

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE
UNIDADES RESFRIADORAS DE LÍQUIDOS POR CICLOS DE
COMPRESSÃO E ABSORÇÃO**

GUSTAVO SOARES DE ALMEIDA

ORIENTADOR: JOÃO M. D. PIMENTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

BRASÍLIA/DF DEZEMBRO - 2006

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UNIDADES
RESFRIADORAS DE LÍQUIDOS POR CICLOS DE COMPRESSÃO E
ABSORÇÃO**

GUSTAVO SOARES DE ALMEIDA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS MECÂNICAS.**

APROVADA POR:

**João Manoel Dias Pimenta, Dr. (EnM-UnB)
(Orientador)**

**Mario Olavo Magno de Carvalho (EnM-UnB)
(Examinador Interno)**

**José Henrique Martins Neto (CEFET-MG)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 22 DE DEZEMBRO DE 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Almeida, Gustavo Soares de	
Metodologia para avaliação econômica de unidades resfriadoras de líquidos por compressão e absorção xvii, 119 p., 297 mm (ENM/FT/UnB, Mestre, Engenharia Mecânica, 2006). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.	
Departamento de Engenharia Mecânica.	
1. Análise econômica	2. Ciclos de refrigeração
3. Ciclo por absorção	4. Análise de viabilidade
I. ENM/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Almeida, G. S. (2006). Metodologia para avaliação econômica de unidades resfriadoras de líquidos por compressão e absorção. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânica, Publicação ENM.DM-107A/06, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 119p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gustavo Soares de Almeida.

TÍTULO: Metodologia para avaliação econômica de unidades resfriadoras de líquidos por compressão e absorção

GRAU: Mestre

ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gustavo Soares de Almeida
CSA 01 lote 14/15 apt° 501 ed. Vila Boa.
72015-015 Taguatinga – DF – Brasil.
e-mail: gustav.soares@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meus pais, irmãos e demais afetos por todas contribuições. Gostaria de fazer um agradecimento especial à Nayara que sempre esteve ao meu lado e me apoiou nesta e em outras empreitadas. Faço um agradecimento muito sincero às pessoas do meio acadêmico que me auxiliaram na elaboração deste trabalho. Ao professor João Pimenta, por sua dedicação e amizade. Aos colegas José Araújo, Enio de Carvalho, Thiago Karashima pelo apoio e amizade construída durante o curso de mestrado. A Bruno Marques e Ana Rita Naves, amigos de longa data, por toda a colaboração. Agradeço ao engenheiro José Carlos Felamingo e a Union Rhac pela a contribuição prestada a mim e ao Departamento de Engenharia Mecânica. Por fim, a toda a equipe de manutenção da Procuradoria Geral da República, meu muito obrigado.

Gustavo Soares de Almeida

RESUMO

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UNIDADES RESFRIADORAS DE LÍQUIDOS POR CICLOS DE COMPRESSÃO E ABSORÇÃO

Autor: Gustavo Soares de Almeida

Orientador: João Manoel Dias Pimenta

Programa de Pós-graduação em Ciências Mecânica

Brasília, 22 de dezembro de 2006

Este trabalho tem por finalidade apresentar uma proposta de metodologia para estudos de viabilidade econômica da utilização do ciclo por absorção por grandes edifícios, empregando gás natural como combustível. Aspira-se que o processo de verificação de viabilidade econômica aqui apresentado seja aplicado tanto em edifícios já existentes, como também em projetos futuros. A metodologia elaborada se utiliza de recursos de engenharia, análise de investimentos, matemática financeira e aspectos técnicos das instalações de ar-condicionado. Para verificar a aplicabilidade da metodologia em análise, apresenta-se um estudo de caso que avalia a viabilidade da utilização de unidades de resfriamento de líquido de ciclo por absorção no edifício da Procuradoria Geral da República – DF. Assim estabelece-se um confronto econômico dos equipamentos de centrais de condicionamento de ar que trabalham por ciclo de compressão de vapor e ciclo por absorção. No estudo de caso em questão foram avaliados três cenários utilizando-se dos critérios propostos para avaliação econômica. Desta forma a metodologia proposta para este caso permitiu uma comparação adequada entre as alternativas de projetos objetivando a melhor escolha a partir de critérios financeiros.

ABSTRACT

METHODOLOGY FOR ECONOMIC EVALUATION OF VAPOR COMPRESSION AND ABSORPTION CYCLE CHILLERS

Author: Gustavo Soares de Almeida
Supervisor: João Manoel Dias Pimenta
Programa de Pós-graduação em Ciências Mecânicas
Brasília, 22 December 2006

This study presents a methodology for economic feasibility studies of the applicability of absorption cycle air conditioning systems in buildings in Brasilia - DF using natural gas as fuel. The verification process of economic viability here presented intends to be applied in existing buildings as well as in future projects. The elaborated methodology uses engineering resources, investments analysis, financial math and technician aspects of air conditioning installation. To verify the applicability of the proposed methodology, a study case is presented in order to evaluate the viability of the use of absorption chillers in the building of Procuradoria Geral da República – DF. Therefore, an economic comparison of compression chillers as well as absorption chillers was established. In this case study three scenes were evaluated using the proposed economic evaluation criteria. In this manner, the methodology proposal for this case has allowed a suitable comparison among the two alternatives of projects identifying the best option from the economical criteria.

RÉSUMÉ

METHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES UNITES DE REFROIDISSEMENT PAR DES CYCLES DE COMPRESSION ET ABSORPTION

Auteur: Gustavo Soares de Almeida
Orienteur: João Manoel Dias Pimenta
Programa de Pós-graduação em Ciências Mecânicas
Brasília, 22 décembre 2006

Ce travail présente une proposition de méthodologie pour l'étude de la viabilité économique d'emploi du cycle par absorption dans les centrales de froid des grands bâtiments, en employant du gaz naturel comme combustible. On attend que le processus de vérification de viabilité économique ici présentée soit appliqué dans des bâtiments déjà existants, aussi bien que dans des projets futurs. La méthodologie élaborée s'utilise des concepts d'ingénierie, analyse d'investissements, mathématiques financière et aspects techniques des installations de climatisation. Pour vérifier l'applicabilité de la méthodologie proposée, on présente une étude de cas qui évalue la viabilité d'application des unités de refroidissement de liquide par absorption dans le bâtiment de la Procuradoria Geral da República – DF. Ainsi s'établit une confrontation économique directe entre les équipements par cycle de compression à vapeur et de cycle par absorption. Dans l'étude de cas concerné ont été évalués trois scénarios, en s'utilisant des critères d'évaluation économique proposés. De cette forme la méthodologie proposée permet une comparaison appropriée entre les alternatives de projets en objectivant la meilleur choix à partir de critères financiers.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O PROBLEMA EM ESTUDO E SUA IMPORTÂNCIA	1
1.2. ESTADO DA ARTE / REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.4. METODOLOGIA	7
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	8
2. REVISÃO DE CONCEITOS FUNDAMENTAIS	10
2.1. O GÁS NATURAL.....	10
2.1.1. Breve Histórico	13
2.2. O CICLO POR ABSORÇÃO	16
2.2.1. Breve histórico	16
2.2.2. Fundamentos do ciclo por absorção	18
2.2.2.1 Definição de Eficácia de um ciclo por absorção Ideal (COP_{abs}).....	21
2.2.2.1 Circuito de refrigerante	22
2.2.2.2 Cristalização	23
2.2.2.2 O ciclo por absorção e sua aplicação prática em duplo efeito.	24
2.3. PRINCÍPIOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS	26
2.3.1. Fluxo de Caixa	27
2.3.2. Análise pelo Valor Atual Líquido.	28
2.3.3. Análise pelo tempo de recuperação descontado.....	28
2.3.4. Análise pela Taxa Interna de Retorno (TIR).....	28
2.3.5. Obtenção do Valor Uniforme Líquido ou Custo Uniforme Líquido.....	29
2.3.6. Análise pelo Custo/Benefício.....	30
3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	31
3.1. ELABORAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA	31
3.1.1. Investimento Inicial.....	34
3.1.2. Custos de Manutenção	34
3.1.2.1 Manutenção, Vida Útil e Valor Residual de equipamentos por absorção....	36
3.1.3. Custos do Insumo Energético.....	38
3.1.3.1 Carga Térmica.....	38

3.1.3.2	Tarifação da energia elétrica	39
3.1.3.3	Tarifação de gás natural	41
3.2.	COMPARAÇÃO DE PROJETOS COM BASE NO VALOR ATUAL LÍQUIDO.....	42
3.3.	COMPARAÇÃO PELA AVALIAÇÃO DO CUSTO/BENEFÍCIO.....	43
3.4.	DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DESCONTADO.....	45
3.5.	COMPARAÇÃO DE PROJETOS COM BASE NA TAXA INTERNA DE RETORNO.....	48
3.6.	SÍNTESE DA METODOLOGIA PROPOSTA	49
4.	ESTUDO DE CASO: PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA.....	53
4.1.	PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA E SEU SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	53
4.1.1.	Central de água gelada	55
4.1.2.	As Unidades Resfriadoras de Líquido (<i>Chillers</i>).....	58
4.1.2.1	Unidade Resfriadora de Líquido por compressão	58
4.1.2.2	Unidade Resfriadora de Líquido por absorção.....	62
4.2.	ELABORAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA	67
4.2.1.	Custos com Investimento inicial	67
4.2.2.	Custos com manutenção.....	68
4.2.3.	Custos com insumo energético.....	71
4.2.3.1	Cálculo do consumo e custos com energia das URLs por compressão	73
4.2.3.2	Cálculo do consumo e custos com energia das URLs por absorção.....	76
5.	APRESENTAÇÃO DE CENÁRIOS E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	80
5.1.	ANÁLISE DO FLUXO DE CAIXA DA URL POR CICLO DE COMPRESSÃO.....	81
5.2.	CENÁRIO 1: PREÇO DO GÁS NATURAL ELEVADO.	83
5.2.1.	Análise de sensibilidade no cenário 1.	84
5.3.	CENÁRIO 2: PREÇO DO GÁS NATURAL INTERMEDIÁRIO.	86
5.3.1.	Análise de sensibilidade no cenário 2.	89
5.4.	CENÁRIO 3: PREÇO DO GÁS NATURAL INFERIOR.....	91
5.4.1.	Análise de sensibilidade no cenário 3.	94
5.5	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	96
6.	CONCLUSÕES	98
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	ANEXOS	105

ANEXO A.....	106
ANEXO C.....	108
ANEXO D.....	109
ANEXO E.....	110
ANEXO F.....	111
ANEXO G.....	112
ANEXO H.....	115
ANEXO I.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Reservas provadas de gás natural - 1965 a 2005 (ANP, 2006).	16
Figura 2.2 – Ciclo de refrigeração padrão.....	19
Figura 2.3 – Ciclo por absorção básico de simples efeito.....	20
Figura 2.4 – Ciclo por absorção com trocador de calor no circuito gerador-absorvedor.....	20
Figura 2.5 – Combinação de um ciclo de potencia e um de refrigeração (Stoecker et al, 1984)	22
Figura 2.6 - Entalpia de soluções de H ₂ O/LiBr (Herold et al, 1996).	24
Figura 2.7 – Chiller de absorção de simples efeito. (TRANE, 2001).	24
Figura 2.8 – Esquema de chiller de duplo efeito H ₂ O/Brometo de Lítio no Diagrama de Duhring.....	26
Figura 2.9 - Diagrama de Fluxo de Caixa no tempo.	27
Figura 2.10 – Valor atual líquido com predominância negativa a taxas crescentes.....	29
Figura 3.1 – Fluxo de Caixa 1 (Investimento inicial e Valor Residual).....	32
Figura 3.2 - Fluxo de Caixa 2 (Custos de insumo energético e manutenção).....	32
Figura 3.3 – Elaboração do Fluxo de Caixa Relativo.	46
Figura 3.4 – Tempo de retorno de investimento descontado.	47
Figura 3.5 – Tempo de retorno da diferença entre investimentos descontado.....	47
Figura 3.6 – Cenários para Taxa Interna de Retorno.	48
Figura 3.7 – Fluxograma da metodologia de análise econômica.	52
Figura 4.1 - Bloco A da Procuradoria Geral da República	54
Figura 4.2 – Vista de satélite da Procuradora Geral da República (GoogleMaps, 2006).	54
Figura 4.3 – Modo de operação direta (Pimenta et al, 2004).	56
Figura 4.4 – Figura esquemática da CAG (Pimenta et al, 2004).	57

Figura 4.5 – Visão frontal da unidade resfriadora de líquidos utilizada na PRG (York, 2000).	58
Figura 4.6 - Coeficiente de Performance (COP) e Capacidade de Refrigeração em função da porcentagem de carga para modo de operação em produção direta (Pimenta et al, 2004).	60
Figura 4.7 – Potência requerida pelo compressor (kW) x Carga no evaporador (kW).....	61
Figura 4.8 - Potência (kW) x Carga no evaporador (kW) para as 3 URL's em operação simultânea.....	62
Figura 4.9 - Coeficiente de Performance (COP) x Capacidade de Refrigeração da URL por absorção.....	65
Figura 4.10 – Consumo de Gás Natural por PCI (m ³ /h) x Carga no evaporador (kW).	65
Figura 4.11 - Consumo de Gás Natural por PCI (m ³ /h) x Carga no evaporador (kW) para as 3 URLs.	67
Figura 4.12 - Carga térmica anual do conjunto de edificações da Procuradoria Geral da República.....	72
Figura 4.13 - Demanda térmica de projeto calculada para a PGR em condição de verão (Pimenta et al, 2004).	73
Figura 4.14 - Consumo de energia elétrica durante 3120 horas de operação das URLs.....	73
Figura 4.15 – Custo mensal de energia elétrica das URLs.....	76
Figura 4.16 - Consumo de gás natural durante 3120 horas de operação da URL por absorção.	77
Figura 4.17 – Perfil dos custos mensais com gás natural.....	79
Figura 5.1 – Avaliação da Taxa Interna de Retorno no cenário 1.....	85
Figura 5.2 – Avaliação do Custo-Benefício e a Taxa Interna de Retorno no cenário 1.....	85
Figura 5.3 – Tempo de retorno descontado no cenário 2.....	88
Figura 5.4 – Tempo de recuperação entre diferença de investimentos no cenário 2.	88
Figura 5.5 – Avaliação da Taxa Interna de Retorno no cenário 2.....	89
Figura 5.6 – Avaliação do Custo-Benefício e a Taxa Interna de Retorno no cenário 2.....	90
Figura 5.7 – Tempo de retorno descontado no cenário 3.....	93

Figura 5.8 – Tempo de recuperação da diferença de investimentos no cenário 3.....	94
Figura 5.9 – Avaliação da Taxa Interna de Retorno no cenário 3.....	95
Figura 5.10 – Avaliação do Custo-Benefício e a Taxa Interna de Retorno no cenário 3.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Poder Calorífico do gás natural de diversas origens.	11
Tabela 2.2 – Composição Físico-Química (Martins, 2006).	12
Tabela 3.1 – URLs em operação em Brasília – DF.	33
Tabela 3.2 - Determinação de tempo de recuperação descontado através do Fluxo de Caixa Relativo.	46
Tabela 4.1 – Desempenho de referencia para as URLs em modo de produção direta (Pimenta et al, 2004).	59
Tabela 4.2 - Cotação para investimento inicial em URL por compressão.	68
Tabela 4.3 - Cotação para investimento inicial em URL por absorção (Felamingo, 2006).	68
Tabela 4.4 - Custos anuais de manutenção para URLs por compressão (Pimenta, W., 2006).	69
Tabela 4.5- Custos anuais de manutenção para URLs por absorção (Felamingo, 2006).	70
Tabela 4.6 – Consideração para simulação da carga térmica.	71
Tabela 4.7 - Consumo de energia e custo respectivo para o período seco fora de ponta.	74
Tabela 4.8 - Consumo de energia e custo respectivo para o período seco em hora de ponta. .	74
Tabela 4.9 - Consumo de energia e custo respectivo para o período úmido fora de ponta.	75
Tabela 4.10 - Consumo de energia e custo respectivo para o período úmido em hora de ponta.	75
Tabela 4.11 – Custo de energia elétrica mensal (URLs).	76
Tabela 4.12 – Consumo mensal de gás natural.	77
Tabela 4.13 – Estrutura tarifária para consumo de gás natural (COMGAS, 2006)	78
Tabela 4.14 – Custo mensal do consumo de gás natural.	79
Tabela 5.1 – Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por compressão.	81
Tabela 5.2 – Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por compressão.	81

Tabela 5.3 - Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por absorção no cenário 1.....	83
Tabela 5.4 - Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por absorção no cenário 1.....	84
Tabela 5.5 - Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por absorção no cenário 2.....	86
Tabela 5.6 - Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por absorção no cenário 2.....	87
Tabela 5.7 - Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por absorção no cenário 3.....	91
Tabela 5.8 - Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por absorção no cenário 3.....	92
Tabela A.1 – Tarifas dos grupos A e B da fornecedora de energia elétrica de Brasília (CEB, 2006).....	106
Tabela A.2 - Tarifas para contratos Horo-Sazonais Azul e Verde (CEB, 2006).	107
Tabela A.3 - Tarifação do gás Natural no estado de Santa Catarina (SCGAS, 2006).	109
Tabela A.4 – Tarifação do gás natural no estado de São Paulo (COMGAS, 2006).	110
Tabela A.5 – Tarifação do gás natural no estado do Rio de Janeiro (CEG, 2006).	111
Tabela A.6 – Avaliação da TIR em relação a VAL, CUL e C/B no cenário 1.	112
Tabela A.7 - Avaliação da TIR em relação a VAL, CUL e C/B no cenário 2.	113
Tabela A.8 - Avaliação da TIR em relação a VAL, CUL e C/B no cenário3.....	114

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

<i>C/B</i>	Custo-benefício	[R\$/kW]
<i>i</i>	Taxa de desconto ou de retorno	[%]
<i>En</i>	Energia	[kW]
\dot{Q}	Fluxo de energia	[kW]
<i>W</i>	Trabalho	[kW]
<i>I</i>	Investimento inicial	[R\$]
<i>n</i>	período	[ano]
<i>R</i>	Valor do resíduo	[R\$]
<i>v</i>	Vida útil	[ano]

Grupos Adimensionais

COP Coeficiente de performance

Subscritos

<i>1</i>	referente ao fluxo de caixa 1 (investimento inicial)
<i>2</i>	referente ao fluxo de caixa 2 (manutenção e energia)
<i>abs</i>	absorvedor
<i>ev</i>	evaporador
<i>comp</i>	compressor
<i>cd</i>	condensador
<i>I</i>	investimento inicial
<i>R</i>	valor residual
<i>n</i>	período
<i>v</i>	vida útil

Sobrescritos

•	Variação temporal
-	Valor médio

Siglas

ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento.
ANEEL	Agencia Brasileira de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BDI	Bonificação de Despesas Indiretas
BEG	Bomba de Etilenoglicol
CAL	Custo Atual Líquido
CUL	Custo Uniforme Líquido

DOE	<i>Department of Energy</i>
FLUXO	Fluxo de Caixa
F	Fora de Hora de Ponta
FU	Fora de Hora de Ponta no período Úmido
FS	Fora de Ponta no período Seco
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
P	Hora de Ponta
S	Período Seco
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PGR	Procuradoria Geral da República
PS	Hora de Ponta no período Seco
PU	Hora de Ponta no período Úmido
TIR	Taxa Interna de Retorno
U	Período Úmido
U_n	Fluxo de Caixa Uniforme
URL	Unidade Resfriadora de Líquidos
VAL	Valor Atual Líquido
VUL	Valor Uniforme Líquido

1. INTRODUÇÃO

1.1. O PROBLEMA EM ESTUDO E SUA IMPORTÂNCIA

O surgimento de um quadro de dificuldades para o atendimento do mercado de energia elétrica a partir de maio de 2001, impondo diversas ações governamentais e reações de toda a sociedade, restituiu ao tema do fornecimento energético a verdadeira dimensão que lhe foi subtraída desde os efeitos dos choques do petróleo dos anos setenta.

Um primeiro momento onde a temática da conservação de energia se destacou foi exatamente a partir dos choques de petróleo, que impuseram a necessidade de se economizar petróleo e seus derivados como conseqüência da elevação brusca dos preços internacionais deste insumo. Nesta época, o governo federal ofereceu estímulos à conservação e substituição dos derivados do petróleo consumidos na indústria.

Na década de oitenta, seguiu-se uma crise econômica que, em seu princípio, trouxe dificuldades para o setor elétrico. Houve aumento de taxas de juros nos mercados financeiros dos quais o Brasil obteve empréstimos, enquanto as tarifas de eletricidade eram ajustadas pela inflação. Tal situação perdurou por um longo período, e ao mesmo tempo a capacidade instalada de geração elétrica aumentou, a demanda se estabilizou e o excesso resultante foi comercializado a baixo preço para substituir o óleo combustível na indústria sob a denominação de Energia Garantida por Tempo Determinado – EGTD.

Esta iniciativa adequou-se perfeitamente a proposta da década anterior, onde se enfatizava a diminuição do consumo de derivados do petróleo, sendo verificado uma crescente utilização da eletricidade para fins térmicos. A eletrotermia contribuiu significativamente para a redução do consumo dos derivados de petróleo, introduzindo novos patamares de eficiência na indústria e abrindo um mercado até então inexplorado pelas concessionárias de energia. Ultrapassando o limite até então estabelecido pelo “medidor de energia”, as companhias distribuidoras passam a entrar nas instalações dos consumidores, diagnosticando seus equipamentos, propondo tecnologias eficientes e vendendo novos produtos.

Ocorre que o excedente de eletricidade não era perene e os reajustes das tarifas de energia combinaram-se com a retomada do crescimento da economia, anunciando desde então a crise que eclodiria quinze anos após.

Este contexto revela a necessidade de estruturação de políticas de incentivo às alternativas energéticas que se mostrem convenientes para o país. Estas políticas, de fato, necessitarão de adequada definição de critérios, de forma a potencializar a atuação dos agentes responsáveis pela geração de energia no país e evitar que o consumo de energia seja um gargalo para o desenvolvimento econômico do país.

Apesar da atual crise política e da instabilidade gerada pelo atual governo Boliviano, o Gás Natural ainda é uma alternativa para as necessidades brasileiras de geração de energia. Há também a perspectiva de ampliação da oferta de gás natural no Brasil devido às importações oriundas da Argentina, além da expectativa de aumento da produção nacional. O aumento da produção nacional é o maior estímulo para ampliação do consumo deste insumo energético. Tal situação configura um contexto propício ao aumento da utilização de gás natural como matriz energética nos próximos anos. Põe-se então o imperativo de se analisar opções viáveis de destinação do gás natural no país. Neste contexto a tecnologia da refrigeração por absorção é uma das alternativas para a utilização deste insumo.

Sob o ponto de vista energético, em certos cenários a utilização de sistemas de refrigeração por absorção pode ser mais interessante que a utilização daqueles por compressão. Sendo assim, no momento da escolha da unidade de resfriamento de líquidos é necessário que o administrador tenha em mãos referenciais e ferramentas que lhe permitam tomar a decisão que conduza ao menor custo possível. Afinal, um dos princípios que orienta a administração pública é a economicidade. Tal processo decisório não deve pender para qualquer lado, deve ser idôneo e imparcial. É neste cenário que este estudo pretende se inserir, trazendo uma metodologia que poderá avaliar com justeza as opções de equipamentos disponíveis. Entretanto, cada caso depende de estudos de viabilidade, sendo que a possibilidade de uso do gás natural deve ser sempre analisada.

1.2. ESTADO DA ARTE / REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A climatização de ambientes com equipamentos movidos a gás natural surgiu com uma das alternativas analisadas nos casos de novas obras e também nos chamados procedimentos de *retrofit*, técnica que propõe reformas programadas com o intuito de modernizar ou substituir componentes do sistema de condicionamento de ar. No caso deste trabalho, os procedimentos de *retrofit* se aplicam na hipótese de substituição de resfriadores que se utilizam de compressão a vapor por aqueles que se utilizam do ciclo por absorção.

Hoje existe uma tendência de crescimento do uso da tecnologia de refrigeração alimentada por gás natural em todo o Brasil, especialmente em função da grande oferta do insumo energético, dos incentivos dados pelas concessionárias, da ampliação da rede de distribuição, da necessidade de diversificação da matriz energética brasileira e, principalmente, dos seguidos aumentos no custo da energia elétrica para os segmentos industrial e comercial.

A velocidade com que o uso deste tipo de tecnologia cresce no Brasil só não é maior porque o gás natural ainda não chega a todos os pontos do território nacional e o custo de importação dos equipamentos de absorção ainda é muito alto - IPI de 15% e ICMS de 18% para o exemplo de São Paulo (Couto, 2004).

A política é outra questão relevante a ser considerada. Parte dos investidores teme a instabilidade da política tarifária do gás natural para o futuro, o que estagna os investimentos em equipamentos abastecidos por gás natural. Além desta falta de confiança do mercado nas políticas tributárias brasileiras os recentes acontecimentos na Bolívia abalam a confiança da Petrobrás em futuros projetos. Faz-se esperar, no entanto, que a médio e longo prazo as dificuldades geradas pela atual situação política boliviana sejam superadas. Por outro lado, a avaliação da Petrobrás argumenta que a taxação boliviana não elimina a rentabilidade do empreendimento já realizado naquele país e o volume de gás já inventariado garantiria o abastecimento pelo tempo necessário para amortizar os investimentos já realizados.

Pesaria na decisão do governo boliviano o fato do gás natural ser responsável por 29% do valor das exportações. A hipótese de o governo interromper o abastecimento para o Brasil é, portanto, considerada pouco provável. Por outro lado, será necessário que ao longo do tempo se encontre uma solução onde o preço acertado não desestimule a demanda nem os investimentos futuros.

Embora existam algumas barreiras, os sistemas de climatização movidos a gás natural têm crescido no Brasil, impulsionados especialmente pelas concessionárias que distribuem o energético. As principais unidades destes resfriadores estão localizadas nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com destaque maior para este último, onde a participação do gás natural já atinge cerca de 35% das instalações de água gelada utilizadas pelos aparelhos de refrigeração por absorção (Couto, 2004).

Segue-se a este crescimento o desenvolvimento de estudos de viabilidade. Quando disponível em quantidades suficientes a possibilidade de uso do gás natural sempre deve ser

analisada. Diversos estudos foram feitos nos últimos anos, principalmente depois de 2001, quando se percebeu a necessidade de alternativas a matriz energética brasileira.

