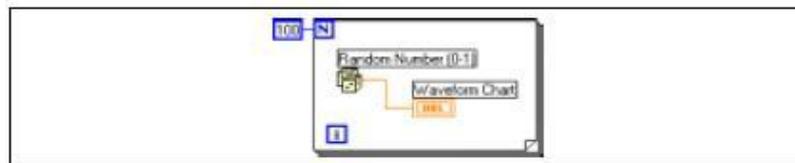
For Loops

Um For Loop, como mostrado a esquerda, executa um subdiagrama por um definido número de vezes. O For Loop está localizado na paleta Functions»Structures. O valor no terminal de contagem (um terminal de entrada), como mostrado a esquerda, indica quantas vezes é possível repetir o subdiagrama. O terminal de iteração (um terminal de saída), como mostrado a esquerda, contém o número de iterações concluídas. A contagem de iterações sempre inicia em zero. Durante a primeira iteração, o terminal de iteração retorna o valor 0.

O For Loop difere do While Loop, pois o For Loop é executado por um número definido de vezes. O While Loop interromperá a execução do subdiagrama apenas se existir o valor no terminal condicional.

O For Loop a seguir gera 100 números aleatórios e exibe os pontos em um diagrama de forma de onda.

Fig.23 – For Loops



Estruturas Case

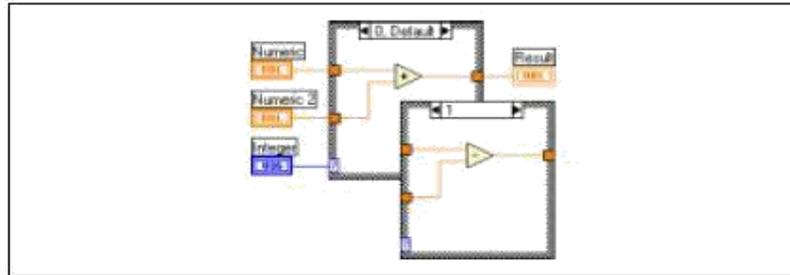
A estrutura Case, como mostrada a esquerda, tem dois ou mais subdiagramas ou condições. Apenas um subdiagrama pode ser visto de cada vez, e a estrutura executa apenas uma condição de cada vez. Um valor de entrada determina qual subdiagrama será executado. A estrutura Case é semelhante as declarações condicionais ou declarações if...then...else em linguagens de programação baseadas em texto.

O identificador do seletor de condições na parte superior da estrutura Case, como mostrado a esquerda, contém o identificador do seletor de condições no centro e botões de seta de incremento e decremento de cada lado. Utilize os botões de seta de incremento e decremento para rolar pelas condições disponíveis.

Ligue um valor de entrada, ou seletor, ao terminal do seletor, como mostrado a esquerda, para determinar qual condição será executada. Você deve ligar um número inteiro, um valor Booleano, uma string ou um valor de tipo numérico ao terminal do seletor. Você pode posicionar o terminal do seletor em qualquer lugar da borda esquerda da estrutura Case. Se o

terminal do seletor for Booleano, a estrutura terá uma condição TRUE e uma condição FALSE. Se o terminal do seletor for um inteiro, uma string ou um valor de tipo numérico, a estrutura poderá ter até 231-1 condições.

Fig.24 – Estrutura Case.



Você pode especificar uma condição padrão para a estrutura Case. Você deve especificar uma condição padrão para tratar de valores fora de faixa ou listar expressamente todos os valores possíveis de entrada. Por exemplo, se você especificou condições para 1, 2 e 3, mas obteve uma entrada de 4, a estrutura Case executará a condição padrão.

Clique com o botão direito na borda da estrutura Case para adicionar, duplicar, remover ou reorganizar condições e selecionar uma condição padrão.