Felamingo (2003) realizou estudos cujo cerne era a comparação econômica entre o ciclo por absorção a gás natural e o ciclo por compressão elétrico com e sem termoacumulação. Para tal, Felamingo realizou dois estudos de caso: primeiro com um edifício de escritórios; e o segundo com um *shopping center*. A partir de dados dos fabricantes de unidades resfriadoras de líquidos (URLs – conhecidos também da língua inglesa por “*chillers*”) e de características dos edifícios foram estimados os custos com o consumo de gás natural, demanda tanto dentro como fora da hora de pico para todos os equipamentos que compõem a central de água gelada e as economias entre as opções de projeto referentes às alternativas de equipamentos (absorção, compressão e compressão com termoacumulação). Felamingo conclui, para os casos analisados, que a substituição dos resfriadores é viável quando existem condições propícias para tanto. Tais condições seriam o baixo ICMS do gás natural (em São Paulo: ICMS de 12% para o gás natural e 18% para energia elétrica. No Rio de Janeiro: ICMS de 13% para o GN e 30% para energia elétrica), a necessidade de substituição e adequação de equipamentos antigos que ainda utilizam gases refrigerantes proibidos, a utilização de chillers por compressão em horário de pico e a impossibilidade da utilização de termoacumulação. Concluiu então que o uso dos chillers por absorção com queima direta de gás natural tem aplicação viável nos casos em que os equipamentos trabalham durante o período de ponta da energia elétrica. Porém, o estudo apurado e detalhado de cada caso é imprescindível para o perfeito julgamento da viabilidade econômica. A contribuição dada pelo autor a este trabalho se relaciona especialmente a questão técnica de levantamento de informações para a construção do fluxo de caixa.

Monteiro (2002) analisa diferentes técnicas de análise de investimentos tais como Valor Presente Líquido, Período de Retorno Descontado, Taxa Interna de Retorno, entre outras, buscando encontrar os principais aspectos que regem o processo decisório empresarial. Além dos métodos tradicionais (ou métodos financeiros), fatores intangíveis, de difícil mensuração passaram a ser considerados na composição do valor dos produtos / serviços oferecidos. Afirma assim ser necessário relativizar o custo-benefício de um projeto. Dentro deste contexto o trabalho apresenta uma metodologia para Análise de Investimentos voltados para a melhoria da Cadeia de Valor, a qual foi denominada de método da Matriz de Competências Tecnológicas direcionadas ao Cliente (MC²T). A validação do método é realizada por meio de Estudo de Caso no setor de logística de uma

grande empresa da área de cosméticos. A visão relativista de Monteiro (2002) influenciou o ponto de vista do presente trabalho no momento da elaboração da metodologia aqui proposta.

Gil et al (2004) apresentaram no *Journal of Energy Resources Technology* uma pesquisa referente à elaboração de um modelo de previsão de consumo de gás natural em diversas atividades, inclusive condicionamento de ar. O trabalho dos pesquisadores argentinos se dedica à previsão do consumo residencial, comercial, industrial e veicular para curtos e intermediários períodos de tempo. A partir de hábitos de consumo foi possível traçar um perfil de utilização do insumo dos últimos cinco anos na Grande Buenos Aires (GBA). Percebeu-se que o perfil se adequava perfeitamente a correlação entre consumo diário e temperatura. Os autores afirmam assim que o modelo de previsão descrito pode prever na prática o consumo para 1 a 5 dias, devido à impossibilidade de se fazer uma previsão a longo prazo da temperatura. Porém, o interesse da indústria de gás natural é a previsão de consumo para um determinado dia daqui a dois anos ou mais. Para tanto os pesquisadores utilizaram a distribuição probabilística de temperaturas para determinada região obtida a partir de base de dados com informações diárias de um período de dez anos. Combinando-se essas probabilidades com o modelo de predição e ajustando os parâmetros para a realidade futura é possível, conforme apresentado no artigo, obter a probabilidade de ocorrência de um cenário de consumo para qualquer ano em um futuro próximo. Gil et al (2004) contribuem com a presente dissertação no momento em que avaliam a previsão do consumo de gás natural em equipamentos de ar-condicionado, demonstrando assim que a estimativa da utilização deste insumo é de grande importância para projetos de gasodutos.

Park et al (2004) analisaram o consumo energético de um chiller por absorção de 738 kW (210 TR) durante a operação em carga parcial. Foi simulado um equipamento, a partir do código fonte ABSIM (*an Acronym for ABSorption SIMulation* – programa desenvolvido para simulação de sistemas de refrigeração por ciclo por absorção – Grossman et al, 1994) operando por queima direta de gás natural tendo como refrigerante H₂O/LiBr. Durante a simulação foi observado que o desempenho do sistema por absorção é mais sensível às variações da temperatura da água de entrada no evaporador do que sua vazão. Embora a vazão seja reduzida de 60% do valor padrão a capacidade de refrigeração é restituída se a temperatura da água de arrefecimento é diminuída de 2 °C. Como a potência dispensada pela bomba é 4 vezes maior que aquela utilizada pelos ventiladores nas torres durante operação parcial foi observada redução do consumo energético do sistema. Adicionalmente foi

observado que para uma operação parcial com cargas a partir de 40% houve uma redução de consumo energético de até 23%. Este estudo apresenta sua importância para esta dissertação quando avalia a demanda energética de uma máquina por absorção comercial em situação próxima da realidade, pois simula o ciclo em diversas cargas durante uma operação diária.

Também submerso no contexto da análise de avaliação do desempenho de resfriadores por absorção através de simulações Florides et al. (2003) desenvolveram um método para avaliar características e performance de uma máquina de absorção de simples estágio usando água/LiBr como fluido de trabalho. Os pesquisadores desenvolveram algumas correlações físicas de transferência de calor e massa. Estas equações foram empregadas em um programa de computador para simulações de desempenho. Os resultados teóricos calculados foram comparados com os dados experimentais de uma unidade de pequeno porte (capacidade nominal de 1 kW). Informações de projeto dos trocadores de calor também foram apresentadas. Os pesquisadores utilizaram trocadores de calor de feixe de tubos verticais no absorvedor e evaporador. O condensador e o gerador foram projetados como feixe de tubos horizontais. O projeto do absorvedor, previa absorção em filme de solução de água/LiBr. Para o modelamento deste fenômeno os pesquisadores utilizaram um modelo matemático simplificado de absorção, utilizado por Andberg e Vliet (1983) o que mostrou uma boa concordância com resultados experimentais. A questão mais importante citada pelos autores é a necessidade de se encontrar correlações físicas de transferência de calor e massa específicos para os fluidos de trabalho, configurações de escoamento e geometrias. Estas por sua vez foram formuladas a partir de ensaios com uma pequena unidade de absorção. Isto foi um ponto positivo, pois havia a necessidade de se obter dados e equações mais precisas sobre soluções Brometo de Lítio. Estes dados e correlações são muito importantes em projetos, levantamento de curvas de desempenho de unidades resfriadoras de líquidos e definição de soluções ótimas da solução refrigerante.

1.3. OBJETIVOS

Inserido no contexto apresentado, o propósito deste trabalho é apresentar um método para análise comparativa entre equipamentos centrais de condicionamento de ar por compressão e aqueles que operam através do ciclo por absorção. Esta dissertação objetiva assim descrever uma metodologia que vise analisar a viabilidade da substituição de resfriadores que operam com compressão de vapor por resfriadores que operem através do ciclo por absorção em edifícios. Em casos de *retrofit*, a aplicação mais usual é a utilização de

ciclos por absorção através de fogo direto utilizando gás natural como combustível, quando comprovada sua viabilidade.

O escopo do trabalho é delimitado a avaliação destas duas tecnologias, refrigeração por compressão e por absorção, na região de Brasília. A principal orientação desta metodologia em estudo são os prédios públicos. Isto se deve a atual condição da maioria dos resfriadores destes edifícios, boa parte muito próximo ao fim da vida útil. Entretanto, a utilização do ciclo por absorção em hotéis, hospitais e shoppings é também bastante importante, pois nestes setores a possibilidade da utilização do uso diverso do gás natural e da cogeração viabilizam a utilização desta tecnologia. Porém, o estudo da cogeração foge ao objetivo desta dissertação.

Devido à intensidade de capital e a complexidade das etapas para a execução de um projeto relacionado a economia de energia e substituição de matriz energética, as decisões e as escolhas em um projeto nunca devem ser intuitivas. De uma maneira geral no processo decisório, o investidor se defronta com dois objetivos: maximizar o retorno esperado e minimizar o risco. Com este objetivo, este trabalho intenta ser uma ferramenta para auxiliar a elaboração de um estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização do ciclo por absorção em edifícios. Como referência para esta análise toma-se como base para comparação os sistemas de refrigeração por compressão e absorção do conjunto de edifícios da Procuradoria Geral da República.

1.4. METODOLOGIA

Conforme já descrito, esta dissertação propõe um estudo que visa analisar a viabilidade da utilização de resfriadores que operam com compressão de vapor por resfriadores que operem através do ciclo por absorção.

Pretende-se então simular o sistema de absorção em um edifício público utilizando variáveis e parâmetros característicos de um *chiller* por absorção comercial. Inicialmente será feito um levantamento de dados técnicos do edifício em questão. A comparação dos sistemas será feita entre os valores e resultados reais observados em estudo técnico da edificação e aqueles simulados para o prédio em questão. É imprescindível para este tipo de estudo uma análise econômica que compare o investimento em um novo equipamento, os custos com energia, manutenção e demais insumos com outros investimentos.

Para atingir os objetivos propostos será empregada a seguinte metodologia de trabalho.

- a. Inicialmente, baseado nas metodologias clássicas de análise econômica de projetos será elaborada uma proposta para avaliação de viabilidade financeira. Serão apresentados e analisados alguns critérios para avaliação de viabilidade econômica de projetos. Tais conhecimentos serão assim aplicados ao caso de instalação de unidades resfriadoras de líquidos.
- b. A segunda etapa é a aplicação da metodologia em um estudo de caso para avaliação de seus resultados. O alvo do estudo são os edifícios de grande porte como a aquele ocupado pela Procuradoria Geral da República em Brasília – DF.
- c. Para tanto é necessário o levantamento de todos os dados sugeridos pela metodologia proposta. Segue-se então a avaliação técnica da instalação. Será analisada a central de água gelada (o alvo do estudo). Serão levantados dados como tipo de equipamento, características técnicas, requisitos de manutenção, consumo energético, custos do investimento inicial, custos de manutenção, valor residual do equipamento instalado e outros.
- d. Um dos pontos de maior importância é a avaliação do consumo energético. Este será feito através de simulação utilizando o software livre EnergyPlus™ v1.2.3 (DOE, 2005) para cálculo da carga térmica da edificação. A partir do resultado da simulação é possível estimar, através da curva característica das URLs a serem analisadas, o consumo de energia. Conseqüentemente, é possível também estimar o custo referente ao insumo energético.
- e. A partir dos dados obtidos será avaliada a viabilidade da utilização de unidades resfriadoras de compressão por unidades de absorção em alguns cenários. Avaliar-se-á a viabilidade da utilização do ciclo por absorção no empreendimento em questão, determinando-se em quais casos é possível economicamente a substituição dos ciclos de compressão. Serão avaliados também os resultados da metodologia quanto a coerência dos resultados fornecidos.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho será dividido em seis capítulos seguindo uma seqüência lógica que permita a compreensão da proposta de organização de uma metodologia para análise econômica de viabilidade de unidades resfriadoras de líquido por absorção e compressão. O atual capítulo dissertou acerca da importância do estudo, dos trabalhos mais importantes e recentes nos

quais se orientará esta dissertação, dos objetivos e da metodologia para alcançar os resultados esperados.

O capítulo 2 apresentará os conceitos fundamentais mais relevantes tendo o consumo do gás natural como centro da questão da avaliação econômica e energética. Serão descritos os conceitos básicos de funcionamento do ciclo de refrigeração por absorção, bem como os conceitos fundamentais de matemática financeira e engenharia econômica para posterior utilização nos capítulos seguintes.

O terceiro capítulo desta dissertação apresentará então uma metodologia, com seus princípios e técnicas, para tomadas de decisão relativas à aquisição de uma unidade de condicionamento de ar de grande porte por absorção. Este é o ponto mais importante do trabalho, onde é apresentado um método a partir de conceitos bastante conhecidos de matemática financeira, engenharia econômica e também conhecimento técnico acerca dos dois tipos de unidades resfriadoras de líquidos em questão.

O capítulo 4 apresentará o estudo de caso proposto. Avaliou-se a Procuradoria Geral da República, um conjunto de 6 edifícios que é atualmente atendido por unidades resfriadoras de líquidos de compressão. Neste capítulo serão levantados todos os dados necessários para a elaboração de um fluxo de caixa das duas tecnologias a serem avaliadas, compressão e absorção, a partir do qual será analisada a viabilidade da utilização das máquinas ora instaladas.

O quinto capítulo da dissertação apresentará e analisará os resultados obtidos a partir da metodologia proposta no capítulo 3. Nesta parte do trabalho serão avaliados alguns fatores que por ventura possam influir no processo decisório. Serão criados também cenários afim de avaliar as possibilidades quanto a viabilidade da instalação de máquinas de ciclo por absorção.

Finalmente, o sexto capítulo apresentará as conclusões referentes aos resultados do trabalho e a validade da metodologia proposta. Serão apresentadas propostas para continuação e utilização deste trabalho em projetos futuros.

2. REVISÃO DE CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1. O GÁS NATURAL

A oportunidade da utilização deste insumo energético na região do Distrito Federal desperta o interesse de sua utilização em diversas áreas, dentre elas, o condicionamento de ar em edifícios que, em Brasília, deverá ser um dos principais segmentos de mercado, associado ou não a sistemas de cogeração.

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, em estado gasoso à temperatura ambiente e pressão atmosférica normais, sendo encontrado em acumulações rochosas porosas marítimas ou terrestres. Este combustível pode ser proveniente de três diferentes fontes: da degradação da matéria orgânica por bactérias anaeróbicas; do carvão a temperatura e pressão elevadas; e da alteração térmica dos hidrocarbonetos líquidos (Poulallion, 1986).

Na natureza, o gás natural aparece na forma associada ou não associada ao petróleo. Na forma associada ele forma uma câmara de pressão acima da superfície de líquido, ajudando a elevação do petróleo até a superfície. Nestas condições, o gás sai juntamente com o óleo. Então, passa por um separador e é conduzido para o consumo ou é reinjetado para auxiliar a extração do petróleo. Pode, também, ocorrer em jazidas sem a presença do petróleo, sendo denominado de “não associado” (Soares, 2004).

A forma física do hidrocarboneto depende do número de átomos de carbono presentes na estrutura molecular. Até quatro átomos em cada molécula, este apresenta-se na forma gasosa, constituindo o gás natural, que é uma mistura de metano, etano, propano e butano (principalmente metano). Entre cinco e vinte átomos de carbono por molécula, o hidrocarboneto se apresenta na forma líquida, constituindo o petróleo bruto. Acima deste valor, o estado é sólido, formando os diversos tipos de carvão (Soares, 2004).

Reduzindo a temperatura do gás natural até seu ponto de condensação (-162 °C) a uma pressão pouco acima da pressão atmosférica, seu volume se reduz em 600 vezes, permitindo o seu armazenamento em grandes reservatórios isolados termicamente para estocagem e transporte. Nesta situação ele é conhecido como gás natural liquefeito (GNL), o que permite o transporte em grandes navios metaneiros, fabricados para este fim, possuindo reservatórios esféricos revestidos com isolamento térmico (Pitanga, 1992).

Tratando-se de uma mistura de hidrocarbonetos, entre os quais prevalece o gás metano, a queima do gás natural faz-se com relativa facilidade, proporcionando um elevado grau de aproveitamento e reduzida emissão de poluentes.

O poder calorífico é uma das características que mais despertam a atenção em um gás combustível, podendo ser expresso tomando-se por base uma massa unitária (kg) ou um volume unitário (m³). No caso da base ser volumétrica, é necessário referir-se às condições de temperatura e de pressão: Nm³, normal metro cúbico, a 760 mm Hg (1 atm abs) e 0 °C; Sm³ ou m³, metro cúbico standard, a 760 mm Hg e 15,6 °C (existem também referências a temperaturas de 20 °C, 21,1 °C ou 25 °C). No Brasil costuma-se exprimir o poder calorífico de um gás em kcal/Nm³, kcal/m³ ou kcal/kg, muito embora o correto fosse usar unidades do sistema internacional (kJ/Nm³ ou MJ/Nm³). Juntamente com o termo poder calorífico, são usados os termos “superior” e “inferior”. O poder calorífico superior é a quantidade de calor transferido quando há H₂O na forma líquida nos produtos da combustão e poder calorífico inferior é a quantidade de calor transferido, quando nos produtos há H₂O na forma de vapor (VanWylen, 1998). A Tabela 2.1 apresenta as características do poder calorífico do gás natural para suas diferentes origens.

Tabela 2.1 – Poder Calorífico do gás natural de diversas origens.

Origem do gás natural	Poder Calorífico Superior		Poder Calorífico Inferior	
	kcal/Nm ³	MJ/Nm ³	kcal/Nm ³	MJ/Nm ³
Gás natural de Campos	10.060	42,11	9.090	38,05
Gás natural de Santos	10.687	44,74	9.672	40,49
Gás natural da Bolívia	9.958	41,69	8.664	36,27

As especificações do gás natural, de origem nacional ou importada, a ser comercializado em todo território nacional, são definidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, através da portaria ANP n° 104/2002 *apud* (Martins, 2006).

Em virtude do gás natural ser inodoro, incolor, inflamável e asfixiante, são adicionados compostos à base de enxofre em concentração suficiente para lhe dar cheiro marcante, mas sem atribuir características corrosivas.

A composição físico-química do gás natural varia de campo para campo, em função da matéria orgânica da qual é originário, bem como dos processos naturais a que foi submetido. A Tabela 2.2 apresenta as composições físico-químicas de alguns campos de gás natural.

Tabela 2.2 – Composição Físico-Química (Martins, 2006).

Componente [volume %]	Peroá	Golfinho		Bacia de Campos	Recôncavo Baiano	Bolívia
		Maastrichtiano	Campaniano			
Metano	94,74	92,00	80,64	89,44	88,85	89,09
Etano	1,76	4,19	8,94	6,70	8,99	5,93
Propano e maiores	1,22	1,74	7,56	2,72	0,51	2,89
Sulfetos de hidrogênio	Traços	Traços	Traços	Traços	Traços	Traços
CO ²	0,91	0,43	0,63	0,34	0,86	0,65
N ²	1,38	1,62	2,24	0,80	0,79	1,20
Densidade relativa [ar=1]	0,592	0,607	0,706	0,623	0,612	0,631
Poder calorífico Inferior (MJ/Nm ³)	36,27	35,41	40,20	40,26	39,25	39,89

O gás natural é composto por metano e menores quantidades de etano, propano e outros hidrocarbonetos de maior peso molecular. Apresenta também impurezas, como nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos de enxofre. Os hidrocarbonetos presentes no gás natural são os mais leves da série parafínica (hidrocarbonetos saturados, C_nH_{2n+2}). O principal composto presente é o metano (CH₄), além do etano (C₂H₆), propano (C₃H₈), butano (C₄H₁₀), hexano (C₆H₁₄) e pequenas quantidades de compostos parafínicos mais pesados. Dependendo da jazida, podem ser encontradas pequenas quantidades de hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂), água (H₂O), gás carbônico (CO₂), monóxido de carbono (CO), gás sulfídrico (H₂S), hélio (H), argônio (Ar) e mercaptanas (R-SH). O vapor de água presente encontra-se saturado, e seu teor é definido pela temperatura de distribuição do gás. A quantidade e composição dos hidrocarbonetos do gás natural modificam-se gradativamente em função da elevação da temperatura. Em sedimentos recém depositados, que se encontram a baixas temperaturas, a atividade microbiana é o principal agente de degradação, gerando o biogás (Pinheiro, 1996).

Depois que o gás natural é extraído de suas jazidas, ele passa por processo que retira as frações pesadas (propano, butano etc), de maior valor econômico, e as impurezas (H₂S, CO₂). O gás sulfídrico (H₂S) deve ser retirado devido a sua elevada toxicidade e propensão a formação de ácido. O dióxido de carbono (CO₂) é removido para aumentar o poder calorífico e evitar a formação de gelo seco. Em seguida é enviado por gasodutos às empresas distribuidoras ou diretamente às indústrias, onde é realizado o consumo (Pinheiro, 1996).

2.1.1. Breve Histórico

Alguns registros antigos mostram que a descoberta do gás natural ocorreu no Irã entre 6000 e 2000 a.C. e que utilizava-se o combustível para manter aceso o "fogo eterno", símbolo de adoração de uma das seitas locais. O gás natural já era conhecido na China desde 900 a.C., mas foi no século X que o país começou a extrair a matéria-prima com o objetivo de secar pedras de sal (Poulallion, 1986).

No início do século XX o gás natural encontrado durante a produção de petróleo era considerado um estorvo, pois ele exigia cuidados especiais de segurança na extração do petróleo. Embora ocorrências isoladas de gás natural já fossem utilizadas em localidades próximas à sua fonte, seu emprego em maior escala passou a ocorrer nos Estados Unidos, na década de 1920. Isso foi possível devido à descoberta de grandes campos de gás natural, bem como às melhorias na tecnologia de dutos, que permitiram a utilização de pressões, que viabilizaram o transporte de grandes volumes de gás a enorme distâncias, reduzindo o custo do transporte.

Historicamente, a participação do gás natural na matriz energética brasileira sempre se apresentou modesta, e atualmente responde por aproximadamente 6% do total da energia primária consumida no país (ANP, 2006). Fundamentalmente, esta participação resulta de condicionantes técnicos, econômicos, políticos, históricos e institucionais, que retardaram a penetração do gás natural na matriz energética de forma mais incisiva. Desta maneira podem-se destacar alguns fatores preponderantes ao reduzido desenvolvimento do mercado gasífero nacional (Cecchi et al, 2001):

- Jazidas nacionais limitadas, onde a maioria está localizada em reservas marítimas (conhecidas pelo termo em inglês “*off shore*”) ou em regiões remotas (exemplificando: Urucu/AM), com volume aproveitável de gás natural reduzido, não permitindo a obtenção de gás a baixo custo;
- Ocorrência de reservas na forma associada condicionando a utilização do gás natural em projetos de recuperação de óleo. Desta forma a produção de petróleo não é proporcional a produção de gás, não alcançando assim os patamares necessários ao projeto de transporte de gás natural;
- Falta de integração com os países vizinhos produtores de gás como a Bolívia e a Argentina. Somente após meados da década de 90 com o aproveitamento das reservas bolivianas, que posteriormente propiciaram a construção do Gasoduto

Brasil-Bolívia (GASBOL), o Brasil passou a desenvolver projetos de integração energética.

Estes fatores delegaram um papel secundário ao gás natural na matriz energética brasileira, determinando assim o reduzido consumo citado. Desta maneira este energético adquiriu posição de subproduto da produção de petróleo (Soares, 2004). Seu uso destinou-se prioritariamente a reinjeção em poços de petróleo e à queima de tochas, pois foi constatada em vários casos a inviabilidade econômica para possível escoamento de produção. As condições técnico-econômicas também inibiram o desenvolvimento da indústria de gás natural como a definição da atividade-fim da companhia estatal de petróleo brasileira. Esta se posicionou como única meta a exploração e produção de petróleo. Assim, passaram a considerar que seus derivados são efetivamente antagonistas, posto que se tratam de energéticos concorrentes entre si (Cecchi et al., 2001).

Fator não menos importante ao fraco desenvolvimento do mercado de gás no Brasil foi a estratégia de provisão energética adotada, onde em resposta aos choques do petróleo optou-se o investimento na expansão da produção nacional, em detrimento à promoção de medidas de uso eficiente da energia. Tal estratégia definiu-se resumidamente em:

- Incentivo a utilização da eletricidade para fins térmicos (eletrotermia) devido ao excesso de oferta de energia elétrica a custos relativamente baixos para o setor industrial. Tal excesso foi originado a partir do apoio do Estado na forma de financiamentos de grandes projetos de usinas hidrelétricas;
- Estímulo de fontes alternativas de energia como o Pró-Alcool que, segundo Moreira & Goldemberg (1999), foi um dos maiores programas de incentivo alternativas de energia do mundo.
- Esforços pela busca da auto-suficiência do petróleo do país.

A estratégia do governo brasileiro foi bem sucedida, pois dentro dos objetivos propostos não há atualmente dependência brasileira externa em relação ao petróleo. Tal medida foi adotada numa conjuntura de dependência elevada de importações de petróleo com preços altos, representando então uma imediata pressão sobre a balança comercial e a dívida externa brasileira no período, que no pico chegou a participar em mais de 50% do total da pauta de importações brasileiras (Soares, 2004 *apud* Henriques Jr., 1995).

A dinâmica de direcionamento da matriz energética se ajusta, portanto, na conveniência de cada país quanto ao aproveitamento de vocações energéticas. Esta decisão depende, fundamentalmente, de critérios estratégicos na definição do fornecimento de energia

desejado e conjecturado para horizontes de curto, médio e longo prazo. Conseqüentemente, tendo em vista estas ponderações, a comparação em termos de números da participação de uma dada fonte energética com outros países deve ser feita com cuidado, não constituindo num elemento de persuasão em si para justificar uma participação maior de uma fonte ou outra na matriz energética de um país.

A utilização do Gás Natural no Brasil teve início na década de 40, quando foram descobertos campos de extração de óleo e gás na Bahia. Porém o emprego em larga escala só ocorreu 20 anos após, em 1960. O combustível era fornecido para a indústria têxtil, cimenteira, cerâmica e outras, localizadas no Recôncavo Baiano. Analisando o período compreendido entre os anos de 1964 e 2005, as reservas provadas de gás natural cresceram a uma taxa média de 7,4% a.a. As principais descobertas ocorreram na Bacia de Campos (bacia sedimentar onde se encontra a maior concentração de campos gigantes do país, tais como Albacora, Marlim e Roncador), bem como na Bacia do Solimões (bacia sedimentar onde se encontram o Pólo de Urucu - local onde boa parte do gás é re-injetado¹, e a jazida de Juruá, ainda sem aplicação comercial) (ANP, 2006).

Em meados da década de 80 através do aproveitamento de jazidas no Rio Grande do Norte e com o aumento da produção dos campos localizados na Bacia de Campos o perfil de oferta de gás começa a ser alterado. No ano de 1985 a produção da Bacia de Campos ultrapassa a produção do estado da Bahia. A proximidade deste novo pólo produtor dos maiores centros consumidores do país proporcionou o crescimento da utilização do insumo energético para fins residenciais, comerciais e industriais.

O progresso das reservas de gás natural no país apresenta um comportamento muito próximo ao das reservas de petróleo, devido principalmente à ocorrência de gás natural sob a forma associada. As reservas brasileiras encontram-se distribuídas por várias regiões do território sendo que grande parte na sua forma associada. Há, entretanto, a expectativa de que novas reservas de gás natural sejam descobertas, principalmente sob a forma não-associada, tal como foi observado nas recentes descobertas na Bacia de Santos. Em terra estão 23,4% das reservas, grande parte no campo de Urucu (AM) e em campos produtores no estado da Bahia. Enquanto 76,6% restantes estão no mar, principalmente na Bacia de Campos, a qual detém 42,2% de todas as reservas no Brasil (ANP, 2006).

¹ Gás não-comercializado, que é retornado ao reservatório de origem com o objetivo de forçar a saída do petróleo da rocha-reservatório, deslocando-o para um poço produtor. Este método é conhecido como "recuperação secundária", e é empregado quando a pressão do poço torna-se insuficiente para expulsar naturalmente o petróleo (ANP, 2006).

A evolução das reservas brasileiras de gás natural em metro cúbicos, no período de 1965 a 2005, está descrita no gráfico a seguir:

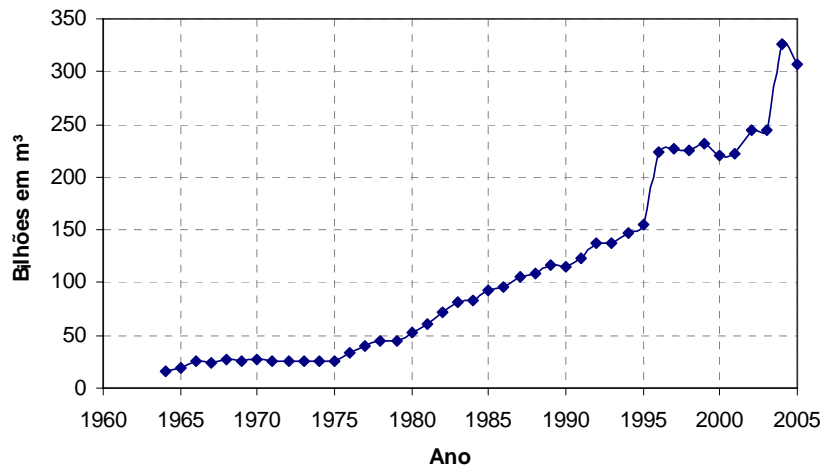


Figura 2.1 - Reservas provadas de gás natural - 1965 a 2005 (ANP, 2006).

2.2. O CICLO POR ABSORÇÃO

2.2.1. Breve histórico

Em 1810 foi construído o primeiro sistema de refrigeração usando a solução água e ácido sulfúrico. Sir John Leslie, físico e matemático, projetou tal equipamento constituído por dois reservatórios interligados com pressão negativa, a água contida em um dos reservatórios absorvia o ácido sulfúrico contido no outro reduzindo assim a pressão no sistema, reduzindo a temperatura dos reservatórios.

A primeira máquina de absorção foi desenvolvida por Edmond Carré em 1850. Ela se utilizava da solução água e ácido sulfúrico como refrigerantes. Em 1859, seu irmão Ferdinand Carré projetou e construiu a primeira máquina de absorção utilizando-se da solução água e amônia. Seu invento foi utilizado pelos Estados confederados durante a Guerra Civil Americana para suprimento de gelo, obtendo assim sucesso ao novo equipamento (Stoecker et al, 1985).

Apenas em 1930 o sistema de refrigeração proposto por Ferdinand Carré passou a integrar o mercado. Essa demora se deveu aos seguintes fatores:

- Alto custo da energia mecânica e elétrica necessárias ao equipamento;
- Motores elétricos eram grandes, pesados, caros e com elevado nível de ruídos.
- A máquina era em geral muito grande para ser transportada e comercializada.

Porém, nesta mesma década de 1930, os sistemas de refrigeração por compressão passaram a dominar o mercado devido a invenção do CFCs (cloro-fluor-carbono). Os CFCs não são tóxicos, não inflamáveis e são menos corrosivos que os refrigerantes até então empregados como amônia, butano dentre outros. Porém não se conhecia a ação destruidora dos CFCs sobre a camada de ozônio troposférico. Em seguida diversos fatores contribuíram para que o ciclo por absorção não dominasse o mercado de refrigeração, porém ele não desapareceu, ainda participava de uma pequena porcentagem das vendas. Outros fatores também influenciaram a liderança dos refrigeradores a compressão de vapor (Herold et al, 1996):

- Diminuição do custo da eletricidade;
- Redução do tamanho e peso dos motores elétricos;
- Invenção do compressor hermético.

Esta expansão do mercado de ar condicionado é bastante complexa e depende também de fatores regionais. Ao contrário do que aconteceu em quase todo o ocidente, os países asiáticos investiram intensamente em pesquisas e no desenvolvimento de sistemas por absorção após a 2ª Guerra Mundial. Isto aconteceu devido a escassez de energia elétrica em países como o Japão e Coréia, dificultando a penetração dos sistemas de compressão de vapor.

O interesse pela tecnologia da refrigeração por absorção ressurgiu no início dos anos 90, principalmente nos Estados Unidos. As decisões políticas tomadas no contexto dos choques do petróleo dos anos 70, limitaram a utilização do gás devido à expectativa de redução das reservas. Embora esta previsão não tenha se materializado, o dano já havia sido feito para a indústria estadunidense. As principais indústrias de equipamentos de refrigeração por absorção reduziram sua produção de máquinas para menos de 10% dos níveis anteriores a este período. À mesma época, a indústria japonesa e coreana crescia amplamente impulsionada pela demanda doméstica e os investimentos em pesquisas e inovações na tecnologia (Herold et al, 1996)..

O retorno do interesse ocidental pela refrigeração por absorção no início da década de 90 foi fortemente promovido pelos programas de redução do consumo de energia elétrica. Tal política suscitou programas de promoção do uso do gás natural e metas de redução da utilização do CFC e demais gases prejudiciais ao meio ambiente. Quando a demanda pelas máquinas por absorção começou a crescer no início dos anos 90, os fabricantes estadunidenses se viram obrigados a adquirir as licenças das novas tecnologias dos fabricantes

japoneses. Atualmente a indústria norte-americana de resfriadores por absorção produz máquinas baseadas na tecnologia japonesa. Entretanto os estadunidenses conduzem hoje pesquisas no assunto para recuperarem sua liderança neste mercado. Impulsionando uma instigante e nova era mundial no mercado e nas pesquisas sobre o ciclo de refrigeração por absorção (Herold et al, 1996).

Atualmente três tipos distintos de tecnologias de refrigeração por absorção dominam o mercado mundial. São elas: 1) resfriadores que utilizam a solução água e brometo de lítio; 2) resfriadores que se utilizam de água e amônia e 3) aqueles que trabalham com amônia, água e hidrogênio. Couto (2004) conclui que a realidade brasileira em relação ao ciclo por absorção se enquadra na primeira opção, principalmente naquelas do tipo fogo direto, ou seja, aquelas que possuem queimadores de gás natural instalados no gerador da máquina. O mesmo autor informa ainda que as principais obras estão localizadas nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com destaque maior para este, onde a participação do gás natural já atinge cerca de 35% das instalações de água gelada.

No Brasil, o principal incentivo para o desenvolvimento desse mercado tem sido dado pelas próprias concessionárias de gás natural, as quais têm adotado políticas de incentivo aos seus clientes e procurado mostrar as vantagens deste tipo de solução. As companhias têm procurado tornar o preço do gás natural mais competitivo em relação à eletricidade oferecendo tarifas diferenciadas para uso em climatização, cuja política é garantida por contratos de longa duração (10 anos). Além do mercado de novas instalações de URLs por absorção, que anualmente cresce a taxas da ordem de 15% a 20% (Couto, 2004), as vendas de equipamentos ainda poderão ser acrescidas dadas a necessidade da substituição dos equipamentos que ainda utilizam gases refrigerantes do tipo CFC, R-11, R-12 e R-22. É provável que parte dos procedimentos de “*retrofit*” futuros venha substituir os sistemas de compressão por sistemas por absorção usando o gás natural.

2.2.2. Fundamentos do ciclo por absorção

O ciclo por absorção é semelhante ao ciclo de compressão à vapor. Ambos operam com um elemento para aumento de pressão, um condensador, um dispositivo de expansão e um evaporador, a diferença é a maneira que o vapor de baixa pressão do evaporador será transformado em vapor de alta pressão e entregue ao condensador (Figura 2.2). Desta forma vapor de baixa pressão deixa o evaporador, que é comprimido e enviado ao condensador. No

ciclo de compressão à vapor, o responsável pela compressão é o compressor. Na absorção, o gerador, o absorvedor e as bombas de solução.

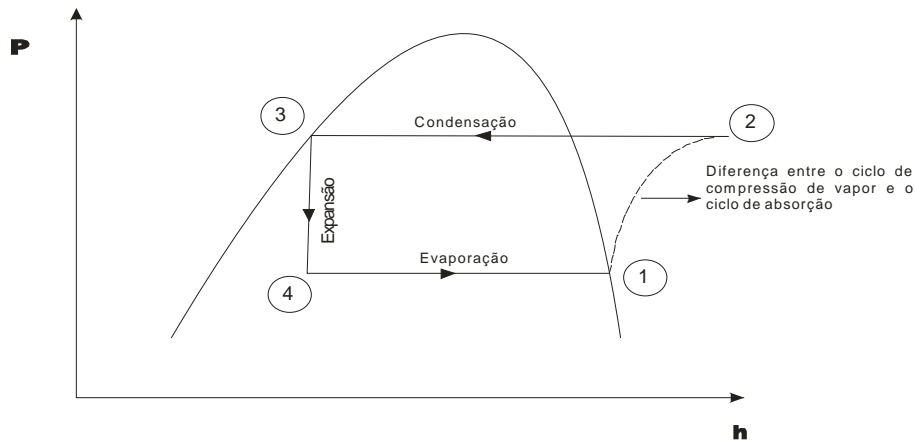


Figura 2.2 – Ciclo de refrigeração padrão.

O foco deste trabalho são as unidades de resfriamento de líquidos que se utilizam da solução $H_2O/LiBr$ (água e brometo de lítio) como fluido refrigerante. São equipamentos amplamente difundidos no mercado e no qual será baseado o estudo de caso desta dissertação. Assim, será descrito aqui somente os princípios de funcionamento de equipamentos que se utilizam da solução água e brometo de lítio em detrimento daqueles que se utilizam da solução H_2O/NH_3 (água e amônia).

A performance de um sistema de refrigeração por absorção é extremamente dependente das propriedades químicas e termodinâmicas do fluido de trabalho. Assim, o refrigerante exige cuidados especiais para a manutenção do ciclo. A descrição do funcionamento de um ciclo por absorção será apresentada a seguir.

O ciclo de absorção básico é mostrado na Figura 2.3. O vapor de baixa pressão do evaporador é absorvido por uma solução líquida no absorvedor, que rejeita calor para a atmosfera. A bomba recebe líquido de baixa pressão do absorvedor, eleva a sua pressão e o entrega ao gerador. No gerador, calor de uma fonte de alta temperatura expulsa o vapor que tinha sido absorvido pela solução líquida no absorvedor, que rejeita calor para a atmosfera. Esta solução retorna para o absorvedor por meio de uma válvula redutora de pressão, cujo propósito é prover a queda de pressão para manter as diferenças de pressão entre o gerador e o absorvedor.

Os fluxos de calor nos componentes do ciclo ocorrem da seguinte forma: o calor de uma fonte de alta temperatura entra no gerador, enquanto que calor a baixa temperatura da substância, que está sendo refrigerada, entra no evaporador. A rejeição de calor do ciclo

ocorre no absorvedor e condensador a temperaturas tais que o calor possa ser rejeitado para a atmosfera.

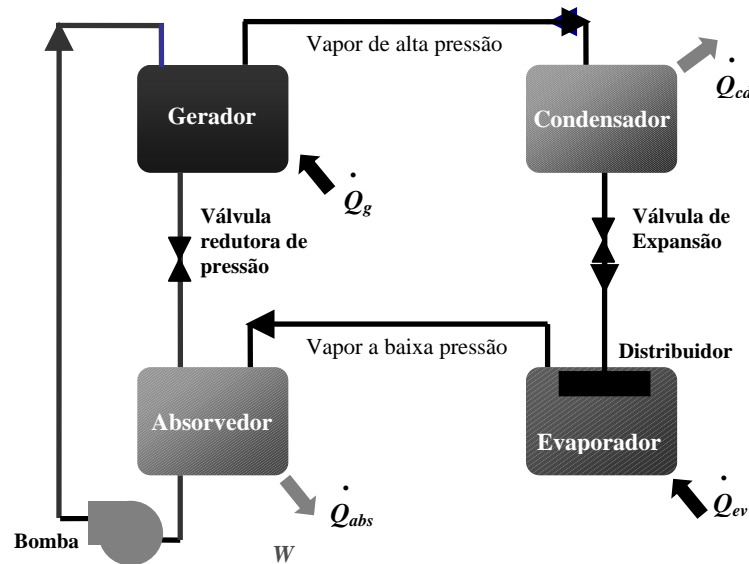


Figura 2.3 – Ciclo por absorção básico de simples efeito.

O maior custo de operação do sistema está no calor adicionado no gerador (Q_g), demais custos com energia são relativamente pequenos quando comparados a este. A adição de um trocador de calor como na Figura 2.4, proporciona melhoria de eficiência no absorvedor e gerador. Assim, a solução fria do absorvedor que é bombeada para o gerador é pré-aquecida. Da mesma forma a solução quente que migra do gerador para o absorvedor troca calor tornando-se mais fria.

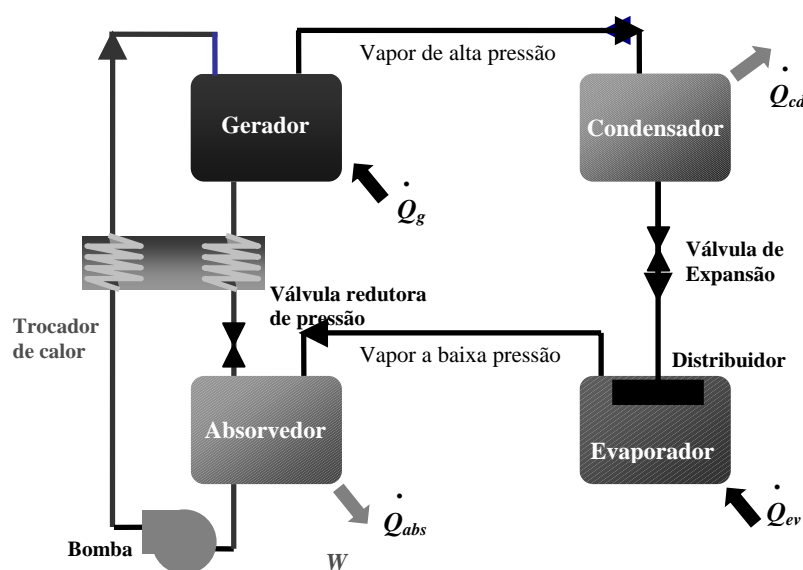


Figura 2.4 – Ciclo por absorção com trocador de calor no circuito gerador-absorvedor.

2.2.2.1 Definição de Eficácia de um ciclo por absorção Ideal (COP_{abs})

O Coeficiente de performance do ciclo por absorção (COP) é definido como:

$$COP_{abs} = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_g} = \text{Taxa de refrigeração} / \text{Taxa de adição de calor ao gerador} \quad (2.1)$$

Uma das desvantagens do ciclo de absorção com relação ao de compressão reside no seu relativamente reduzido coeficiente de performance. Sistemas por absorção podem apresentar COP's da ordem de 1,6 - avaliando equipamentos comerciais de ciclo de duplo efeito - (LS Cable, 2006), enquanto que nos sistemas por compressão este valor pode chegar até 6,0 (Stoecker et al, 1984). No entanto o valor baixo do COP_{abs} com relação ao COP do ciclo de compressão a vapor não deve ser considerado ponto negativo para os ciclos de absorção, pois os $COPs$ dos ciclos são definidos diferentemente. O COP do ciclo de compressão a vapor é a relação da taxa de refrigeração pela potência na forma de trabalho fornecida para operar o ciclo. Como a energia na forma de trabalho é melhor aproveitada do que energia na forma de calor, o resultado do ciclo de compressão é normalmente superior.

Sobre a questão do confronto entre as eficácias dos ciclos pode ser feita uma análise adicional comparativa. A Figura 2.5 sugere como realizar essa análise. Os processos no bloco da esquerda da figura consistem de um ciclo de potência que desenvolve o trabalho necessário para realizar a compressão do vapor do evaporador para o condensador no ciclo de refrigeração. O ciclo de potência recebe energia na forma de calor Q_g a uma temperatura absoluta T_g , entrega alguma energia na forma de trabalho para o ciclo de refrigeração e rejeita uma quantidade de energia Q_{abs} na forma de calor a temperatura T_{abs} . O ciclo de refrigeração recebe o trabalho W e com ele transfere calor Q_{ev} à temperatura de refrigeração de T_{ev} para a temperatura T_{cd} , onde a quantidade de calor Q_{cd} é rejeitada. Note-se que o ciclo ideal operando com processos termodinamicamente reversíveis entre duas temperaturas é um ciclo de Carnot. Para o ciclo de potência operando à esquerda da Figura 2.5, temos:

$$\frac{\dot{Q}_g}{\dot{W}} = \frac{T_g}{(T_g - T_{abs})} \quad (2.2)$$

E para o ciclo de refrigeração do lado direito da figura 2.4, temos:

$$\frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{W}} = \frac{T_{ev}}{(T_{abs} - T_{ev})} \quad (2.3)$$

onde:

T_{ev} = Temperatura de evaporação

T_g = Temperatura no gerador

T_{abs} = Temperatura de rejeição de calor no absorvedor

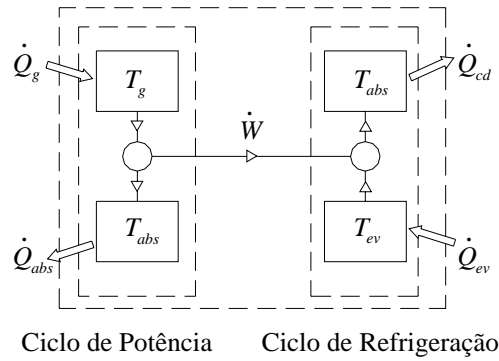


Figura 2.5 – Combinação de um ciclo de potencia e um de refrigeração (Stoecker et al, 1984)

A taxa de refrigeração é \dot{Q}_{ev} e a taxa de calor adicionado ao gerador é \dot{Q}_g . Usando as expressões para \dot{Q}_{ev} e \dot{Q}_g , obtemos o *COP* para o ciclo ideal:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_g} = \frac{\dot{W} \cdot T_{ev} \cdot (T_g - T_{abs})}{\dot{W} \cdot T_g \cdot (T_{abs} - T_{ev})} = \frac{T_{ev} \cdot (T_g - T_{abs})}{T_g \cdot (T_{abs} - T_{ev})} \quad (2.4)$$

2.2.2.1 Circuito de refrigerante

A solução aquosa de brometo de lítio é amplamente usada como fluido de trabalho em sistemas de refrigeração por absorção. O Brometo de Lítio é substância conhecida pela sua não volatilidade e por não causar danos à camada de ozônio. Devido à sua pouca nocividade ao ser humano e ao meio ambiente é esperada sua popularização.

O brometo de lítio é um sal sólido cristalino que na presença de vapor de água absorve o vapor e torna-se uma solução líquida. A solução líquida exerce uma pressão de vapor de água que é uma função da temperatura e da concentração da solução.

O circuito de refrigerante de uma ciclo por absorção é idêntico, funcionalmente, ao correspondente de uma ciclo de compressão a vapor. O circuito retira o vapor do refrigerante do gerador e o conduz até o condensador, onde ele é liquefeito pela rejeição de calor. Numa instalação típica, o absorvedor e o condensador rejeitam calor para uma mesma fonte, cuja serpentina arrefece os dois componentes do equipamento de absorção. O líquido sub-resfriado

que deixa o condensador segue então para um dispositivo conhecido por distribuidor, que despeja o refrigerante sobre o evaporador. Este processo de estrangulamento é tipicamente acompanhado pela pulverização do refrigerante. O refrigerante entra em duas fases no evaporador. Inicia-se então um processo de evaporação, acompanhado de transferência de calor nas serpentinas, devido à queda de pressão criada pelo absorvedor. A evaporação completa implica que todo o fluxo de refrigerante segue para o absorvedor na forma de vapor (Herold et al, 1996).

2.2.2.2 Cristalização

A cristalização é um problema que ocorre devido a uma alta concentração de sal (LiBr) na solução em alguns pontos da unidade de absorção. A cristalização pode bloquear o escoamento nos tubos e interromper o funcionamento do sistema.

A natureza da solução salina de Brometo de Lítio faz com que ele se precipite quando sua fração mássica exceda seu limite de solubilidade. Este limite de solubilidade é extremamente dependente da fração mássica e da temperatura. A formação de cristais é bastante sensível à presença de pontos de nucleação, ou seja, ela acontece mais rapidamente onde já existem efetivamente cristais de sal. Se não existem pontos de nucleação, a supersaturação ocorrerá no ponto onde a concentração estiver mais próxima do limite de solubilidade (Herold et al, 1996)

A Figura 2.6 apresenta o diagrama de propriedades para as soluções de H₂O/LiBr. As linhas de cristalização aparecem na seção inferior à direita. Assim uma queda para a região de cristalização pode indicar uma solidificação do LiBr. A posição do sistema de absorção em que existem maiores chances de ocorrer cristalização é na região entre o gerador e o absorvedor onde a solução flui de forma mais concentrada. O efeito da cristalização indica a formação de uma lama, interrompendo o funcionamento da máquina.

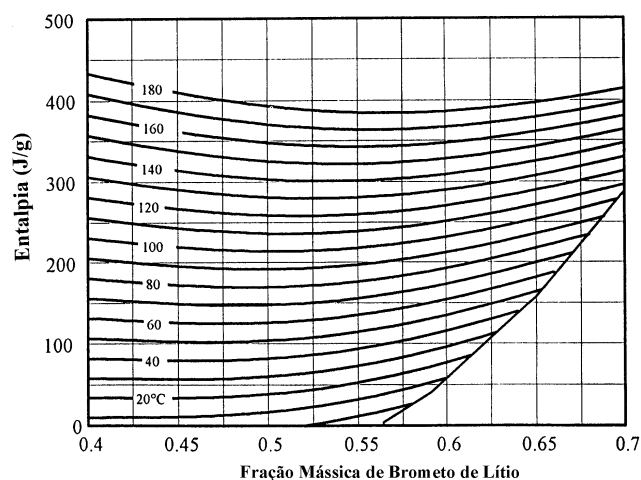


Figura 2.6 - Entalpia de soluções de H₂O/LiBr (Herold et al, 1996).

2.2.2.2 O ciclo por absorção e sua aplicação prática em duplo efeito.

Os equipamentos atualmente disponíveis no mercado que utilizam sistemas de absorção são, basicamente, chiller's de grande capacidade de refrigeração (entre 351,6 W e 4.746,6 W – ou 100 TRs e 1350 TRs), e tem sistemas de controle para mantê-los trabalhando nas condições escolhidas pelo operador. A maioria dos equipamentos pode trabalhar com carga entre 20 e 100% da capacidade de projeto (LS Cable, 2006).

As URLs podem ser de simples ou duplo efeito (dois geradores) e geralmente utilizam como fluido de trabalho água – brometo de Lítio. Quanto à fonte de energia, podem utilizar água quente, vapor d'água ou gás natural (queima do gás no próprio equipamento).

A Figura 2.7 apresenta um chiller de simples efeito que pode utilizar vapor ou água quente (90 °C - 130 °C) a como fonte de energia e que pode variar a temperatura da água na saída de 4 a 16 °C, de acordo com a escolha do operador.

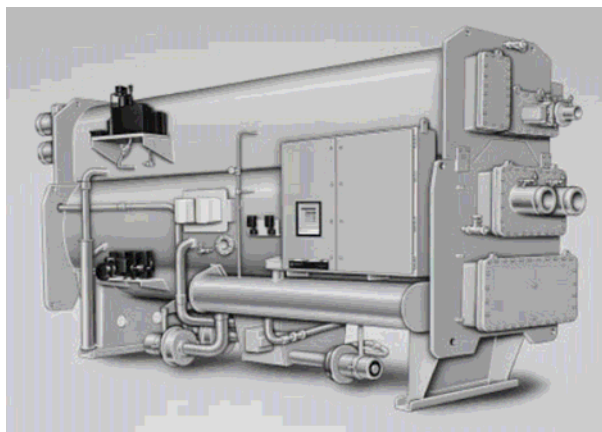


Figura 2.7 – Chiller de absorção de simples efeito. (TRANE, 2001).

De acordo com fabricantes, URLs por absorção têm uma grande aplicação em: reaproveitamento de calor rejeitado em indústrias, onde se pode utilizar vapor à alta ou baixa pressão e água quente para promover efeito de refrigeração a baixo custo; e no resfriamento de ar na entrada de turbinas a gás ou compressores, para se ter um aumento na eficiência destes equipamentos.

Devido ao relativamente baixo COP associado à tecnologia de simples efeito, é difícil para as máquinas competirem economicamente com sistemas convencionais de compressão a vapor, exceto em aplicações de recuperação de calor, onde o fornecimento de energia é gratuito. A tecnologia de duplo efeito, com COP na faixa de 1,0 a 1,66 é muito mais competitiva. O equipamento de queima direta com gás de duplo efeito água/brometo de lítio é uma tecnologia madura que compete no segmento de mercado de resfriamento a gás. Máquinas de duplo efeito, usando água/brometo de lítio como fluido de trabalho são produzidas por um grande número de produtores em todo o mundo. Cada produtor usa um projeto diferente, dependendo do seu enfoque do mercado. Nesta dissertação, ao invés de concentrar nos detalhes de projeto de uma máquina, a discussão das questões relativas à viabilidade econômica deste equipamento será baseada em sistemas de duplo efeito generalizados.

Um esquema de uma máquina de duplo efeito é apresentado na Figura 2.8 no formato do Diagrama de Duhring. O ciclo de duplo efeito inclui dois trocadores de calor de solução que tem uma função semelhante como foi descrito para o ciclo de simples efeito. Um aspecto novo do ciclo de duplo efeito é um trocador de calor interno entre o condensador de alta temperatura e o gerador de baixa temperatura. Este trocador de calor funciona na prática pela incorporação destes dois componentes em um único dispositivo. Um lado do trocador é o condensador de alta e o outro lado o gerador de baixa. Este componente combinado é representado por linha tracejada na figura.

O gerador de baixa e o condensador de baixa do ciclo de duplo efeito opera aproximadamente nas mesmas condições que o gerador e o condensador de uma máquina de simples efeito. O fornecimento de calor em um ciclo de duplo efeito ocorre em uma temperatura mais alta que no de simples efeito. Assim, o COP do ciclo de duplo efeito é maior que o de simples efeito, pois ele se utiliza do aumento de disponibilidade de calor a alta temperatura.

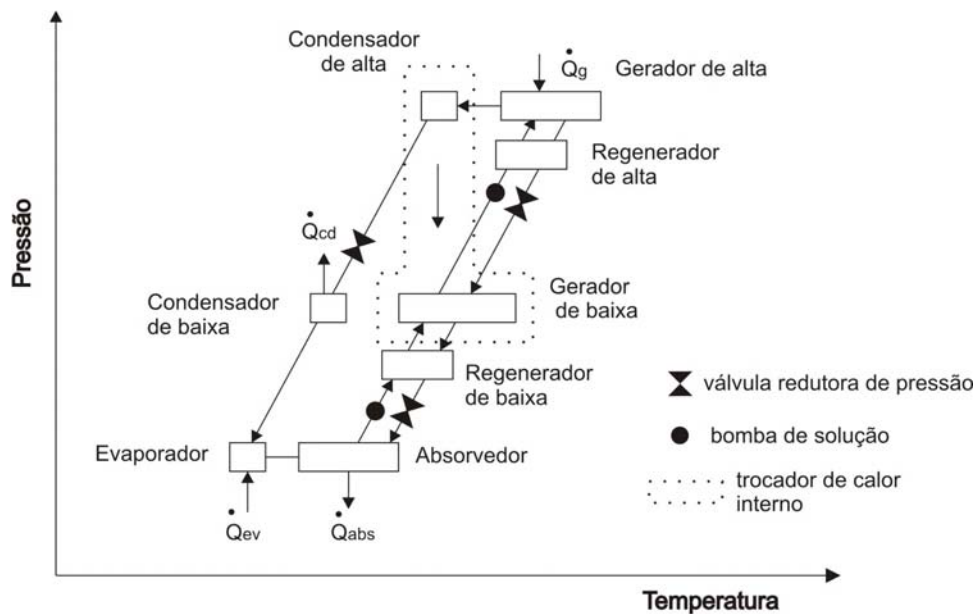


Figura 2.8 – Esquema de chiller de duplo efeito H₂O/Brometo de Lítio no Diagrama de Duhring.

Quando comparada à solução de simples efeito, a máquina de duplo efeito recebe calor em uma temperatura mais alta, mas rejeita calor em temperatura semelhante e proporciona refrigeração a uma mesma temperatura. Desta forma o duplo efeito pode ser visto como um dispositivo de três níveis de temperatura. Um entendimento simplificado de uma máquina de duplo efeito pode ser obtido considerando-se que a mesma é um dispositivo que opera em três pressões, conforme a Figura 2.8.

2.3. PRINCÍPIOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS

O objetivo principal dos estudos de avaliação econômica de projetos é prover subsídios para o processo de tomada de decisões. Uma decisão corresponde à escolha de uma dentre as várias maneiras alternativas de se resolver um determinado problema; ou, ainda, uma decisão corresponde a uma alocação irreversível de recursos (Montenegro, 1982). Assim a importância desta análise requer algumas prerrogativas, a característica mais importante das alternativas levantadas dentro da engenharia econômica é serem tecnicamente viáveis. Vale dizer, portanto, que se uma alternativa não for tecnicamente viável, não será considerada para efeitos de comparação em estudos de avaliação econômica de projetos.

A estimativa dos fluxos de pagamentos e de recebimentos, distribuídos durante a vida útil do projeto, constitui o ponto de partida do orçamento de capital. Esses fluxos de caixa serão avaliados mediante a aplicação de técnicas simples (período de retorno) ou métodos mais sofisticados que consideram o valor do dinheiro no tempo. Entre eles o Valor Presente

Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). A validade das conclusões a serem obtidas com a aplicação dessas técnicas dependerá do grau de exatidão das projeções dos fluxos de caixa. Assim, o nível de detalhamento de um Fluxo de Caixa é fundamental para uma boa avaliação econômica de um projeto.

2.3.1. Fluxo de Caixa

Fluxo de Caixa é apreciação das contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro) ao longo do tempo (Woiler et al, 1996). Pode ser representado de forma analítica ou gráfica.

Tendo em vista que a maioria dos problemas de engenharia econômica envolve receitas e despesas que ocorrem em instantes de tempo diferentes, é útil adotar-se uma representação que possibilite visualizar cada alternativa. Esta representação é dada pelo diagrama do fluxo de caixa (Figura 2.9).

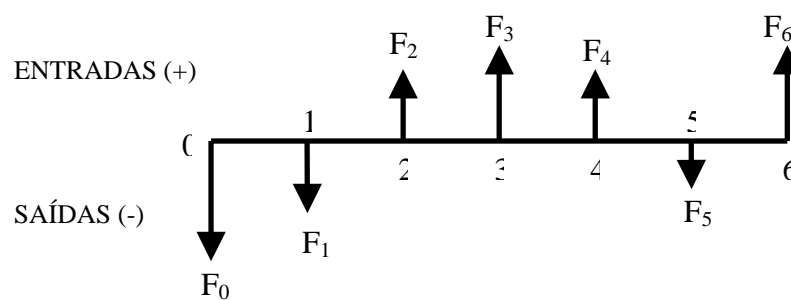


Figura 2.9 - Diagrama de Fluxo de Caixa no tempo.

A escala horizontal representa o tempo (em meses, semestres, anos), as flechas para cima correspondem a entradas de caixa ou receitas e as flechas para baixo representam saídas de caixas ou despesas. No traçado do diagrama adotam-se as duas convenções básicas: o investimento é feito no instante zero (0) e despesas e receitas ocorrem no fim dos períodos considerados. Aplicando esta convenção para o caso de equipamentos de ar-condicionado pode-se inferir que eventualmente ocorra uma diminuição da precisão dos resultados. Despesas de manutenção corretiva, por exemplo, não ocorrem numa data fixa, mas são distribuídas ao longo do tempo. Entretanto esta situação não prejudica a elaboração do fluxo de caixa, pois são contabilizadas as despesas somente após ocorridas, permitindo-se assim estimar ao final de um ano, quanto capital circula em torno para manutenção e operação da mesma.

2.3.2. Análise pelo Valor Atual Líquido.

Define-se valor atual (ou valor presente) de um fluxo de caixa, a uma dada taxa de juros, como a quantia hoje equivalente ao fluxo em questão. Sendo admitida determinada taxa de juros – também chamada de taxa de desconto – o Valor Atual Líquido (VAL) pode ser determinado como sendo a soma algébrica dos saldos do fluxo de caixa descontados àquela taxa para determinada data (Woiler et al, 1986).

Desta forma, pode-se dizer que no caso em que o VAL é positivo o projeto deve ser aceito, pois cobre o custo de capital da empresa. Quanto maior o Valor Atual Líquido a uma dada taxa de desconto, mais desejável é o projeto, pois maior é seu potencial de ganho.

Por outro lado, se o valor atual líquido for menor que zero, dependendo da finalidade do mesmo, o projeto pode ser aceito. Neste caso estará sendo avaliado um fluxo de caixa com predominância de despesas. É o caso a ser descrito neste trabalho, onde serão comparados valores atuais líquidos inferiores a zero, pois tanto o investimento inicial bem como os demais custos são despesas. Assim, a melhor opção é aquela que oferecer o menor custo à determinada taxa de juros.

2.3.3. Análise pelo tempo de recuperação descontado

Este indicador de fácil interpretação indica o prazo de tempo necessário para que os desembolsos sejam integralmente recuperados. Seu cálculo é feito com os valores do fluxo de caixa descontados a uma dada taxa de desconto, assim sua grande vantagem é levar em conta o “valor do dinheiro” no tempo. A partir do fluxo de caixa obtido de cada parcela do cálculo do Valor Atual Líquido constrói-se o cenário do tempo de recuperação descontado.

2.3.4. Análise pela Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna nulo o valor atual líquido do investimento (Hirschfeld, 1998) se houver predominância positiva no fluxo de caixa. O método normalmente utilizado para encontrá-lo é gráfico. Traçar-se-á os diversos Valores Atuais Líquidos encontrados para cada taxa de desconto utilizado.

A determinação da taxa interna de retorno, no caso mais geral, envolve o cálculo de uma raiz de uma equação de grau superior a dois, daí a dificuldade da determinação. Entretanto a construção gráfica permite uma melhor visualização de cenários e possibilidades para a Taxa Interna de Retorno, sendo esta a melhor maneira para obtenção do resultado (Hirschfeld, 1998).

Na análise deste trabalho o valor atual líquido será predominante negativo e sua análise será feita através de comparação das curvas obtidas pelo fluxo de caixa das unidades de refrigeração por compressão e absorção. A Figura 2.10 apresenta, a título de exemplificação, o comportamento do valor atual líquido para fluxos de caixa com predominância negativa. As curvas se tocam na taxa de desconto de 42%, onde as tecnologias se igualam economicamente. Sendo esta a *Taxa de Fisher*, ponto que determina a viabilidade financeira das tecnologias, sendo esta a Taxa Interna de Retorno para o empreendimento analisado. Assim, a Tecnologia A, apresenta maiores valores para VAL, sendo esta solução a melhor alternativa até a taxa de 42%. Por outro lado, a Tecnologia B se apresenta superior financeiramente quando ultrapassada a *Taxa de Fisher* (Woiler et al, 1986).

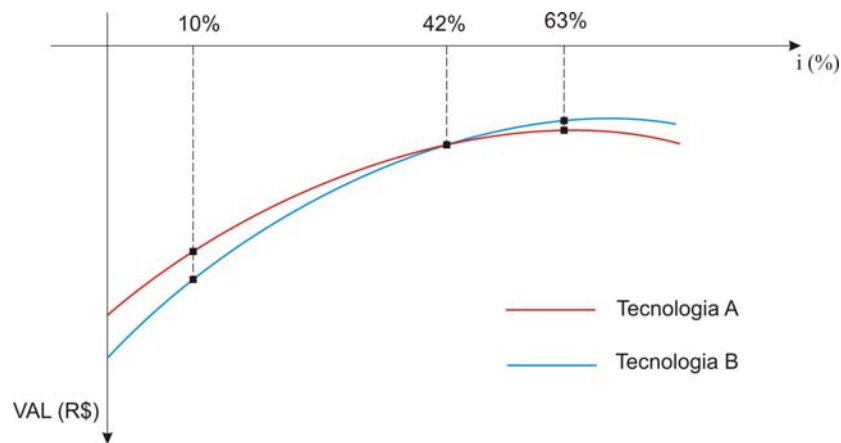


Figura 2.10 – Valor atual líquido com predominância negativa a taxas crescentes.

A regra de decisão para este critério é que serão escolhidos aqueles investimentos com as taxas internas de retorno mais próximas da realidade e com menor valor atual líquido. Ou seja, quanto mais próxima das taxas de juros do mercado e maior o valor atual líquido (menor custo atual líquido), mais desejável é o investimento. Conclui-se que, dentro das hipóteses adotadas, a menor taxa interna de retorno possível para um projeto é o custo de capital para a empresa, ou seja, sua taxa de desconto. Assim, só seriam escolhidos os projetos que apresentassem taxa interna de retorno superior à taxa mínima, que é o custo de capital. O exemplo mais típico de taxa mínima é a taxa de juros de um empréstimo.

2.3.5. Obtenção do Valor Uniforme Líquido ou Custo Uniforme Líquido

O fluxo de caixa de um investimento geralmente resulta em uma série de valores diferentes. Ao ser fornecida uma taxa de desconto, é possível transformar tais contribuições

de valores diferentes em valores uniformes iguais, formando, portanto, uma série uniforme equivalente que muito auxiliará na análise de alternativas econômicas.

A partir das seguintes equações é possível determinar os valores uniformes para duas situações importantes no contexto deste trabalho (Hirschfeld, 1998):

1. Valor Uniforme Líquido VUL dado o Valor Atual de um Fluxo de Caixa.

$$VUL = VAL \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.5)$$

2. Valor Uniforme Líquido VUL dado um Valor Futuro de um Fluxo de Caixa. Neste trabalho será utilizado para a uniformização do valor residual do equipamento ao longo de sua vida útil.

$$VUL_R = R \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (2.6)$$

2.3.6. Análise pelo Custo/Benefício

A análise aqui utilizada é baseada na metodologia apresentada por Carvalho (2004). O método empregado modela alguns custos distribuídos no tempo por meio de fluxos de caixa constantes.

O método custo-benefício aplicado neste trabalho e apresentado no Capítulo 3 visa à comparação de diferentes alternativas de geração ou de economia de energia para apenas uma vida útil, pois os equipamentos possuem vidas iguais e permitem este tipo de análise. Este indicador representa, neste caso específico, quanto se paga (custo) pela energia utilizada em determinada tecnologia [R\$/kWh].

Para o caso proposto de comparação entre duas tecnologias distintas o custo-benefício será a razão entre a soma dos investimentos, dos custos uniformes do combustível, dos custos uniformes de manutenção e operação, do valor uniforme do subproduto e o efeito útil produzido pelo equipamento de refrigeração (kWh ou TRh).

$$C/B = \frac{\text{Custos Uniformes Líquidos}}{\text{Energia Produzida}} \quad (2.7)$$

Este método é utilizado, em maior escala, na análise de projetos de grande porte, onde o prazo de duração é, geralmente, grande e a conceituação de benefícios é, às vezes, mais delicada do que em empreendimentos de curto prazo.

3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A elaboração de metodologia para análise de projetos é, em essência, multidisciplinar exigindo conhecimentos da área da administração, engenharia e economia. Ainda que os conceitos básicos tenham se originado na indústria, a partir de problemas de natureza técnica, os métodos são gerais e sua aplicação não se restringem ao campo da engenharia. Entretanto, grande parte dos problemas, questionamentos e dúvidas para seleção de equipamentos dependem de informações e justificativas técnicas, na maioria das organizações – sejam públicas ou privadas - tais decisões são tomadas por engenheiros ou por administradores agindo com base nas recomendações de engenheiros.

Este capítulo pretende apresentar a metodologia, seus princípios e técnicas, elaborada para as tomadas de decisões relativas à aquisição de uma unidade de refrigeração por absorção. Nas seções seguintes serão apresentados de forma sistemática os procedimentos para uma avaliação econômica de projetos de centrais de ar-condicionado. Cada etapa a ser aplicada na análise será apresentada de forma seqüenciada de maneira que possam servir como ferramenta para análises posteriores.

3.1. ELABORAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA

Elemento importante da avaliação econômica, pois a partir dele a tecnologia serão calculados os critérios de análise financeira. É de fundamental importância que seja avaliado neste ponto todos os possíveis critérios de entrada e saída de capital. Uma boa construção do fluxo de caixa é aquela onde é inserida a maior quantidade de parâmetros e variáveis possíveis, permitindo assim a elaboração mais realista da circulação de capital em um investimento.

Entretanto algumas considerações devem ser ponderadas. Para a comparação entre os fluxos de caixa, informações redundantes para os dois equipamentos a serem avaliados não são necessárias. O critério para determinação de redundância é técnico, trata-se de não inserir no fluxo de caixa equipamentos comuns as duas tecnologia como algumas bombas, tubulações, válvulas, dentre outros. Estes são equipamentos que devem ser adquiridos para ambas as soluções.

Para facilitar a análise dos diferentes projetos nos pontos onde eles são mais distintos, sugere-se dividir o Fluxo de Caixa de cada tecnologia em dois, os quais serão chamados de:

- FLUXO 1: Fluxo de Caixa referente ao custos de investimentos iniciais e valores residuais² do equipamento conforme exemplificado no diagrama da Figura 3.1:

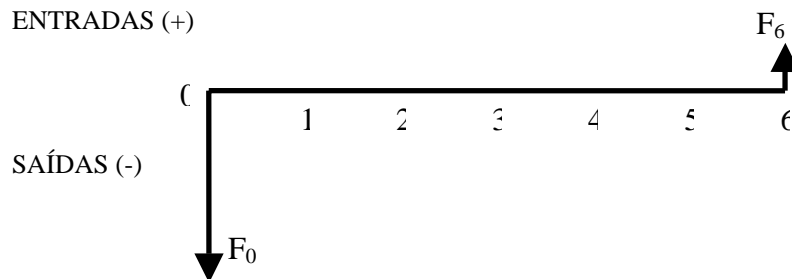


Figura 3.1 – Fluxo de Caixa 1 (Investimento inicial e Valor Residual)

- FLUXO 2: Fluxo de Caixa referente aos custos do insumo energético e de manutenção conforme o diagrama da Figura 3.2:

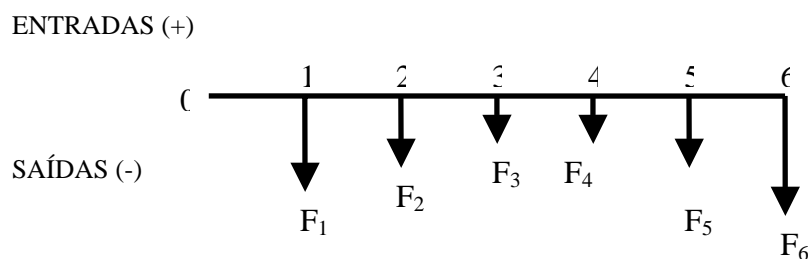


Figura 3.2 - Fluxo de Caixa 2 (Custos de insumo energético e manutenção)

O FLUXO 2 será construído a partir de informações de custos de insumos energéticos e custos de manutenção do momento presente, portanto, para esta análise, serão considerados uniformes e não se aplicará sobre eles nenhum tipo de correção monetária.

A utilização de um fluxo de caixa gradiente³ permite a generalização do fluxo de caixa, entretanto a utilização de tal fluxo torna mais trabalhosa a análise não ocasionando melhora significativa na interpretação dos resultados. Portanto, com o fim de tornar mais clara e direta a decisão referente à escolha da tecnologia, será utilizado o fluxo de caixa uniforme. Isto significa que não haverá aplicação de prováveis aumentos dos custos dos insumos. Entretanto o impacto desta simplificação com a utilização de um fluxo uniforme equivalente a

² Neste caso F_0 se refere a um investimento inicial e F_6 ao valor residual do equipamento, ou seja, um resgate possível ao fim da sua vida útil.

³ O fluxo de caixa gradiente apresenta um cenário onde determinado custo evolui no tempo, a partir de um valor inicial de forma gradativa e crescente a uma taxa de juros pré-determinada (Carvalho, 2004).

um outro fluxo mais complexo qualquer não acarreta em perda da generalidade da metodologia (Carvalho, 2004).

Entretanto é possível que exista dispêndio de capital variável com o tempo como, por exemplo, uma manutenção preventiva trienal. Esta ação geraria um fluxo não uniforme apresentando custos diferenciados de três em três anos.

Seguem neste tópico alguns dados de fundamental importância para a construção de um fluxo de caixa para sistemas de ar-condicionado por compressão e absorção. Cada equipamento possui suas características que devem ser respeitadas durante a avaliação, portanto, será demonstrada aqui de maneira mais generalizada os pontos mais importantes na avaliação para estes dois tipos de equipamentos.

Nesta metodologia propõe-se para a construção do Fluxo de Caixa a periodicidade anual, pois a vida útil dos equipamentos é longa. Segundo Levine (2001), a vida útil de um equipamento por absorção é de aproximadamente 20 anos. Podendo ser reduzida ou estendida conforme a utilização de aditivos químicos à solução de Brometo de Lítio. No caso dos equipamentos por compressão, embora existam diferentes alternativas, Levine (2001) conclui também que estes equipamentos possuem vida útil em torno de 20 anos, ainda que segundo pesquisas do autor, as tecnologias baseadas em compressores centrífugos possuam vida útil média mais longa, em torno de 25 anos.

Estas informações não definem a vida útil de um equipamento, algumas instalações ultrapassam o período de 20 anos, havendo casos de equipamentos em operação há 30 ou mesmo 40 anos, seja de ciclo por absorção ou compressão. A título de exemplificação foram levantados junto aos administradores das edificações os dados da Tabela 3.1 com alguns dos equipamentos em operação em Brasília. Entretanto, para esta análise e no estudo de caso realizado, foram consideradas as vidas úteis dos equipamentos iguais e com de 20 anos de duração.

Tabela 3.1 – URLs em operação em Brasília – DF.

Obra	Quantidade	Potencia individual	Compressor	Idade (anos)
Procuradoria Geral da República	3	1225kW	Parafuso	5
Correios (SBN)	2	1318 kW	Centrífugo	29 e 18 ⁴
Min. Agricultura (Esplanada dos Ministérios)	2	1279 kW	Centrífugo	28
Banco do Brasil SEDE I (SBS)	3	1371 kW	Alternativo	23
Banco do Brasil SEDE II	2	492 kW	Atlernativo	15
Banco do Brasil SEDE IV	5	492 kW	Alternativo	30

⁴ Fim da vida útil aos 18 anos. A segunda URL continua em funcionamento, porém, já existe a necessidade de substituição.

3.1.1. Investimento Inicial

Este dado é fornecido pela empresa que projeta, fabrica ou instala a central de ar-condicionado. Para este caso, o tempo de instalação não é considerado no fluxo de caixa, pois o mesmo é reduzido quando comparado com a vida do equipamento e não é influenciado pela taxa de desconto. Usualmente a instalação das URLs não ultrapassam 4 meses, entre a aquisição e a instalação (Freire, 2006).

Ao se considerar o investimento inicial deve-se analisar as características do equipamento como um todo, devem-se apreciar o projeto, os custos de aquisição, de instalação, de transporte, custos com treinamento, impostos, etc. Todavia, para esta análise, recomenda-se avaliar os custos característicos de cada equipamento. Não devem constar nesta análise custos comuns às unidades resfriadoras de líquidos a serem confrontadas. Assim, é possível avaliar mais especificamente o equipamento em questão.

Ponto cada vez mais importante nos projetos de instalação de centrais de ar condicionado, o Comissionamento também deverá ser considerado no momento do levantamento de custos. Este procedimento é definido então:

“Comissionamento é um processo com foco para a qualidade visando a melhoria da entrega de um projeto. O processo enfoca a qualidade verificando e documentando que o edifício e todos os seus sistemas e partes sejam planejados, projetados, instalados, testados, operados, e mantidos para atender os requisitos de projeto do proprietário”. (Pimenta et al *apud* ASHRAE, 2005).

Introduzido nos Estados Unidos desde o final dos anos 80, foi apenas mais recentemente que o tema ganhou importância devido ao impacto da crescente complexidade dos sistemas usados em edifícios e as políticas de conservação de energia e meio ambiente. No Brasil o Comissionamento ainda é pouco praticado, entretanto, seu potencial e a realidade operacional dos edifícios existentes no Brasil deixam margem a oportunidades e vantagens da implantação do mesmo. Contudo, o custo do comissionamento tem impacto durante toda a vida do projeto, desta forma, uma contínua aplicação deste método para otimização energética pode também estar incluído dentro dos custos de manutenção.

3.1.2. Custos de Manutenção

Pode-se entender manutenção como o conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações.

Esses cuidados envolvem a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção.

De modo geral, a manutenção em uma empresa tem como objetivos:

- Manter equipamentos e máquinas em condições de pleno funcionamento para garantir a operação dentro dos limites de projeto;
- Prevenir prováveis falhas ou quebras dos elementos das máquinas.

Alcançar esses objetivos requer manutenção diária em serviços de rotina e de reparos periódicos programados.

Basicamente existem dois tipos de manutenção: a planejada e a não planejada (Cavichioli, 1990).

A manutenção planejada aplicada ao caso de centrais de ar-condicionado é composta em duas categorias :

- Manutenção preditiva: ação preventiva baseada no conhecimento das condições de cada um dos componentes das máquinas e equipamentos.
- Manutenção preventiva: consiste no conjunto de procedimentos e ações antecipadas que visam manter a máquina em funcionamento.

A manutenção não-planejada decorre de fato inesperado e para o caso de estudo deste trabalho é composto de apenas uma categoria:

- Manutenção corretiva: tem o objetivo de localizar e reparar defeitos inesperados. Geralmente ocorre durante a operação do equipamento trazendo transtorno e mal-estar aos habitantes do edifício.

O levantamento de custos com a manutenção planejada é de fácil obtenção, pois a mesma segue rotinas com periodicidades e custos programados. Por outro lado, a manutenção não-planejada, por se tratar de fato inesperado, não possibilita uma previsão exata de gastos. Entretanto, quando são seguidas as recomendações do fabricante e executadas as manutenções preventivas e preditivas, tais fatos inesperados são minimizados, não compondo então insumos significativos.

Da mesma maneira que ocorre com o levantamento de insumos do investimento inicial, não se devem considerar custos comuns e de igual valor das duas máquinas. Um exemplo é o custo com tratamento de água de condensação, manutenção das bombas de água de condensação e gelada, dentre outros diversos custos comuns. Tal medida permite simplificar os resultados e avaliar especificamente a unidade de resfriamento de líquidos.

3.1.2.1 Manutenção, Vida Útil e Valor Residual de equipamentos por absorção.

As rotinas de manutenção de uma central de ar-condicionado por ciclo por absorção envolvem de forma mais geral os seguintes procedimentos (Herold et al, 1996):

- 1) Purga periódica de gases não-absortivos provocados por infiltrações e por reações químicas no processo de corrosão. O processo químico da corrosão em *chillers* por absorção tem como produto o gás hidrogênio. Ele é um gás inerte e não-absortivo nas temperaturas de operação do ciclo. Este gás ocupa o volume de vapor do equipamento e migra do ponto de alta para o de baixa pressão. Os efeitos primários que este gás inerte provoca é a redução do desempenho do condensador e do absorvedor.
- 2) Adição periódica de Álcool Octílico (2-etil-1-hexanol). A utilização do Álcool Octílico induz o aumento da transferência de massa no absorvedor proporcionando a convecção de Marangoni⁵ pode aumentar o desempenho do absorvedor em até 200%.
- 3) Adição periódica de inibidores de corrosão. Os aditivos anti-corrosivos mais conhecidos e pesquisados são o Cromato de Lítio (Li_2CrO_4), o Molibdato de Lítio (Li_2MoO_4) e o Hidróxido de Lítio (LiOH). Krueger et al (1964) recomendam a concentração de 0,3% de Cromato de Lítio e 0,005% de Hidróxido de Lítio. Para o Molibdato de Lítio a concentração recomendada é de 0,1% e 0,2% de Hidróxido de Lítio. Estes inibidores reduzem as taxas de corrosão através da formação de uma camada de oxido, acontecendo então o fenômeno de passivação⁶. O Cromato de Lítio não é mais utilizado por questões ambientais⁷.
- 4) Correção periódica do pH. O potencial de oxidação da solução refrigerante é fortemente influenciado pelo seu pH, enquanto ácida. Quando a solução é

⁵ A convecção de Marangoni ocorre pelo fato da tensão superficial em um fluido, ser dependente da temperatura. Como todo processo de solidificação requer um gradiente térmico através da interface das diferentes fases, aparecerá um fluxo radial da região de baixa tensão superficial para a região de alta tensão superficial. Este é um tipo de convecção independente da gravidade (AEB – Agencia Espacial Brasileira, 2006).

⁶ Passivação é a modificação do potencial de um eletrodo no sentido de menor atividade (mais catódico ou mais nobre) devido a formação de uma película de produto de corrosão. Esta película é denominada película passivante (ABRACO, 2006).

⁷ *The Environmental Protection Agency* (EPA) nos Estados Unidos, proibiu o uso de cromato, Cr+6, nos sistemas de refrigeração à água, na área de conforto térmico, desde 20/02/1990. O índice de THR (*Toxic and Hazard Reviews*) para o ácido crômico e seus sais, os cromatos, são preocupantes. Eles são corrosivos à pele e às mucosas. As lesões estão confinadas às partes expostas, afetando, principalmente, a pele das mãos, braços e a mucosa do septo nasal. Os cromatos são cancerígenos para os pulmões, cavidade nasal, seio paranasal, laringe e o estômago (Dantas, 1998).

levemente básica as moléculas de hidróxidos (OH^-) em excesso produzem uma camada de óxido junto a superfície dos reservatórios e tubulações, produzindo o efeito de passivação. Com o tempo e o acúmulo desta camada de óxido, a alcalinidade da solução gera como produto o gás Hidrogênio que também traz uma série de problemas, conforme descrito no item 1. Assim, o pH ideal estaria próximo de 7, ou seja, o mais próximo da neutralidade possível. O controle do pH em condicionadores de ar por ciclo de absorção é normalmente feito através da adição de pequenas quantidades de HBr (ácido bromídrico). Tal adição não compromete as propriedades do Brometo de Lítio.

A periodicidade destas medidas de manutenção depende do equipamento e habitualmente é especificada pelo fabricante. Os procedimentos básicos são simples e podem ser desenvolvidos por técnicos especializados.

Como mencionado anteriormente, as máquinas de absorção têm vida útil de aproximadamente 20 anos (Herold et al, 1996). Os autores Levine (2001) e Herold et al (1996) convergem para esta idade em seus textos. Nesta idade o equipamento apresenta significantes danos decorrentes da corrosão na superfície de aço, vazamentos e liberação de gases. A expectativa de vida da máquina é limitada então basicamente pela corrosão e pelos problemas provenientes dela. A vida útil do equipamento é fundamental nesta análise econômica comparativa do projeto.

O valor dos resíduos de uma máquina por absorção é de difícil mensuração. Por se tratar de um equipamento de tecnologia simples, ao final de sua vida útil, pouco material pode ser aproveitado. Entretanto seu resíduo de maior valor, a bomba da solução de Brometo de Lítio, é muito procurado no mercado. Esta é uma bomba especial, totalmente selada e com componentes em aço inoxidável. Na maior parte dos casos, a difícil manutenção desse dispositivo exige a substituição da peça por uma nova ou por algum resíduo de outra máquina.

Nos resíduos podem-se considerar também os demais equipamentos da central de água gelada, como as bombas de água condensada, bombas de água gelada, válvulas, tubulações e outros equipamentos que possam ainda servir numa instalação futura ou para venda. Entretanto, deve-se aplicar também neste ponto o “critério de redundância”.

3.1.3. Custos do Insumo Energético

O insumo energético, neste caso, é determinante em relação à viabilidade econômica do projeto. O trabalho envolve, para os equipamentos propostos, duas fontes energéticas: a energia elétrica (ciclo por compressão) e o gás natural (ciclo por absorção por queima direta).

Para cada caso o insumo energético deve ser avaliado de forma diferente, não somente pela “nobreza” de cada um, mas também pela natureza de suas tarifas e pela legislação de cada estado. Portanto o contrato de fornecimento de energia é de fundamental importância neste momento da análise comparativa entre os ciclos de refrigeração.

A estimativa do custo do Insumo Energético em sistemas de condicionamento de ar depende de alguns fatores que influenciam tal previsão. Uma análise detalhada de cada termo é extremamente necessária para uma estimativa o mais aproximado possível da realidade. Alguns fatores dependem da localização, de características da edificação, características do equipamento, do perfil de utilização do equipamento e da edificação, do contrato firmado entre concessionária e consumidor e da política tributária de cada estado. Assim, serão descritos nos tópicos seguintes os principais fatores para a construção da estimativa do custo.

3.1.3.1 Carga Térmica

Este é um dos fatores que influenciam diretamente o consumo de energia. Assim, cada local deve ser avaliado individualmente, pois as características da edificação influem diretamente nos custos do insumo energético.

A geração de calor interno e externo afeta as cargas térmicas de resfriamento. A estimativa da carga térmica de um ambiente deve levar em consideração fatores internos e externos que influenciam nas variações de temperatura e umidade do local estudado. Propriedades físicas dos materiais que envolvem o ambiente, ventilação, infiltração, insolação, dados geoclimáticos como altitude, localização geográfica e temperatura, são alguns dos fatores externos. Internamente, fatores como número de ocupantes, tipo de atividade desenvolvida, dissipação térmica de lâmpadas e equipamentos, dentre outros, também podem modificar tal estimativa.

Tendo considerado estas informações e a par da importância deste fator na previsão do consumo de energia, propõe-se uma análise igualitária para os dois equipamentos de refrigeração através de uma simulação computacional da carga térmica da edificação. Assim, pretende-se que através da carga térmica a ser simulada seja possível estimar o consumo de energia do equipamento. Esta previsão pode ser feita de duas maneiras: simulação da URL

tendo como dado de entrada a carga térmica; ou aplicação direta da carga térmica na curva do equipamento de refrigeração obtido experimentalmente ou através do fabricante.

Uma abordagem detalhada do cálculo da carga térmica de resfriamento em edifícios está além do escopo deste trabalho, contudo, trata-se de um dado da maior importância para a metodologia proposta. A determinação precisa através de métodos e ferramentas adequadas permite a aproximação dos resultados à realidade, dando mais embasamento aos cálculos seguintes.

Para simulação e análise do carregamento térmico do edifício será utilizado o programa computacional EnergyPlus™ v1.2.3 (DOE, 2005). O programa EnergyPlus (E+) é um programa livre distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos desenvolvido para simulação de carga térmica, análise energética e outras aplicações. Trata-se de uma coleção de vários módulos de programas que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício usando a variedade de sistemas e fontes de energia. Ele simula a edificação e os sistemas de energia associados quando eles são expostos a diferentes condições ambientais e operacionais. A simulação modela o edifício baseada nos princípios de balanço energético. Com a descrição das características físicas, térmicas do prédio e de sistemas mecânicos, o programa *EnergyPlus* calculará a energia requerida para climatizar um edifício e manter o controle térmico adequado.

O resultado obtido através de simulação no *EnergyPlus* será utilizado para a previsão do consumo de energia. A partir dos dados do fabricante da unidade resfriadora de líquido para cargas parciais é possível estimar, relacionando a carga térmica em questão com o desempenho da máquina fornecido pelo fabricante.

3.1.3.2 Tarifação da energia elétrica

A ANEEL (Agência Brasileira de Energia Elétrica) determina que sua estrutura de tarifação da energia elétrica é praticada de duas maneiras (resolução nº 456, de 29 de novembro de 2000):

- 1) Estrutura tarifária convencional: tarifa de consumo única, ou seja, há aplicação de tarifa de consumo de energia elétrica independente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.
- 2) Estrutura tarifária horo-sazonal: tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos

períodos do ano. A estrutura tarifária horo-sazonal pode ser dividida em duas modalidades:

a) Tarifa Azul: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência. Assim temos a seguinte estrutura tarifária:

I - demanda de potência (kW):

- i) um preço para horário de ponta (P)⁸; e
- ii) um preço para horário fora de ponta (F)⁹.

II - consumo de energia (kWh):

- i) um preço para horário de ponta em período úmido (PU)¹⁰;
- ii) um preço para horário fora de ponta em período úmido (FU);
- iii) um preço para horário de ponta em período seco (PS)¹¹; e
- iv) um preço para horário fora de ponta em período seco (FS).

b) Tarifa Verde: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

I - demanda de potência (kW): um preço único.

II - consumo de energia (kWh):

- i) um preço para horário de ponta em período úmido (PU);
- ii) um preço para horário fora de ponta em período úmido (FU);
- iii) um preço para horário de ponta em período seco (PS); e
- iv) um preço para horário fora de ponta em período seco (FS).

A partir das informações relativas ao contrato firmado entre o consumidor e a concessionária devem ser analisados custos relativos ao consumo energético do projeto. Os valores dependerão bastante das características de utilização do equipamento como horário e

⁸ Horário de ponta (P): período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, “Corpus Christi”, dia de finados e os demais feriados definidos por lei federal, considerando as características do seu sistema elétrico (ANEEL, 2001).

⁹ d) Horário fora de ponta (F): período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

¹⁰ Período úmido (U): período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

¹¹ Período seco (S): período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro.

época do ano. Seguem, mais detalhadamente nos Anexos A e B do trabalho, as tabelas com os respectivos valores para as tarifas azuis e verdes para cada grupo de usuário.

A partir das tarifas definidas será estimado o custo mensal de energia elétrica relacionando os dados de consumo da máquina, carga térmica e valor tarifário de consumo e demanda horo-sazonal.

3.1.3.3 Tarifação de gás natural

O gás natural para o consumidor final, assim como a maioria dos produtos, é influenciado pela lei da oferta e demanda. Isto torna uma previsão do custo deste insumo bastante difícil, porém é possível fazer uma estimativa do preço deste energético. Assim, a primeira componente de preço é a matéria prima, ou seja, o próprio gás. O segundo componente são os custos, para que o gás chegue da produção até o consumidor final, que dependem de um transportador e um distribuidor. O terceiro componente do preço do gás são os impostos, encargos e taxas (Melo, 2002).

O consumo de gás natural de forma geral está sujeito a sazonalidades, sendo maior seu consumo no inverno e menor no verão (Melo, 2002). Efeito contrário acontece nas aplicações de ar condicionado por absorção de queima direta. Porém, usualmente no Brasil não há variação sazonal do custo deste insumo, tão pouco há contratos com alteração de tarifas para hora de pico (ANP, 2006).

A ANP, responsável pela regulação e controle das empresas de produção, transporte e distribuição do gás natural, estabelece através de sua legislação que, as tarifas de gás canalizado devam ser definidas de maneira que, de um lado, estimulem a empresa distribuidora a manter os investimentos em melhoria dos serviços de distribuição do gás canalizado e, de outro, promovam o desenvolvimento do mercado, que se caracteriza pelo acesso dos usuários aos serviços.

Assim, pode-se dizer que as tarifas deverão permitir à empresa prestar serviços a níveis adequados de qualidade, alcançar a remuneração dos investidores e que os usuários paguem um preço justo pelos serviços prestados (Melo, 2002).

A formação do preço deste insumo em São Paulo, para fins de exemplificação, foi proposta a partir da elaboração de vários cenários prospectivos (demanda, transporte e impostos), a partir dos quais, utilizando dados e informações públicas, foram efetuadas algumas simulações cujos resultados conduziram aos valores que orientam os atuais contratos após a privatização da Companhia de Gás de São Paulo (COMGÁS, 2006). O mesmo

processo deverá ocorrer em Brasília, onde a elaboração de um cenário prospectivo orientará a tarifação do insumo energético.

Assim tarifas definitivas e contratos de fornecimento deste insumo ainda não estão determinadas no Distrito Federal, e dependerão de um estudo de previsão demanda de gás natural nesta região, incentivos fiscais do governo, custos de transporte e distribuição.

3.2. COMPARAÇÃO DE PROJETOS COM BASE NO VALOR ATUAL LÍQUIDO.

A segunda etapa da análise trata do cálculo do Valor Atual Líquido (VAL). O método tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de dispêndios. O VAL será calculado diferentemente para os Fluxos de Caixa 1 e 2, pois a natureza temporal dos custos de cada fluxo é diferente. Assim temos para os Fluxos de Caixa 1 e 2 os Valores Atuais Líquidos 1 e 2 calculados pela seguintes expressões (Hirschfeld, 1998):

$$VAL_1 = -\frac{I}{(1+i)^n} + R \cdot \frac{1}{(1+i)^v} \quad (3.1)$$

Para o caso de um investimento realizado no instante inicial $n = 0$, tem-se:

$$VAL_1 = -I + R \cdot \frac{1}{(1+i)^v} \quad (3.2)$$

$$VAL_2 = \sum_n^{n=0} \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (3.3)$$

$$VAL = VAL_1 + VAL_2 \quad (3.4)$$

Onde:

- I é o investimento inicial;
- R o valor residual da máquina de vida v ;
- F é a quantia existente em fluxo de caixa em determinado momento. É composto pela soma do custo do insumo energético e custo de manutenção.

A taxa de desconto é dada por i . A somatória tem como último elemento o valor $n = v$, onde v é a vida útil das máquinas, que conforme citado anteriormente, têm ciclo em torno de 20 anos, ou seja, vidas iguais. O Valor Atual Líquido total do fluxo é dado pela soma das equações (3.1 ou 3.2) e (3.3), como na equação (3.4).

Entretanto, a natureza do fluxo de caixa para equipamentos de ar condicionado central é predominantemente negativa. Esta situação é clara, pois somente é possível obter fluxos positivos se houvesse subprodutos com valor financeiro. Assim sendo, quando num fluxo de caixa houver predominância de custos, em vez de benefícios, pode-se inverter a convenção de sinais adotada. Convenciona-se neste trabalho, então, caracterizar os benefícios como negativos e os custos positivos, chamando o Valor Atual Líquido com sinal negativo de Custo Atual Líquido (CAL), ou seja,

$$CAL = -VAL \quad (3.5)$$

Com o resultado em mãos a seleção da melhor alternativa é, a princípio, aquela que apresentar o maior Valor Atual Líquido de seus fluxos de caixa, ou seja, aquela que apresentar o maior valor algébrico da soma de todos os valores atuais. Tratando-se de Custos Atuais Líquidos, adota-se convenção contrária, aquela que apresentar menor custo é a priori a melhor alternativa.

3.3. COMPARAÇÃO PELA AVALIAÇÃO DO CUSTO/BENEFÍCIO.

Este indicador é muito utilizado na prática quando, por exemplo, estão sendo cotejados equipamentos alternativos para a execução de uma mesma tarefa. Neste caso, os benefícios serão os mesmos, qualquer que seja a solução adotada. Busca-se aqui saber qual equipamento pode prover energia em kWh ou TRh pelo período de um ano pelo menor custo. Este índice proporciona uma avaliação simples e direta dos equipamentos, mesmo assim, por sua característica mais abrangente, a qual avalia todo o capital e benefício envolvido durante toda a vida do equipamento.

A representação gráfica da metodologia proposta é baseada na divisão de Fluxos de Caixa. A partir do Fluxo de Caixa 1 da tecnologia a ser analisada (Figura 3.1) constrói-se um Fluxo de Caixa Uniforme. Para tanto será uniformizado individualmente as parcelas devido suas características temporais.

Uniformizando o investimento inicial I temos (Hirschfeld, 1998):

$$U_I = I \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.6)$$

Uniformizando o valor residual R , após n anos de vida útil v . Assim, considera-se $n=v$. Utiliza-se a seguinte equação devido a sua característica futura, temos o valor uniforme para os resíduos (Hirschfeld, 1998):

$$U_R = R \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (3.7)$$

Entretanto, na equação (3.7), o termo $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$

Pode ser re-escrito:

$$\begin{aligned} \frac{i}{(1+i)^n - 1} &= \frac{i(1+i)^n - i(1+i)^n + i}{(1+i)^n - 1} = \\ &= \frac{i(1+i)^n - i[(1+i)^n - 1]}{(1+i)^n - 1} = \\ &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} - i \end{aligned} \quad (3.8)$$

Portanto,

$$U_R = R \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} - i \quad (3.9)$$

Calculando-se então o Custo Uniforme Líquido para o Fluxo de Caixa Uniforme 1 pela somatória dos dois valores uniformes U_I e U_R .

$$\begin{aligned} CUL_1 &= [U_I - U_F] = I \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} - R \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} - i \right] = \\ &= I \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} - R \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + Ri = \\ &= (I - R) \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + Ri \end{aligned} \quad (3.10)$$

Caso o Fluxo de Caixa 2 (custos de insumo energético e manutenção) não seja constante, calcula-se o Custo Uniforme Líquido para o mesmo, o qual será chamado de CUL_2 .

$$CUL_2 = CAL_2 \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.11)$$

O resultado geral para todo o capital movimentado será dado pela soma de CUL_1 e CUL_2 .

$$CUL = CUL_1 + CUL_2 \quad (3.12)$$

A razão Custo/Benefício considerada é então:

$$C/B = \frac{CUL}{En} \quad (3.13)$$

Onde En é a energia produzida na forma de frio anualmente pela central de ar-condicionado em kWh. Assim, pode-se dizer que En se refere à carga térmica anual, pois ela

representa o benefício, em forma de energia, que o equipamento de condicionamento de ar traz ao usuário.

3.4. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DESCONTADO.

Para a estimativa do tempo de recuperação descontado de um equipamento por absorção será necessária a elaboração de um fluxo de caixa comparativo, elaborado a partir dos fluxos de caixa das tecnologias a serem avaliadas.

Conforme citado na seção 3.1, os fluxos de caixa serão subdivididos em 2 (duas) partes. Uma referente aos custos iniciais (Figura 3.1) e outra aos custos de manutenção e energia (Figura 3.2). Assim é possível analisar os diferentes aspectos dos fluxos se fazendo valer da comparação entre os mesmos.

Entretanto, esta análise comparativa somente é possível se a alternativa de unidades resfriadoras de líquidos por absorção possuir custo-benefício (C/B - equação 3.13) inferior ao equipamento por compressão. O Fluxo de Caixa que possuir o maior custo-benefício, referente aos custos de manutenção e insumo energético, será o subtraendo e aquele que possuir o menor custo-benefício o minuendo. O resultado é o Fluxo de Caixa das Economias, que representa o capital “poupado” pela tecnologia de menor custo-benefício. Enfim constrói-se o Fluxo de Caixa Relativo, que é a soma entre o Fluxo de Caixa 1 da tecnologia de menor C/B e o Fluxo de Caixa das Economias. A Figura 3.3 representa a elaboração do Fluxo de Caixa Relativo para o caso onde a URL por absorção é a opção de menor custo-benefício.

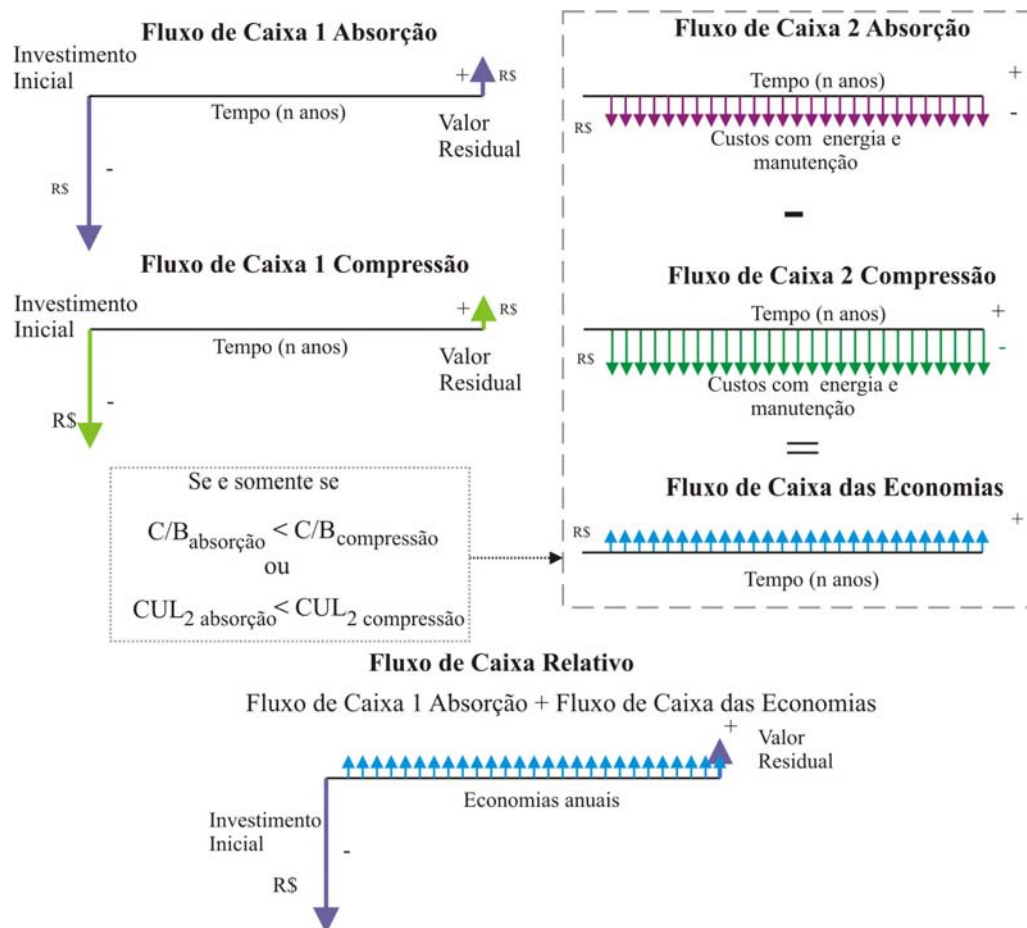


Figura 3.3 – Elaboração do Fluxo de Caixa Relativo.

O tempo de recuperação descontado é calculado a partir do Fluxo de Caixa Relativo através da obtenção do valor atual líquido. Calcula-se o VAL para os n períodos da vida útil do equipamento através da equação (3.4).

A Tabela 3.2 é o resultado buscado, pois relaciona o período e o valor atual líquido respectivo.

Tabela 3.2 - Determinação de tempo de recuperação descontado através do Fluxo de Caixa Relativo.

Período n (ano)	Fluxo de Caixa (\$)	Somatória do Valor Atual Líquido até o período n . (\$)
0	F_0	VAL_0
1	F_1	VAL_1
2	F_2	VAL_2
3	F_3	VAL_3
4	F_4	VAL_4
n	F_n	VAL_n
v	Resíduo	$VAL_{R; n}$

O gráfico obtido através do VAL_n e do período n representa o histórico de amortização do investimento. O tempo de retorno n é determinado quando a curva para

VAL assume um valor nulo, após o qual VAL passa a assumir valores positivos (Cenário A – Figura 3.4). Entretanto, há a possibilidade do equipamento não alcançar o retorno financeiro do capital aplicado (Cenário B - Figura 3.4).

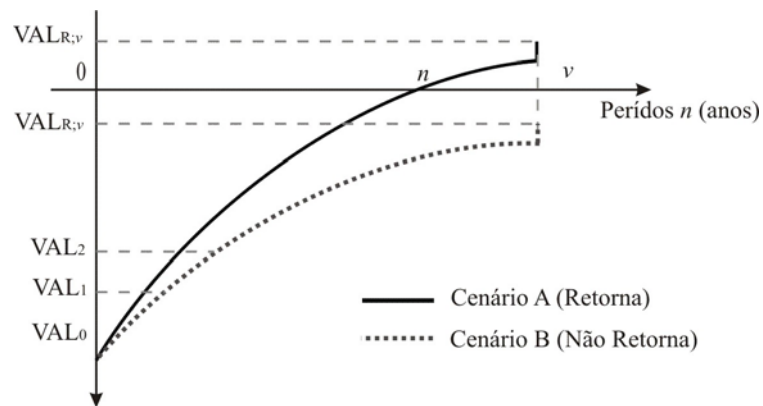


Figura 3.4 – Tempo de retorno de investimento descontado.

Embora existam cenários onde não há retorno financeiro de todo o investimento inicial dentro do período da vida útil do equipamento, é possível avaliar a economia promovida analisando o tempo de retorno descontado para a diferença entre os investimentos. Para tanto é necessário que o Fluxo de Caixa Relativo seja construído a partir da diferença entre os fluxos totais das duas tecnologias, obedecendo a mencionada condição referente ao custo uniforme líquido. O subtraendo deve ser aquele que possuir maior custo-benefício. Esta operação entre os fluxos de caixa provoca uma elevação da curva do cenário B (Figura 3.4 e Figura 3.5) fazendo com que em certos casos ela intercepte o eixo das abscissas. Permite então que se calcule o tempo de retorno para a diferença investida para determinada URL.

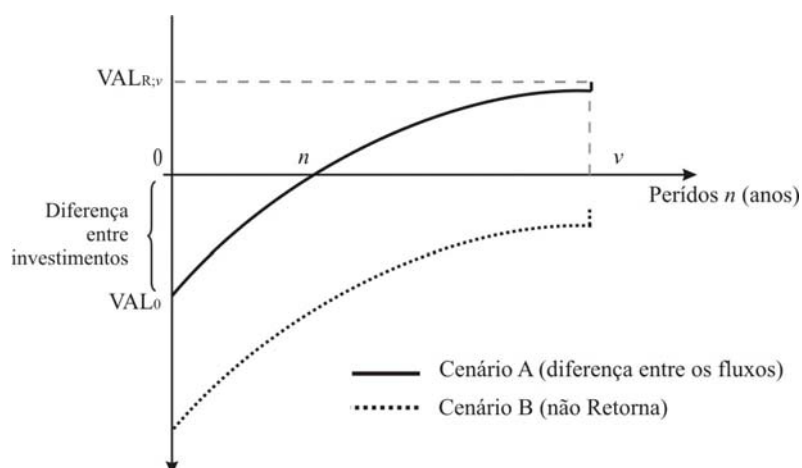


Figura 3.5 – Tempo de retorno da diferença entre investimentos descontado.

O tempo de recuperação é um bom critério da viabilidade da tecnologia a ser utilizada, entretanto sua utilização depende do momento da análise. Em um projeto de substituição de URLs já instaladas este indicador deve, para justificar a alteração da tecnologia, apontar um curto tempo de retorno do investimento do novo equipamento. Ao se avaliar um projeto no momento inicial, onde ainda não foi realizado qualquer investimento, o ponto mais importante é a verificação de economias entre os fluxos de caixa das tecnologias concorrentes, deve-se então escolher a alternativa que proporciona economia e retorna a diferença entre os investimentos em um período de tempo não muito longo (Figura 3.5).

3.5. COMPARAÇÃO DE PROJETOS COM BASE NA TAXA INTERNA DE RETORNO.

O cálculo da taxa interna de retorno, conforme já explanado, visa determinar a taxa que torna nulo o Valor Atual Líquido do investimento. Se a predominância negativa do fluxo de caixa determinar um VAL negativo e o mesmo não alcançar o valor nulo, como o caso que será avaliado, será necessário analisar a taxa interna de retorno através de comparações entre os fluxos.

A melhor forma para avaliação da Taxa Interna de Retorno é graficamente conforme a Figura 3.6.

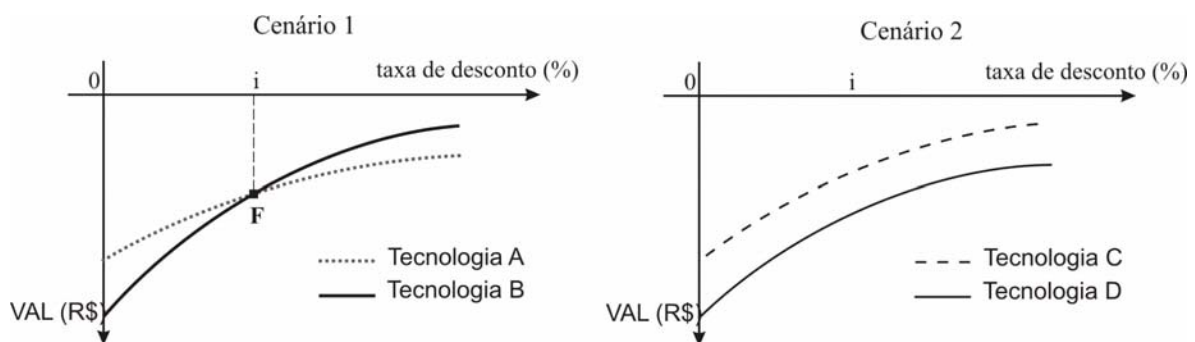


Figura 3.6 – Cenários para Taxa Interna de Retorno.

Assim, aplica-se o método da taxa de retorno a projetos de dispêndios que não fornecem retornos de rentabilidade. Avaliando o cenário 1 da Figura 3.6, observam-se duas tecnologias concorrentes que variam seu valor atual líquido em relação a uma determinada taxa de desconto. Verifica-se que a tecnologia “A” é economicamente superior a tecnologia “B” enquanto a taxa de desconto é inferior a $i\%$. Ultrapassado este valor, a tecnologia B é a melhor alternativa financeira. Entretanto, existe um ponto F onde as duas opções são equivalentes, pois apresentam mesmo VAL para a mesma taxa de desconto. Neste caso será

necessário outro critério para se fazer a escolha entre dois projetos. Esta taxa de i , correspondente ao ponto F , é chamada de taxa de *Fisher* (Woiler et al, 1986).

O cenário 2 da Figura 3.6 apresenta uma situação muito clara sobre a viabilidade das duas tecnologias onde a tecnologia “C” proporciona custos inferiores à tecnologia “D” para qualquer taxa de desconto simulada.

A análise da TIR permite então avaliar a sensibilidade da viabilidade em relação à taxa de desconto sendo um critério complementar à seleção da tecnologia a ser utilizada.

3.6. SÍNTESE DA METODOLOGIA PROPOSTA

Nas seções anteriores foram apresentados os critérios para a análise econômica de URLs. Entretanto, a utilização individual desses indicadores pode, em algumas ocasiões, não representar a melhor opção entre os equipamentos. Portanto, a utilização de todos os critérios leva a melhor avaliação na maioria dos casos.

Em suma, para a realização e melhor aproveitamento da metodologia proposta recomenda-se, conforme as seções anteriores deste capítulo 3, a aplicação de forma sistemática dos procedimentos já explanados. Assim, propõe-se a seguinte seqüência para aplicação da metodologia.

1) Elaboração do Fluxo de Caixa: levantamento de todos os dados referentes a circulação de capital para os investimentos. A primeira questão é a duração do fluxo de caixa e até quando é possível comparar as tecnologias. A resposta para tal questão é que seja assumida a mesma vida útil das máquinas (propõe-se nesta dissertação 20 anos), permitindo então a comparação entre os ciclos. Foi sugerido que o Fluxo de caixa fosse dividido em dois: O FLUXO 1 referentes aos custos do investimento inicial; e o FLUXO 2 e custos com manutenção e energia. Para cada fluxo de caixa foram feitas ponderações acerca dos dados a serem levantados como custos com investimento inicial, custos de manutenção, vida útil e valor residual. Os custos dos insumos energéticos devem ser tratados com cuidado especial, pois eles são determinantes em relação à viabilidade econômica do projeto. Para tanto é recomendada a utilização de programa de simulação de carga térmica que permita a avaliação horária durante o período de operação anual. Neste trabalho foi utilizado o programa EnergyPlusTM v.1.2.3 (DOE, 2005). A partir deste programa e dos dados das URLs é possível estimar o consumo de energia de cada máquina. Entretanto, deve-se atentar para a tarifação da energia contratada. No caso da energia elétrica esta tarifa é variável, necessitando de cuidados especiais.

2) Aplicação do critério do Valor Atual Líquido: o segundo passo é a utilização das equações (3.1) e (3.2) para o cálculo do VAL. A convenção proposta recomenda, para o caso de URLs, a utilização de CAL devido a predominância negativa do fluxo de caixa.

3) Comparação através da avaliação de Custo/Benefício: Para esta análise é necessária a uniformização dos FLUXOS 1 e 2 através das equações (3.10) e (3.11). Depois a soma dos mesmos, conforme a equação (3.12). A razão Custo/Benefício definirá o quanto será pago pela energia necessária para superar toda carga térmica anual. A tecnologia que obter o menor resultado será aquela mais viável economicamente. É um ótimo indicador, entretanto, a economia proporcionada nem sempre retorna o investimento num prazo razoável. São necessárias outras ponderações sobre a viabilidade.

4) Tempo de Recuperação Descontado: Para este caso é necessária antes a avaliação do Custo/Benefício. Se as URLs por absorção possuírem C/B inferior, significa que haverá economias neste investimento. Assim, a estimativa do tempo de retorno baseado nestas economias é encontrada através das diferenças entre os fluxos de caixa, gerando um terceiro fluxo de caixa (Figura 3.4). Calcula-se o VAL para os n períodos da vida útil do equipamento através da equação (3.4). O tempo de retorno n é determinado quando a curva toca o eixo das abscissas, ou seja, quando VAL assume um valor nulo (Figura 3.5). Caso isso não ocorra, significa que o investimento não retorna dentro da vida útil do equipamento, não justificando sua aquisição.

5) Análise de Sensibilidade: esta ferramenta auxilia na tomada de decisão, através de uma projeção, quando de possíveis alterações que possam ocorrer no fluxo de caixa analisado. A análise de sensibilidade de um fluxo de caixa se procede variando-se as suas entradas de modo a afetar os resultados obtidos em outros métodos, como por exemplo, o do Valor Presente Líquido ou da Taxa Interna de Retorno. Assim, nesta análise propõe-se fazer uma análise de sensibilidade variando-se os cenários de forma otimista, neutra e desfavorável. Tais cenários estão exemplificados nas análises do capítulo 5.

a) Para este caso específico, o principal dado a ser variado no fluxo de caixa é o preço do gás natural, que pode assumir diferentes tarifas em cada estado, além da instabilidade de seu preço no presente momento. Tal cenário foi elaborado no capítulo 5 com fins de exemplificação da influência do insumo energético.

b) Outra variável analisada é a taxa interna de retorno, conforme apresentada na seção 3.5. As diferentes possibilidades para a taxa de desconto influem decisivamente em um investimento. Assim, avaliando-se as tecnologias encontra-se o ponto de equivalência

econômica entre elas (*taxa de Fisher*). A partir deste referencial é determina-se qual é a mais viável em relação a um determinado cenário. A partir da variação da taxa de desconto é possível visualizar também o comportamento dos outros indicadores como o Custo/Benefício. A variação da TIR é um critério complementar que permite uma melhor visualização das possibilidades da viabilidade do projeto.

Os resultados obtidos em cada critério, quando calculados corretamente, convergem para o mesmo resultado quanto a viabilidade, entretanto, cada um apresenta informação peculiar, informando outras características econômicas diferenciadas. Tais resultados quando avaliados em conjunto permitem uma melhor análise geral do projeto. O fluxograma da Figura 3.7 apresenta de forma sintética a metodologia proposta.

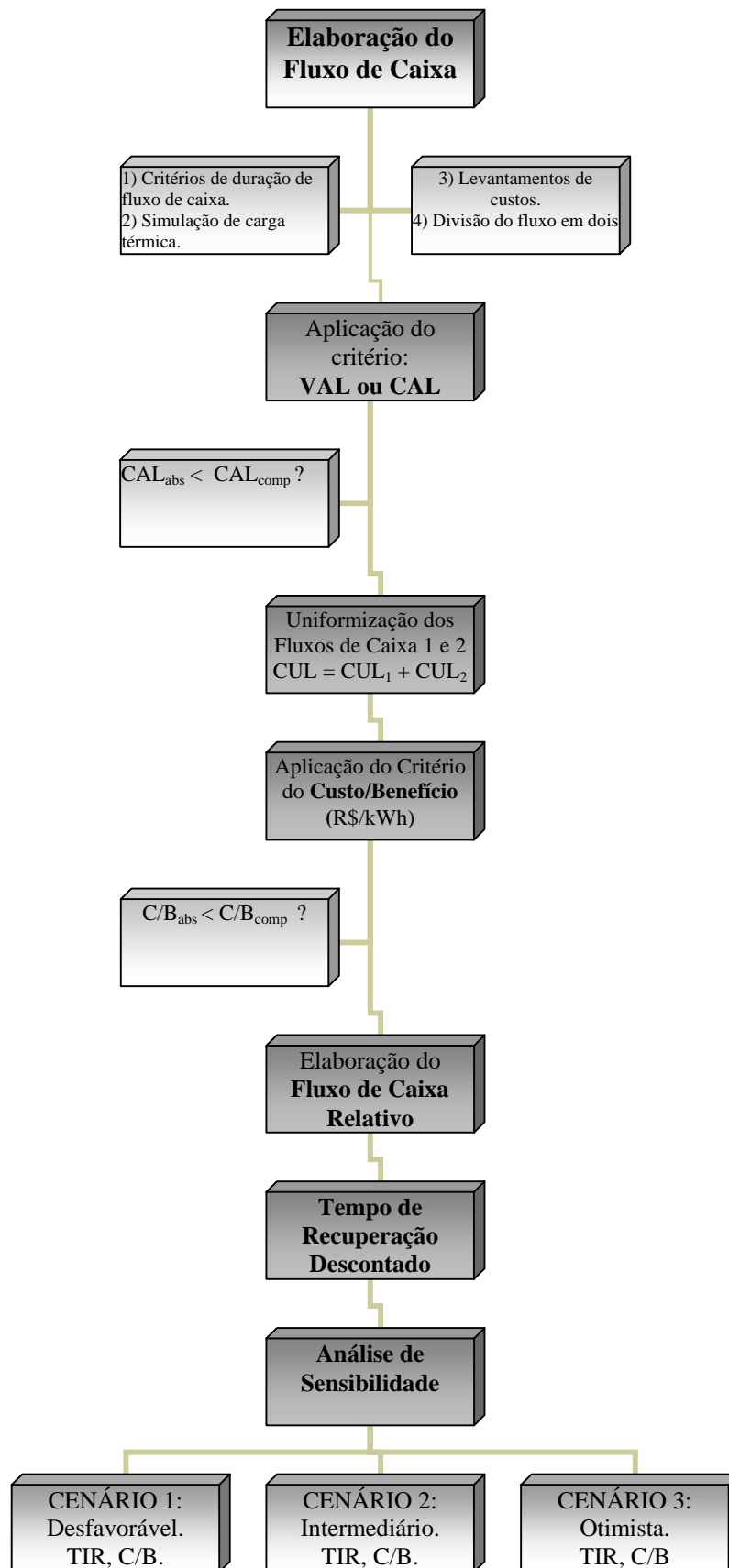


Figura 3.7 – Fluxograma da metodologia de análise econômica.

4. ESTUDO DE CASO: PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA.

Nesta etapa do trabalho objetiva-se aplicar a metodologia proposta para avaliação de unidades resfriadoras de líquidos (URLs) em um edifício de grande porte.

As edificações da Procuradoria Geral da República foram escolhidos por estar adequada a proposta desta dissertação. Trata-se de um conjunto de edifícios atendidos unicamente pela sua central de condicionamento de ar. Esta condição permite uma avaliação dos equipamentos a serem comparados sem interferências de sistemas de condicionamento menores como *self-containers* e aparelhos de ar-condicionado de janela que influenciam diretamente o consumo de energia. Desta forma, o conjunto de edifícios da Procuradoria Geral da República favorece um estudo de caso no qual é possível se obter resultados claros para avaliação da metodologia. Todavia, um estudo de caso que avaliasse a utilização diversa do gás natural ou de cogeração seria bastante interessante, porém este não é o alvo desta dissertação.

Outro ponto importante se refere ao consumo de energia. Por se tratar da análise de uma instalação de grande porte, com grande circulação de pessoas e grande número de equipamentos dissipadores de calor, o consumo de energia pelos equipamentos de ar-condicionado representa fator de grande influência em uma análise econômica. O grande volume de capital direcionado ao insumo energético permite uma análise do fluxo de caixa onde o custo da energia define diametralmente a viabilidade econômica do equipamento.

4.1. PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA E SEU SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

A Procuradoria Geral da República (PGR) se situa no Setor de Administração Federal Sul – SAFS, quadra 4, conjunto C. É composta por 6 (seis) edificações em um conjunto com 70 mil m² de área, que abriga escritórios, auditórios, restaurante, serviços de apoio, áreas técnicas e estacionamentos. O edifícios principais são dois volumes de formato circular, interligados por rampas e passarelas de desenho curvilíneo. Sendo estes, que abrigam os gabinetes dos procuradores, os destaques da obra. Em um deles (Bloco A) há uma estrela de concreto na parte superior. Neste projeto de Oscar Niemeyer há uma concepção diferenciada das tradicionais estruturas. Há um único pilar central de concreto, o qual apóia a estrela de oito pontas e oito tirantes presos a essa estrutura que suportam o peso do edifício que está

suspensão na estrela. Essa solução elimina todos os pilares no pavimento térreo fazendo com que o prédio pareça flutuar (Figura 4.1).



Figura 4.1 - Bloco A da Procuradoria Geral da República

Para a melhor compreensão do empreendimento segue a descrição geral de cada bloco (Figura 4.2):



Figura 4.2 – Vista de satélite da Procuradoria Geral da República (GoogleMaps, 2006).

- Bloco A – Procuradoria: térreo, mezanino, cinco pavimentos e cobertura. Horário de funcionamento: 8 hs as 20 hs;
- Bloco B – Administração: térreo, mezanino, cinco pavimentos e cobertura Horário de funcionamento: 8 hs as 20 hs;
- Bloco C – Auditório: térreo e um pavimento com 388 assentos. Horário de funcionamento: não há horário predeterminado;

- Bloco D – Restaurante: térreo e um pavimento. Horário de funcionamento: 11 hs as 15 hs;
- Bloco E – Serviço médico: térreo e um pavimento. Horário de funcionamento: 8 hs as 20 hs;
- Bloco F – Serviço médico e oficina: térreo e um pavimento. Horário de funcionamento: 8 hs as 20 hs.

Os Blocos A e B possuem envelope de edificação idênticos sendo ambos completamente envidraçados não possuindo sombreamento externo. Os Blocos C e D são interligados por uma passarela e funcionam em horário diferenciado das demais por se tratarem de restaurante e auditório. Todas as edificações são servidas pelo sistema de ar condicionado central, exceto os banheiros, copas, garagens e oficinas do Bloco F, estes possuem sistemas de exaustão e ventilação.

4.1.1. Central de água gelada

A Procuradoria Geral da República se utiliza de três unidades resfriadoras de líquido (URL) para atender o sistema de ar condicionado. Cada URL possui capacidade nominal de 1225 kW (350 TR) e um sistema de termo-acumulação onde existem dois tanques de 250 m³ cada.

A central de água gelada instalada é composta pelos seguintes componentes:

- 3 Unidades Resfriadoras de Líquido;
- 2 Tanques de armazenamento;
- 3 Torres de resfriamento;
- 1 Tanque de topo;
- 1 Tanque inventário;
- 1 Tanque de reposição de solução;
- 1 Trocador de calor de placas.

Os equipamentos descritos estão interconectados por três circuitos independentes principais conforme descrito a seguir:

1. Circuito de água-monoetilenoglicol (MEG) interconectando o trocador de placas com os evaporadores dos Chillers e com os tanques de armazenamento. Está representado na Figura 4.4 a seguir pela cor azul escuro. Juntamente a esse circuito apresenta-se uma linha de alívio (linha marrom).

2. Circuito de distribuição de água gelada (ou circuito secundário) o qual interconecta o trocador de placa com as bombas que direcionam a água para os *fancoils* blocos (representado pela linha azul claro, Figura 4.4). Como fluido de trabalho se utiliza água que segue para os fan-coils distribuídos entre os prédios da repartição.
3. Circuito de água de condensação conectando os condensadores dos Chillers às torres de arrefecimento. Representado pela linha de cor verde este circuito utiliza apenas água como fluido de trabalho e interconecta os condensadores das URL's às torres de arrefecimento (Figura 4.4).

Atualmente, os tanques de termoacumulação estão desativados. Os mesmos não funcionam desde o final de 2003, quando foi detectada a diminuição da concentração de monoetilenoglicol (MEG) devido às falhas nas “ice-balls”¹² (Pimenta et al, 2004). Assim, atualmente a central de água gelada opera somente no modo de produção direta.

O modo de *Produção Direta* é aquele típico de uma central de água gelada convencional. Nesse modo, toda a demanda térmica instantânea do sistema de climatização é suprida diretamente pela operação das unidades resfriadoras de líquido (uso exclusivo dos resfriadores de líquidos). Cada URL produz diretamente a capacidade de resfriamento necessária, modulando sua capacidade em função de um “setpoint” de 6 °C para a temperatura da solução de monoetilenoglicol que deixa o evaporador conforme a Figura 4.3.

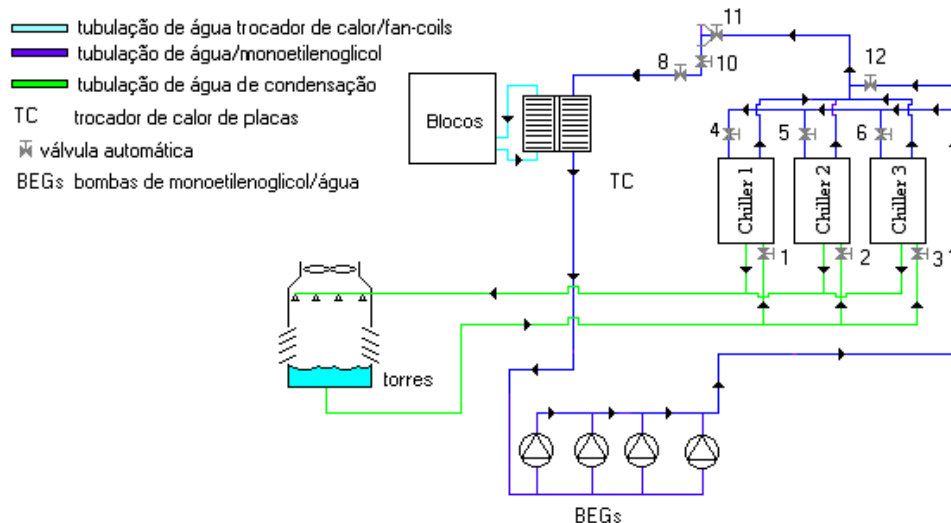


Figura 4.3 – Modo de operação direta (Pimenta et al, 2004).

¹² O armazenamento é feito em tanques isolados termicamente e dentro desses tanques existem milhares de “ice-balls” – encapsulados que no seu interior possuem água desmineralizada - sendo que esta se congela na passagem da solução, ou seja, tem-se energia térmica armazenada na forma latente, para que durante o dia principalmente nos horários de pico o consumo de energia elétrica seja diminuído com o consumo dessa solução armazenada no tanque.

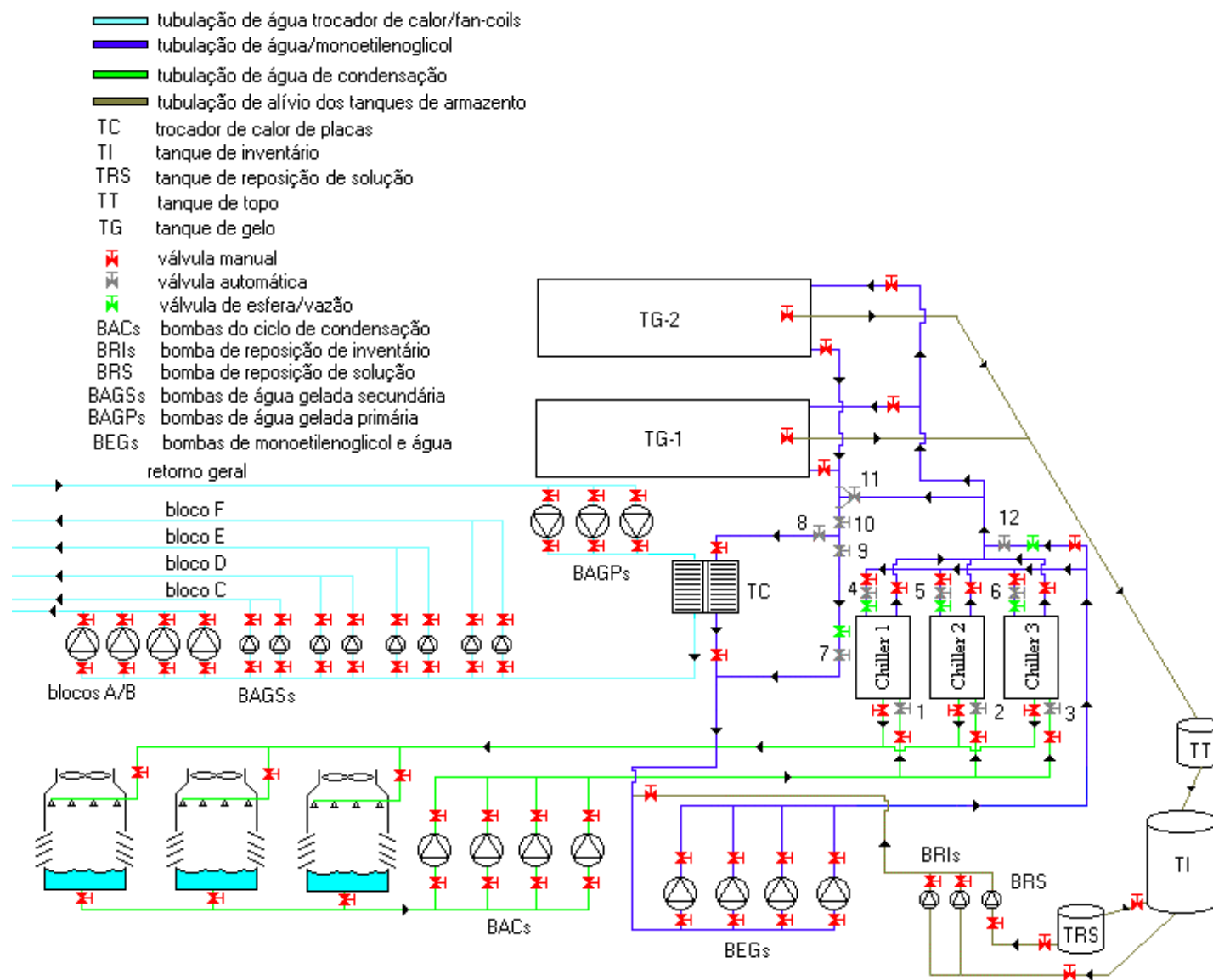


Figura 4.4 – Figura esquemática da CAG (Pimenta et al, 2004).

4.1.2. As Unidades Resfriadoras de Líquido (*Chillers*)

4.1.2.1 Unidade Resfriadora de Líquido por compressão

A central de água gelada da Procuradoria Geral da República é composta por três unidades resfriadoras de líquido idênticas da série YS Millennium. Cada URL é identificada pelo número de modelo YSDACAS3-CMES que identifica as características construtivas da máquina (Figura 4.5 - York, 2000).

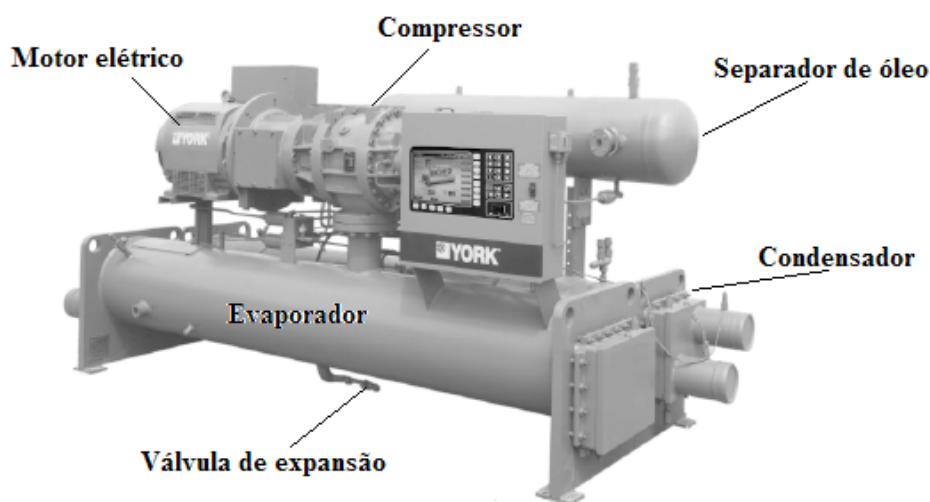


Figura 4.5 – Visão frontal da unidade resfriadora de líquidos utilizada na PRG (York, 2000).

As unidades resfriadoras de líquidos são dispostas em paralelo e usam como fluido primário de trabalho o refrigerante R-22. As URL's são compostas pelas seguintes partes básicas: evaporador, condensador, separador de óleo, compressor parafuso, válvula de expansão, motor elétrico e sistema de lubrificação, conforme indicado na Figura 4.5.

Tanto o evaporador como o condensador são trocadores de calor do tipo “casco e tubos” com três e dois passes (no lado do fluido secundário) respectivamente. No condensador é utilizada água como fluido secundário de trabalho, enquanto a solução água-monoetilenoglicol é usado no evaporador. A vazão da solução água-monoetilenoglicol no evaporador é de 194m³/h, com as três URLs em funcionamento. A vazão de refrigerante no evaporador é controlada por uma válvula de expansão, o qual produz a expansão do líquido refrigerante do condensador para o evaporador. A vazão de água no condensador é de 232 m³/h (York, 2000).

A unidade resfriadora de líquidos possui um compressor parafuso do tipo semi-hermético, conectado diretamente ao eixo do motor de indução. Este opera a 3600 RPM

(60Hz). A capacidade da URL pode ser regulada entre 100% e um mínimo de 10%. Tal controle de capacidade é efetuado por meio de uma válvula corrediça (*slide valve*) localizada entre as portas de sucção e descarga do compressor. Sua atuação é controlada pela pressão do óleo numa válvula solenóide.

O equipamento também dispõe de um separador de óleo horizontal cuja ação é feita por gravidade devido à diminuição da velocidade do gás refrigerante ao entrar no separador, e por um filtro que realiza a separação final do gás/óleo antes de o gás entrar no condensador.

O desempenho energético de cada chiller depende das condições operacionais, bem como da ação de controle da capacidade promovido pela ação modulante de abertura e fechamento da válvula corrediça (*slide valve*). Dessa forma, cada chiller desenvolve uma capacidade de refrigeração que pode variar desde sua capacidade máxima de 100% (*full load operation*) até um valor mínimo operacional da ordem de 10%. Tendo em vista essa característica de controle de capacidade, o desempenho energético de cada chiller é apresentado em condições de carga parcial.

Pimenta et al (2004) obtiveram junto ao fabricante dados de desempenho energético em carga parcial para as características operacionais de projeto que se encontram no ANEXO C. A tabela a seguir apresenta o desempenho da URL para o modo de operação em produção direta, ou seja, para uma temperatura da água gelada na saída do evaporador de 6 °C. Esta tabela é de grande importância, pois a partir dela e do perfil de carga térmica simulado para 3120 horas de operação do equipamento será possível estimar o consumo de energia elétrica.

Tabela 4.1 – Desempenho de referencia para as URLs em modo de produção direta (Pimenta et al, 2004).

Carga	Qev	Wcp	COP	Desempenho
%	[kW]	[kW]	[-]	(kW/TR)
100	1225,0	250	4,90	0,714
90	1102,5	205	5,38	0,651
80	980,0	169	5,79	0,604
70	857,5	135	6,35	0,551
60	735,0	105	7,00	0,500
50	612,5	82	7,46	0,469
40	490,0	75	6,53	0,536
30	367,5	67	5,49	0,638
20	245,0	60	4,08	0,857
11	136,5	57	2,39	1,462

Ao longo do ano a variação do clima afeta a temperatura de condensação (T_{cd}), principalmente no período de baixa umidade relativa do ar, onde a temperatura de bulbo

seco é muito maior que a de bulbo úmido. Nesta situação a temperatura de condensação sofreria alterações ao passar pelas torres de resfriamento, sendo afetada pelas condições climáticas. Os dados da Tabela 4.1 refletem uma condição de condensação fixa com temperatura da água de condensação entre 29,5 °C (entrada) e 35 °C (saída) e “setpoint” em 6 °C. No entanto, o COP em um ciclo por compressão é afetado basicamente por tais temperaturas. Assim, os resultados apresentados podem sofrer ligeiras alterações. Contudo, este efeito não será avaliado neste estudo, sendo necessário para tanto a realização de um simulação computacional do equipamento ora instalado que considere todos os parâmetros técnicos e climáticos ao longo de um ano da instalação. Tal simulação foge ao escopo deste trabalho, onde busca-se, portanto, alcançar apenas uma estimativa do consumo, tanto de energia elétrica, quanto de gás natural.

A partir dos dados apresentados na Tabela 4.1, foram construídos os gráficos das Figuras 4.6 e 4.7, caracterizando a operação dos chillers em modo de produção direta.

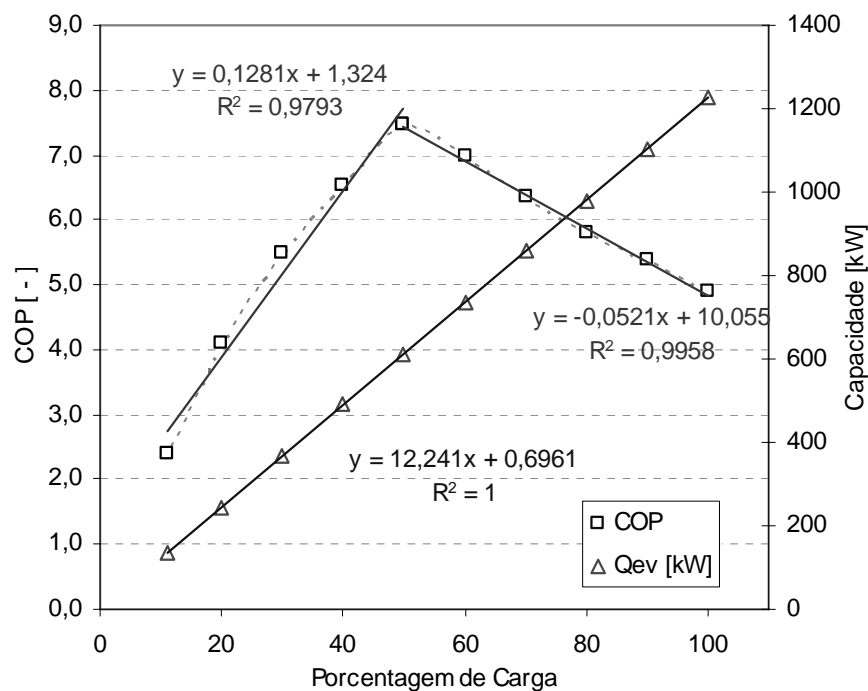


Figura 4.6 - Coeficiente de Performance (COP) e Capacidade de Refrigeração em função da porcentagem de carga para modo de operação em produção direta (Pimenta et al, 2004).

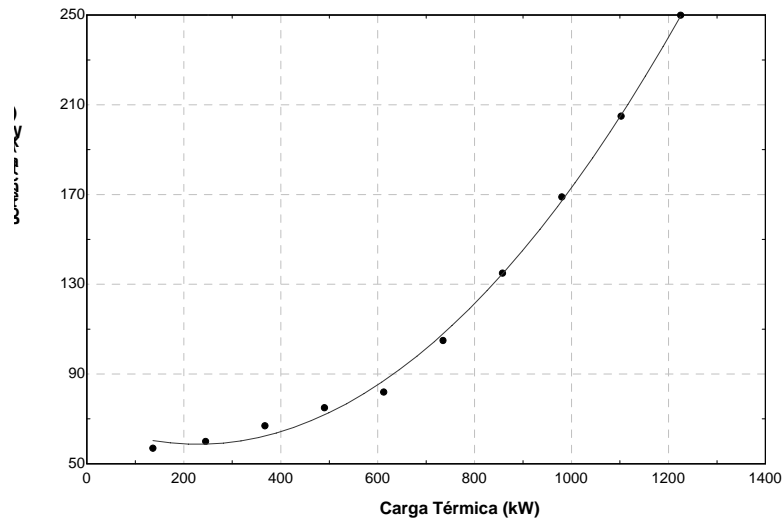


Figura 4.7 – Potência requerida pelo compressor (kW) x Carga no evaporador (kW).

Os pontos apresentados no gráfico (Figura 4.8) podem ser aproximados à função pela seguinte equação:

$$W_{cp} = 68,8185 - 0,0883495 \cdot Q_{ev} + 0,000192579 \cdot Q_{ev}^2 \quad (4.1)$$

Nota-se na Figura 4.6 que o COP máximo para as cargas parciais está entre 40% e 70%, apresentando um pico em 50%. Tal consideração é importante na estimativa de custos, pois o consumo energético é inferior quando as máquinas operam nesta capacidade. Assim, propõem-se uma análise comparativa entre as energias a partir de seus pontos de melhor desempenho. Para tanto será considerado que as três URL's funcionarão sempre simultaneamente, assim, de acordo com a média da carga térmica anual realizada em pelo programa EnergyPlus™ v.1.2.3 (DOE, 2005)¹³, a ser apresentada nas próximas seções, o equipamento funcionará, em média, em torno da carga de 52%, ou seja, na dentro da região de melhor eficiência do equipamento.

Aplicando os dados da Tabela 4.1 para o caso de 3 (três) URL's em operação simultânea, afim de atender a demanda de carga térmica das edificações e seguindo a proposta do parágrafo anterior, onde as tecnologias serão otimizadas para sua análise, constrói-se o gráfico representativo do consumo de energia das unidades resfriadoras de líquidos (Figura 4.8). Assim, as informações da Tabela 4.1 foram multiplicadas por 3 (número de URL's em paralelo) para a estimativa da potência requerida.

¹³ Segundo a realização da simulação computacional da carga térmica realizada pelo programa EnergyPlus™ v.1.2.3 (DOE, 2005) a média horária da carga térmica é de 1.948,49 kW. Tal carga representa 52,78% da potência total instalada. Assim, em sua maior parte do tempo, os equipamentos serão avaliados na região de COP máximo.

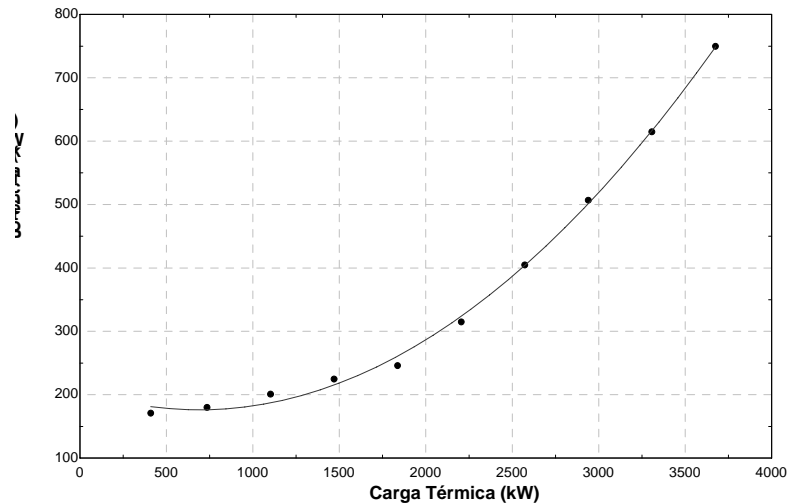


Figura 4.8 - Potência (kW) x Carga no evaporador (kW) para as 3 URL's em operação simultânea.

Obtém-se a partir do gráfico acima à função que melhor representa o conjunto de pontos obtidos.

$$W_{cp3URL} = 206,456 - 0,883495 \cdot Q_{ev,comp3} + 0,000064193 \cdot Q_{ev,comp3}^2 \quad (4.2)$$

Tem-se então uma função que relaciona a energia requerida pelas unidades 3 URL's em funcionamento simultâneo e a carga térmica absorvida nos evaporadores.

4.1.2.2 Unidade Resfriadora de Líquido por absorção

Para esta análise de viabilidade foi recomendada por Felamingo (2006), três unidades resfriadoras de líquido modelo *LDF-G036S*. Estas unidades possuem tamanho compacto, adaptando-se perfeitamente à central de água gelada da Procuradoria Geral da República, além de atenderem perfeitamente a demanda térmica das edificações.

As unidades resfriadoras de líquido também ficarão dispostas em paralelo como as unidades de compressão já existentes, conforme a Figura 4.3. O fluido primário de trabalho é a solução H₂O/LiBr. O equipamento é composto pelas seguintes partes básicas: bomba de solução de brometo de lítio, gerador de alta pressão, gerador de baixa pressão, condensador, evaporador e absorvedor. Além de dispositivos de controle da pressão referente à formação de gás hidrogênio. A URL sugerida é de duplo efeito, de queima direta e sua capacidade de refrigeração é de 1.265 kW (360 TR).

A bomba de solução de Brometo de Lítio é hermeticamente selada e possui rotor e revestimento interno de aço inoxidável. Como o Brometo de Lítio é altamente corrosivo ao aço quando em contato com o oxigênio a bomba não deve permitir vazamentos. Tal

restrição impõe precauções quanto à manutenção do equipamento. Recomenda-se, em caso de defeito, que ela seja totalmente substituída.

No gerador de alta temperatura ocorre a absorção de calor por fonte direta. Este calor é transferido à solução de água/LiBr através de um queimador de gás natural, fazendo com que parte da água desta solução mude para o estado de vapor, fluindo pela tubulação devido ao aumento de pressão. A outra parte da solução a uma alta concentração de LiBr escoava para o absorvedor. Este componente é composto basicamente de trocador de calor do tipo casco-tubo onde a solução é aquecida, aumentando a sua concentração. Constituído por chapas de aço laminadas e calandradas, sendo que os tubos de troca de calor são de cobre-níquel, sem costura, com espessura de $0,711\text{ mm}$ (*LSCable, 2006*).

O gerador de baixa temperatura usa o vapor da água do gerador de alta pressão para prover seu abastecimento de calor. Promove-se assim, com a inclusão de mais um gerador, o aumento da eficiência. Além deste segundo gerador, a URL também aproveita os gases quentes provenientes da queima do gás natural para prover um pré-aquecimento da solução água/LiBr antes de sua entrada no gerador de alta pressão. Este componente é constituído de trocador de calor do tipo casco-tubo, construído no mesmo vaso que o condensador da máquina, com tubos de cobre sem costura com espessura de $0,711\text{ mm}$ (*LSCable, 2006*).

No condensador o vapor de água proveniente do gerador a alta pressão, perde calor no trocador, sendo então condensado. O vapor que adentra o condensador sai na forma de líquido saturado. A vazão da água de condensação é de $251,9\text{ m}^3/\text{h}$ e as temperaturas de entrada e saída são de $29,5^\circ\text{C}$ e 37°C respectivamente. Este componente é construído no mesmo vaso que o gerador de baixa temperatura, serve para condensar o vapor de refrigerante liberado no gerador de baixa temperatura. É construído com tubos de cobre sem costura, na espessura de $0,711\text{ mm}$ (*LSCable, 2006*).

O líquido refrigerante circula do condensador para o evaporador, onde é alimentado na forma de pequenas partículas sobre o conjunto de tubos do evaporador. Devido a baixa pressão neste compartimento ($0,8\text{ kPa}_{\text{ABS}} - 6\text{ mmHg}$) o refrigerante muda de fase a aproximadamente $3,9^\circ\text{C}$, enquanto é liberado sobre o trocador de calor do evaporador. A temperatura de entrada da água no circuito de água gelada é de $11,8^\circ\text{C}$ e a saída de 7°C com uma vazão de $226,8\text{ m}^3/\text{h}$. O evaporador é construído no mesmo vaso do absorvedor, sendo um trocador de calor do tipo casco-tubo, que evapora o refrigerante, produzindo assim água gelada para o processo. Os tubos do evaporador são corrugados em espiral, em cobre sem costura, na espessura de $0,610\text{ mm}$ (*LSCable, 2006*).

O refrigerante na forma de vapor migra do evaporador para o absorvedor onde a solução forte do gerador é liberada sobre um trocador de calor. A função deste trocador de calor é resfriar a solução forte e também estimular a absorção do vapor de água pela solução salina de Brometo de Lítio através do aumento da superfície de contato entre as duas substâncias. O Absorvedor, conforme já mencionado, é construído no mesmo vaso que o evaporador, é um trocador de calor do tipo casco-tubo, que serve para absorver o vapor de refrigerante formado no evaporador. O vaso será construído em aço laminado A 283, jateado e com fundo epóxi, e os tubos do absorvedor são lisos, em cobre-níquel sem costura, na espessura de $0,610\text{ mm}$ (LSCable, 2006).

A unidade de refrigeração por absorção também conta com um sistema de purga de gases não condensáveis nas condições de pressão e temperatura da máquina como o Hidrogênio. O aumento da pressão interna devido à liberação de gases reduz a eficiência da máquina, exigindo a purga periódica destes gases. Segue nos Anexos do trabalho o catálogo do equipamento juntamente com as demais descrições do dispositivo.

Felamingo (2006) forneceu os dados de desempenho energético em carga parcial a partir dos quais, juntamente com o perfil de carga térmica simulado para as horas de operação, será possível estimar o consumo de energia para o equipamento. Considerou-se para os cálculos da tabela o poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior do gás fornecido pela Companhia de Gás de São Paulo (COMGAS). Este valor é idêntico àquele proveniente da Bolívia e que futuramente será fornecido a Brasília.

A partir dos dados fornecidos pelo fabricante, foram construídos os gráficos a seguir, caracterizando a operação das URLs (Figuras 4.9 e 4.10). Vale neste momento ressaltar os excelentes COPs das máquinas por absorção propostas.

Conforme explanado no caso do ciclo por compressão, a temperatura de condensação (T_{cd}) sofre variações ao longo do ano, principalmente no período de baixa umidade relativa do ar, onde a temperatura de bulbo seco é muito maior que a de bulbo úmido. Nesta situação a temperatura de condensação sofreria alterações ao passar pelas torres de resfriamento, sendo afetada pelas condições climáticas. As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam resultados a uma condição de condensação fixa com temperatura da água de condensação entre 32 °C (entrada) e 37 °C (saída) e “setpoint” em 7 °C . Assim, os resultados apresentados podem sofrer ligeiras alterações. Contudo, este efeito não será avaliado neste estudo, sendo necessário para tanto a realização de um simulação computacional do equipamento ora instalado que considere todos os parâmetros técnicos e

climáticos ao longo de um ano da instalação. Tal simulação foge ao escopo deste trabalho, onde busca-se, portanto, alcançar apenas uma estimativa do consumo de gás natural.

Nota-se que as temperaturas de *setpoint* são diferentes para as máquinas utilizadas. Tal situação prejudica a análise, pois os equipamentos não estão sendo comparados em situação idêntica, entretanto a pequena diferença não acarreta em grande prejuízo quando o objetivo é apenas realizar uma estimativa do consumo de energia. Contudo uma análise onde os equipamentos fossem analisados em condições iguais seria mais interessante.

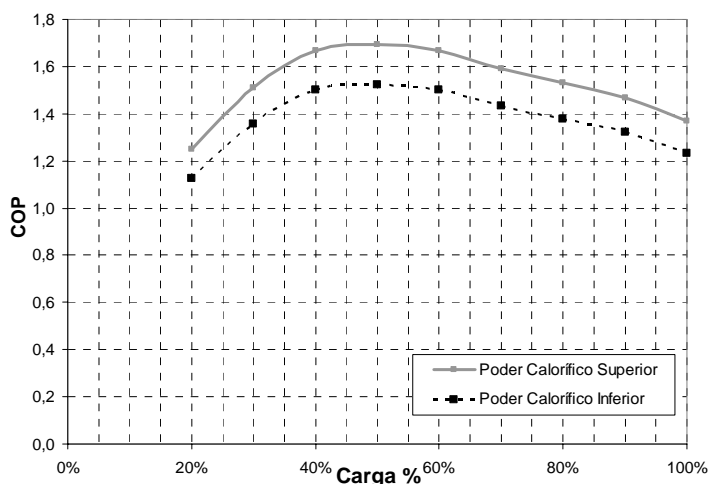


Figura 4.9 - Coeficiente de Performance (COP) x Capacidade de Refrigeração da URL por absorção.

Considerou-se para o cálculo da previsão do consumo de gás natural o poder calorífico inferior da substância, pois este valor representa mais fielmente a energia liberada pelo produto da combustão e aquela aproveitada pela máquina. A Figura 4.10 apresenta o perfil de consumo de combustível (m^3/h) em relação à carga no evaporador (kW) para uma única URL.

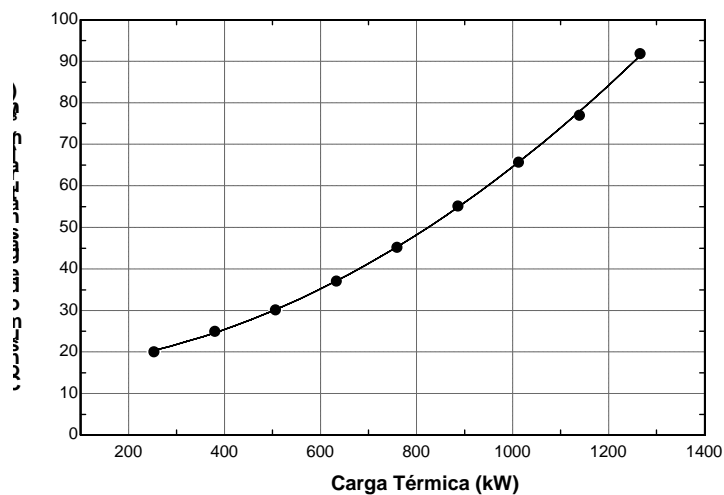


Figura 4.10 – Consumo de Gás Natural por PCI (m^3/h) x Carga no evaporador (kW).

Os pontos apresentados (Figura 4.10) podem ser aproximados à função pela seguinte equação:

$$GN = 15,8367 + 0,0075329 \cdot Q_{ev} + 0,0000411852 \cdot Q_{ev}^2 \quad (4.3)$$

Nota-se na Figura 4.9 que o COP máximo para as cargas parciais está entre 35% e 75%, apresentando um pico em 50%. O comportamento do rendimento deste equipamento é semelhante ao da URL de ciclo de compressão apresentada anteriormente. Tal qual foi mencionado durante a avaliação do equipamento de ciclo por compressão, essa consideração é importante na estimativa de custos, pois o consumo energético diminui quando as máquinas operam no ponto de melhor desempenho. Observando os resultados da simulação da carga térmica anual para as edificações temos que se as três URLs estiverem em funcionamento simultâneo, as mesmas operarão, em média, em torno da carga de 51,31%. Assim, propõem-se uma análise comparativa entre as energias a partir de seus pontos de melhor desempenho. Para tanto será considerado que as três URL's funcionarão sempre simultaneamente, estando, em média, dentro da região de melhor rendimento da máquina.

Aplicando os dados fornecidos pelo fabricante para o caso de 3 (três) URL's em operação simultânea, afim de atender a demanda de carga térmica das edificações e seguindo a proposta de analisá-las na região de melhor eficiência, constrói-se o gráfico representativo do consumo de energia das unidades resfriadoras de líquidos (Figura 4.11). Assim, as informações utilizadas para a construção do gráfico da Figura 4.10 foram multiplicadas por 3 (número de URL's em paralelo) para a estimativa da potência requerida.

Aplicando os dados fornecidos pelo fabricante para o caso de 3 (três) URLs em operação simultânea, afim de atender a demanda de carga térmica das edificações, constrói-se o seguinte gráfico representativo do consumo de energia das unidades resfriadoras de líquidos.

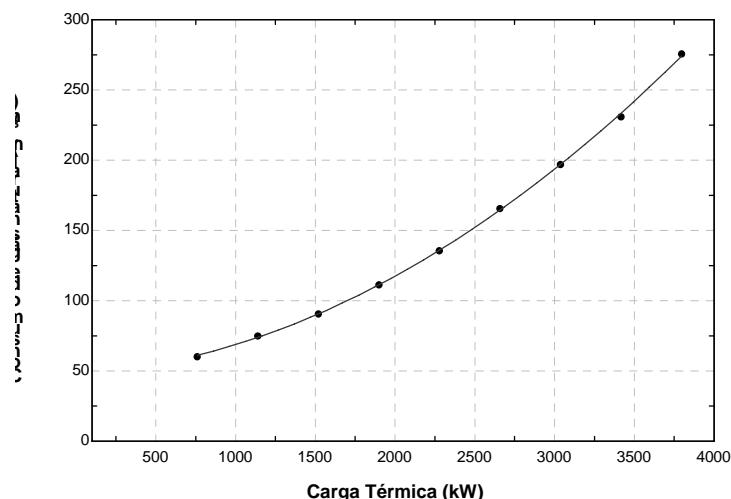


Figura 4.11 - Consumo de Gás Natural por PCI (m³/h) x Carga no evaporador (kW) para as 3 URLs.

Obtém-se a partir do gráfico acima à função que melhor representa o conjunto de pontos obtidos para 3 URLs.

$$GN_{3URL} = 47,51 + 0,0075329 \cdot Q_{ev;ABS3} + 0,0000137284 \cdot Q_{ev;ABS3}^2 \quad (4.4)$$

Tem-se então uma função que relaciona o consumo de gás natural pelos geradores e a carga térmica absorvida nos evaporadores. A partir da simulação da carga térmica da edificação será possível então estimar o consumo de gás natural (m³/h) pelas unidades refrigeradoras de líquido por absorção.

Demais dados e informações sobre o equipamento estão no ANEXO H deste trabalho.

4.2. ELABORAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA

Parte fundamental para a análise é o levantamento do fluxo de caixa. Este por sua vez, será realizado conforme descrito no capítulo 3, levando em consideração todas as características técnicas e econômicas de cada equipamento. Nas próximas seções serão especificados todos os custos referentes ao investimento inicial, custos de manutenção e custos com insumo energético para cada tecnologia, permitindo assim, ao final do capítulo apresentar o fluxo de caixa para as duas tecnologias.

4.2.1. Custos com Investimento inicial

Para o levantamento destes custos foram consultadas duas empresas que forneceram os valores dos equipamentos cotados incluindo todas as despesas com transporte, instalação, adequação do equipamento a central de água gelada. Entretanto para

esta avaliação não serão considerados todos os equipamentos envolvidos no sistema de condicionamento de ar. A cotação não buscou levantar os custos dos equipamentos comuns às duas tecnologias como bombas de água gelada do circuito secundário, *fan-coils*, variadores de frequência dentre outros do sistema de condicionamento de ar.

Tabela 4.2 - Cotação para investimento inicial em URL por compressão.

EQUIPAMENTOS	Quantidade	Mão de Obra	Material	Custo Total (R\$)
URL York. Condensação a água. 1225 kW (350 TR). Modelo: YSDACAS3-CMES (Freire, 2006) ¹⁴	3	75.700,00	330.412,00	1.218.336,00
Moto-bomba de água condensada: Vazão: 232 m ³ /h. Potencia: 22,68 kW. Rendimento: 91% / 0.86 Cos j. WEG (Silveira, 2006).	4	1.800,00	12.000,00	79.338,96
Torre de resfriamento 280 m ³ /h - 875 kW (250 TRs) (Silveira, 2006)	3	7.975,00	47.894,74	240.904,73
Engenharia de projetos (Freire, 2006)	-	-	-	59.414,10
TOTAL (R\$)				1.597.993,79

Tabela 4.3 - Cotação para investimento inicial em URL por absorção (Felamingo, 2006)¹⁵

EQUIPAMENTOS	Quantidade	Mão de Obra	Material	Custo Total (R\$)
URL LS Cable. Ciclo por absorção. Duplo estágio. Fogo direto. Condensação a água. 1265 kW (360 TR). Modelo: LDF-G 036 (Direct Fired High Efficiency).	3	141.666,00	410.000,00	1.654.998,00
Moto-bomba de água condensada: Vazão: 251,9 m ³ /h	4	-	-	410.000,00
Torre de resfriamento 280 m ³ /h – 875 kW (250 TRs)	3	-	-	
Engenharia de projetos, programação, engenharia de campo e comissionamento.	-	-	-	135.000,00
<i>Start-up</i>	-	-	-	24.000,00
TOTAL (R\$)				2.223.998,00

Neste levantamento de preços foi incluso BDI, ICMS e demais impostos. Assim, algumas das empresas cotadas informaram o valor final para cada item já incluídas as alíquotas de impostos incidentes sobre eles.

4.2.2. Custos com manutenção

Manutenção é entendida como o conjunto de atividades técnico administrativas, de natureza preventiva e corretiva, com vistas à preservação da vida útil, sem perda das

¹⁴ Cotado junto a Freire (2006), diretor comercial da empresa fornecedora de URLs por compressão, que informou os valores já inclusos ICMS (12%), BDI, transporte, engenharia de programação do equipamento e *Start up*.

¹⁵ Já inclusos ICMS, demais impostos, BDI, transporte e instalação em Brasília – DF.

características, integridade física, rendimento e ponto ótimo de operação dos equipamentos, instalações, redes, sistemas ou suas partes.

Os custos de manutenção das unidades se diferenciam pela complexidade de cada máquina. Apesar da unidade de resfriamento de líquidos por absorção ser uma máquina mais simples do ponto de vista de projeto, ela requer cuidados especiais e manutenção preventiva e preditiva diferenciada, principalmente devido à natureza corrosiva do Brometo de Lítio quando em contato com o ar.

Pimenta (2006), responsável pela manutenção das URLs, bem como dos demais sistemas condicionadores de ar da PRG, forneceu os dados de custo de manutenção da unidade resfriadora de líquidos. Entretanto, para a análise serão considerados apenas os custos de manutenção que não são comuns aos dois equipamentos. Assim, serão comparadas características de custos de cada URL, ou seja, busca-se avaliar as diferenças entre o fluxo de capital das duas tecnologias.

Na Tabela 4.4 seguem os dados referentes ao custo anual de manutenção preditiva, preventiva e corretiva referentes à unidade resfriadora de líquidos por compressão instalada na Procuradoria Geral da República.

Tabela 4.4 - Custos anuais de manutenção para URLs por compressão (Pimenta, W., 2006).¹⁶

Serviço	Quantidade	Periodicidade ao ano	Custo individual	Custo Anual Total (R\$)
Manutenção Preditiva				
a) Calibração de sensores e controles	3	12		
b) Ajustes da válvula corredeira (slide valve)	3	12	2.200,00	79.200,00
c) Análise ferrográfica do óleo do compressor	3	1		
d) Operação	3	12		
Manutenção Preventiva				
a) Análise de vibrações	3	1	2.000,00	6.000,00
b) Troca anual de óleo de uma das URL	1	1	7.200,00	7.200,00
c) Troca de filtro de óleo	1	1	490,00	490,00
d) Troca de filtros de sucção	2	1	250,00	500,00
e) Troca de filtro seco	1	1	280,00	280,00
f) O'Rings	8	1	230,00	1.840,00
g) Miscelâneas	1	1	2.500,00	2.500,00
Manutenção Corretiva				
a) Gasto anual médio				12.000,00
TOTAL				110.010,00

¹⁶ Estão incluídos nestes valores os impostos e BDI.

O levantamento de custos de manutenção para a unidade resfriadora de líquidos por absorção foi pesquisado junto a Felamingo (2006). Foi fornecido o valor do pacote de manutenção preventiva, preditiva e corretiva no qual contém a lista de serviços apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5- Custos anuais de manutenção para URLs por absorção (Felamingo, 2006).¹⁷

Serviço	Quantidade	Periodicidade Anual	Custo mensal (R\$)	Custo Anual (R\$)
Manutenção Preditiva				
a) Verificação e execução, se necessário, da operação de Blow Down, ou separação do Brometo de Lítio da água refrigerante	3	12		
b) Verificação e eliminação dos gases incondensáveis do sistema de purga	3	12		
c) Verificação do nível de vácuo	3	12		
d) Medição das temperaturas e diferencial de pressão da água na entrada e saída dos condensadores;	3	12		
e) Medição e avaliação das temperaturas e diferenciais de pressões inerentes ao sistema de água gelada e condensação;	3	12		
f) Análise por absorção atômica da concentração de Li ₂ (MoO ₄) (Molibidato de Lítio), Cu (Cobre) total e de Fe (Ferro) total	3	2		
Manutenção Preventiva			6.800,00	81.600,00
a) Manutenção, inspeção e limpeza da bomba de purga, solução e refrigerante;	3	12		
b) Limpeza do dreno dos gases de exaustão dos equipamentos;	3	12		
c) Adicionar líquido inibidor (Molibidato de Lítio) ou Ácido Bromídrico (ou Hidróxido de Lítio), se necessário, após a conclusão das análises químicas);	3	2		
d) Ajuste da vazão de gás natural e ar para manutenção da eficiência da combustão; medida e análise da composição dos gases de exaustão se necessário	3	12		
e) Inspeção, teste de falha na chama do queimador de gás natural;	3	12		
f) Verificação e reajuste das variáveis pré-fixadas no “micro-processador”	3	12		
g) Operação: ligar, desligar máquina, leituras, acompanhamento técnico.				
Manutenção corretiva				
a) Gasto anual médio				10.000,00
TOTAL				91.600,00

¹⁷ Estão incluídos nestes valores impostos e BDI.

4.2.3. Custos com insumo energético

O levantamento de dados para os custos com insumos energéticos é um dos pontos mais importantes desta análise. Este é o momento em que se confrontam os dois tipos de insumos energéticos – energia elétrica e gás natural. Por se tratar do insumo de maior valor e mais significativo num fluxo de caixa, o capital consumido pela matriz energética tem alto grau de influência na tomada de decisão, podendo assim direcionar o equipamento a ser selecionado.

Com o fim de tornar o levantamento do custo com consumo de energia equilibrado toma-se como dado inicial o perfil da carga térmica da edificação. Como ferramenta para a simulação utilizou-se software *EnerPlus*. Este permite realizar a estimativa da carga térmica simulando o perfil de carga térmica para o período desejado.

Assim, definindo os horários de funcionamento das unidades de resfriamento de líquidos foi simulada a carga térmica para 3120 horas. Este período corresponde ao tempo de funcionamento dos equipamentos em um ano, desconsiderados os períodos noturnos e finais de semana. Para tanto foram levantadas algumas informações para a realização da simulação. Seguem nas planilhas abaixo alguns parâmetros para a realização da simulação, considerações e dados obtidos junto à administração de engenharia da Procuradoria Geral da República¹⁸.

Tabela 4.6 – Consideração para simulação da carga térmica.

Considerações	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D	Bloco E	Bloco F
Funcionamento	8 as 20 hs	8 as 20 hs	8 as 20 hs	11 as 15 hs	8 as 20 hs	8 as 20 hs
Área de piso considerada	10745 m ²	10745 m ²	1808 m ²	800 m ²	715 m ²	480 m ²
Potência dissipada pela iluminação	300 kW	300 kW	19,7 kW	15 kW	42,5 kW	20 kW
Número de máximo de pessoas	1.632	1.632	420	400	715	480
Potência dissipada por equipamentos diversos	250 kW	250 kW	15 kW	30 kW	30 kW	20 kW
Sombreamento por outros prédios	Bloco B	Bloco A	-	-	Bloco B	Marquise da cobertura

Assumindo estas considerações simulou-se a carga térmica para os 6 (seis) blocos. Apresenta-se na Figura 4.12 o perfil anual de carga térmica para as 3120 horas de funcionamento do órgão público.

¹⁸ 1) Não foi considerada carga térmica nos finais de semana para nenhuma edificação.

2) Para cada bloco foi aplicado agendamentos (*schedules*) diferentes de funcionamento para ocupação, iluminação e equipamentos.

3) A temperatura interna do recinto condicionado para todos os blocos foi de 23 °C.

Neste estudo de caso, utilizou-se o sistema de condicionamento tipo *Compact HVAC: Purchased Air*. Este sistema é o mais simples para fins de análise de carga térmica do edifício. Outros sistemas implicam na criação de redes de distribuição de ar e água e da inserção de diversas variáveis, tais como curvas de desempenho e dados dos trocadores de calor existentes no sistema. O sistema tipo *Purchased Air*, como a tradução indica, significa a compra pelo condicionamento do ambiente, porém não se compra diretamente o ar frio, mas sim a água gelada, medida de alguma forma em unidade de volume.

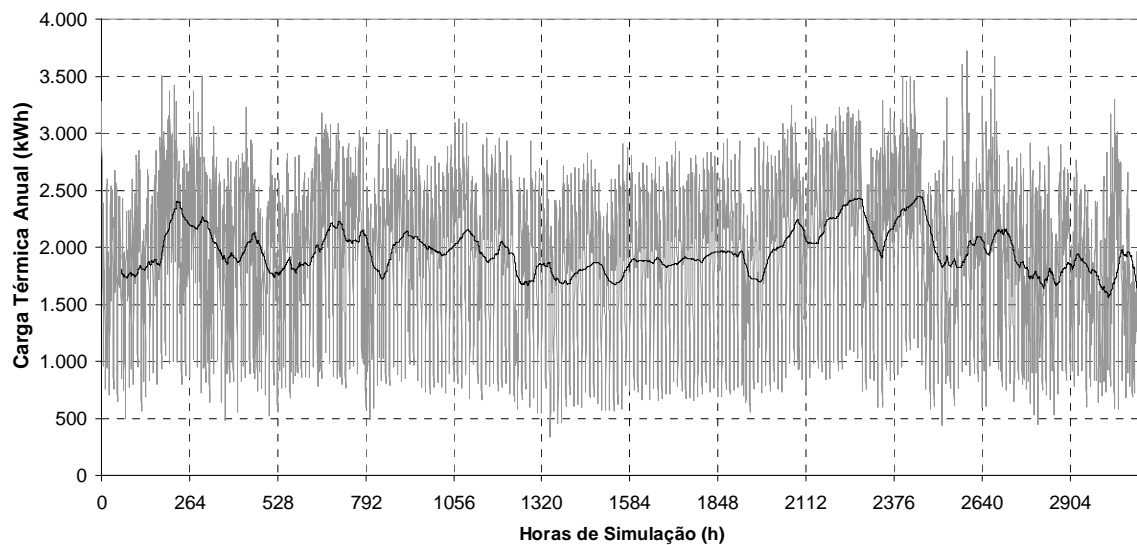


Figura 4.12 - Carga térmica anual do conjunto de edificações da Procuradoria Geral da República.

Este resultado é compatível com a realidade das URLs instaladas. O atual equipamento suporta uma carga de 3.691 kW enquanto a simulação alcançou um valor máximo de 3.742 kW, muito próxima ao valor das máquinas hoje instaladas. O perfil definido no projeto apresenta uma demanda característica para uma condição típica de verão (mês de Janeiro) em Brasília, concentrada no período de 09:00 às 22:00, atingindo um valor máximo de 5.054 kW (1437 TR) às 17:00, conforme a Figura 4.13. Este valor ultrapassa as necessidades reais da edificação, estando o projeto superdimensionado. Desta maneira, o sistema de termoacumulação é desnecessário quando a justificativa de sua implantação é de alcançar o conforto térmico não proporcionado pelos chillers, pois as URLs conseguem fornecer ao ambiente a refrigeração necessária.

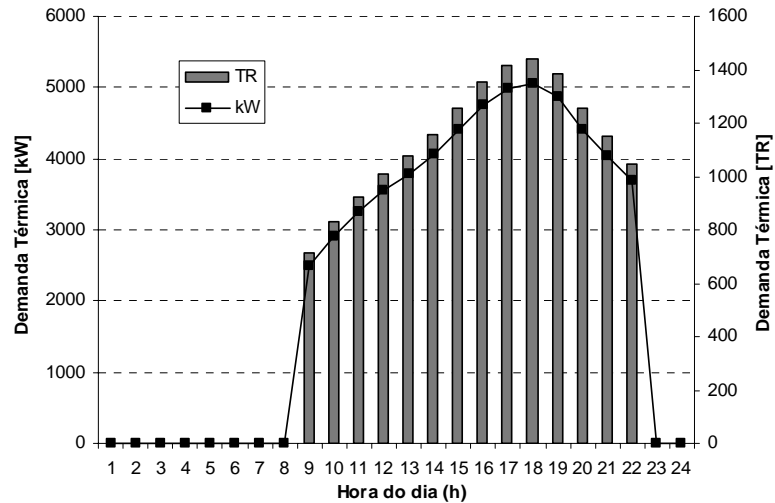


Figura 4.13 - Demanda térmica de projeto calculada para a PGR em condição de verão (Pimenta et al, 2004).

4.2.3.1 Cálculo do consumo e custos com energia das URLs por compressão

Depois de realizada a simulação estimou-se o consumo de energia elétrica pelas URLs por compressão a partir da equação (4.2), calculando assim a energia elétrica requerida pelas máquinas durante as 3120 horas operacionais no período de um ano conforme a Figura 4.14:

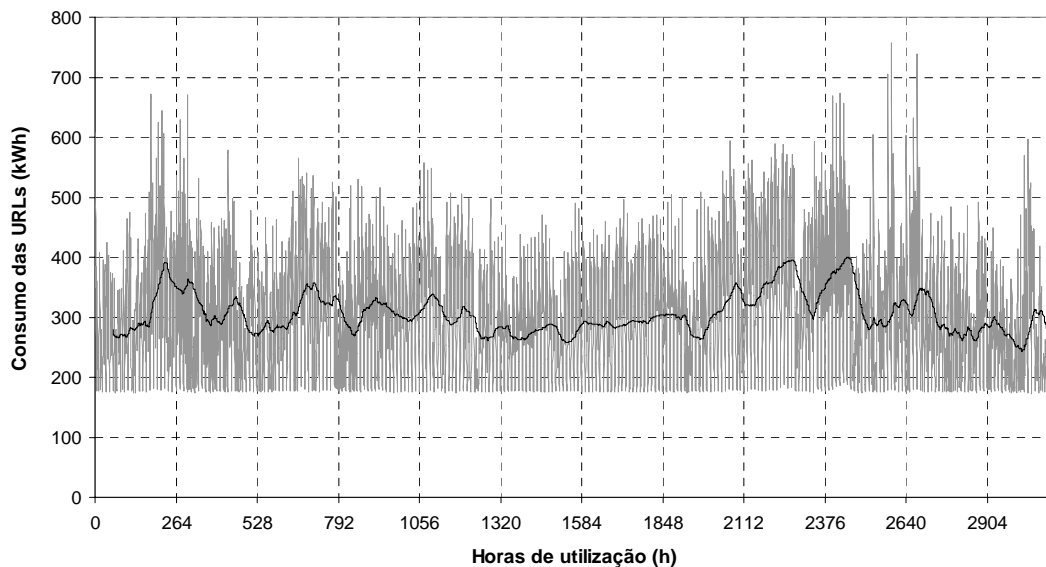


Figura 4.14 - Consumo de energia elétrica durante 3120 horas de operação das URLs.

Outro ponto importante a ser considerado é a tarifação diferenciada da energia elétrica. Esta situação coloca o imperativo de se conhecer o consumo de energia da URL de compressão em horários e meses diferenciados. Destarte, a simulação da carga térmica

também foi executada tendo como dados de saída as cargas térmicas para o período seco e úmido, dentro ou fora do horário de ponta separadamente.

Cada um dos períodos descritos acima possui tarifação diferenciada. A Procuradoria Geral da República tem contrato de abastecimento de energia do tipo Horosazonal Verde. A tarifação da companhia fornecedora de energia elétrica está no Anexo A deste trabalho. A Procuradoria Geral da República se enquadra na tarifa do tipo “AS – Poder Público”, ou seja, faz parte do Poder Público e é abastecida de energia por conexões subterrâneas.

Feitas estas considerações, a simulação foi realizada para o conjunto de edificações considerando quatro situações de período e horário.

1. Período seco fora de ponta (maio a novembro, de 8 hs às 20 hs);

Tabela 4.7 - Consumo de energia e custo respectivo para o período seco fora de ponta.

Período Seco (Maio a novembro): Fora de Ponta		
	Consumo URL (kWh)	Custo URL (R\$)
Jan		
Fev		
Mar		
Abr		
Mai	74.418,21	14.441,42
Jun	64.217,30	12.461,86
Jul	65.695,79	12.748,77
Ago	76.378,30	14.821,79
Set	78.975,72	15.325,84
Out	80.897,15	15.698,71
Nov	68.815,92	13.354,25
Dez		

2. Período seco em hora de ponta (maio a novembro, de 18 h às 20 h);

Tabela 4.8 - Consumo de energia e custo respectivo para o período seco em hora de ponta.

Período Seco (Maio a novembro): Ponta		
	Consumo URL (kWh)	Custo URL (R\$)
Jan		
Fev		
Mar		
Abr		
Mai	8.408,84	8.175,41
Jun	7.863,84	7.645,54
Jul	7.587,84	7.377,20
Ago	8.415,16	8.181,55
Set	7.989,14	7.767,36
Out	8.344,11	8.112,47
Nov	7.710,25	7.496,21
Dez		

3. Período úmido fora de ponta (dezembro a abril, de 8 hs às 20 hs);

Tabela 4.9 - Consumo de energia e custo respectivo para o período úmido fora de ponta.

Período Úmido (Dezembro a Abril): Fora de Ponta		
	Consumo URL (kWh)	Custo URL (R\$)
Jan	73.275,70	12.912,36
Fev	66.672,93	11.748,84
Mar	78.486,65	13.830,61
Abr	64.623,95	11.387,78
Mai	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00
Set	0,00	0,00
Out	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00
Dez	61.077,08	10.762,76

4. Período seco em hora de ponta (dezembro a abril, de 18 h às 20 h).

Tabela 4.10 - Consumo de energia e custo respectivo para o período úmido em hora de ponta.

Período Úmido (Dezembro a Abril): Ponta		
	Consumo URL (kWh)	Custo URL (R\$)
Jan	8.322,58	7.839,78
Fev	7.549,04	7.111,11
Mar	8.669,05	8.166,15
Abr	7.371,02	6.943,42
Mai	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00
Set	0,00	0,00
Out	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00
Dez	7.758,30	7.308,24

Calculados todos estes valores para cada período e horário é possível obter o custo do consumo anual de energia elétrica. Devem-se considerar também os custos com a demanda de energia, que também compõe o custo mensal. Para o caso destas URLs considerou-se que a potência máxima alcançada designaria o valor utilizado para o cálculo da demanda contratada. Esta é uma prática comum entre os gestores de contratos. Desta forma evita-se o pagamento de multas por ultrapassagem da demanda além do aumento da tarifa que é 300% maior, conforme a Tabela A.2 nos Anexos do trabalho. Segundo a tarifação Horo-sazonal Verde para o grupo “AS”, aquela utilizada atualmente pela Procuradoria Geral da República, o custo da demanda é de R\$ 15,4238275/kW. De acordo

com as estimativas obtidas nos cálculos que geraram a Figura 4.14 a potência máxima alcançada pela máquina ocorreu no dia 31/10 à 9 horas, quando a mesma alcançou 755,1986kW. Assim, multiplicando estes valores ($R\$15,4238275/kW \times 755,1986kW$), conforme o cálculo para a demanda contratada apresentada pela companhia de energia elétrica (CEB, 2006), tem-se o custo mensal de demanda que é de R\$ 11.648,0525. Calcula-se então o custo anual relativo ao consumo e a demanda de energia elétrica segundo a Tabela 4.11 e representada também na Figura 4.15.

Tabela 4.11 – Custo de energia elétrica mensal (URLs).

Meses	Consumo + Demanda (R\$)
Jan	32.400,1949
Fev	30.508,0090
Mar	33.644,8153
Abr	29.979,2538
Mai	34.264,8842
Jun	31.755,4448
Jul	31.774,0182
Ago	34.651,3931
Set	34.741,2518
Out	35.459,2329
Nov	32.498,5153
Dez	29.719,0587
Total	391.396,0723

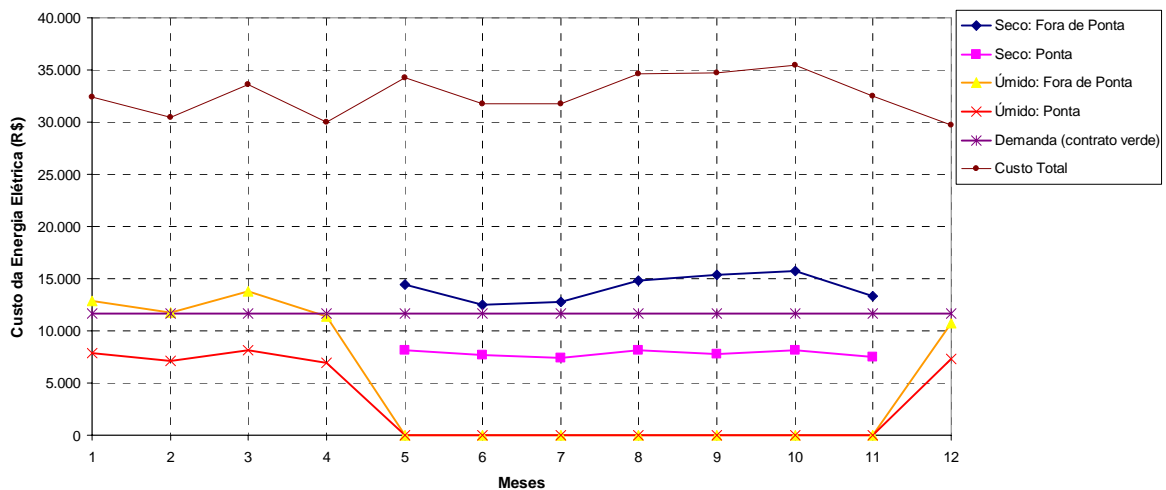


Figura 4.15 – Custo mensal de energia elétrica das URLs

4.2.3.2 Cálculo do consumo e custos com energia das URLs por absorção.

Tendo estimado a carga térmica da edificação calculou-se diretamente a quantidade de combustível requerida pelas unidades resfriadoras de líquido por absorção para atender a demanda térmica de refrigeração a partir da equação (4.4) durante as 3120 horas operacionais do período de um ano. Para este cálculo considerou-se o poder calorífico

inferior do gás natural (36,27 MJ/Nm³ ou 8.664 kcal/Nm³) fornecido pela Companhia de Gás de São Paulo (COMGAS). A Figura 4.16 apresenta o perfil de consumo anual das três unidades resfriadoras de líquido modelo *LDF-G036S*. A partir das informações obtidas é possível calcular o custo da utilização do gás natural como insumo energético.

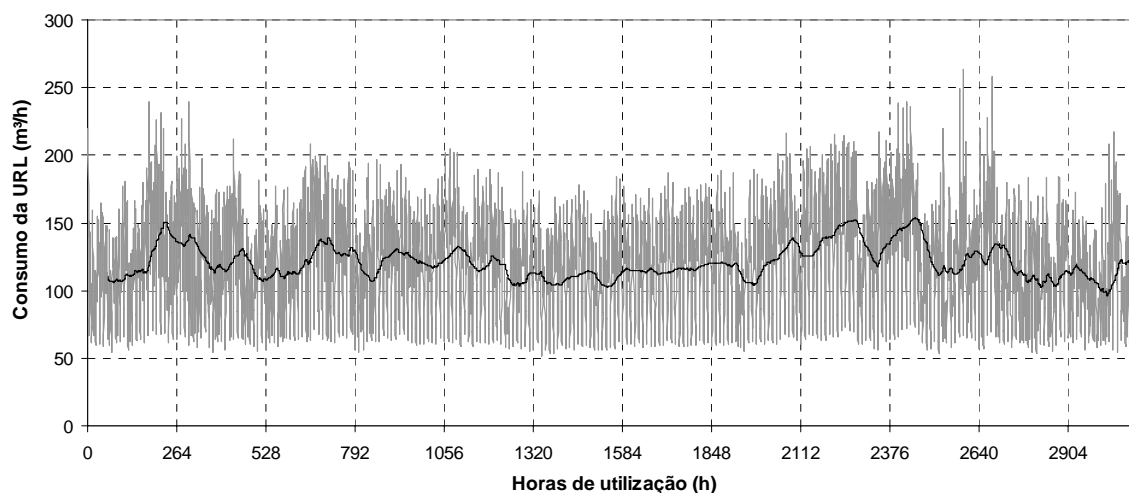


Figura 4.16 - Consumo de gás natural durante 3120 horas de operação da URL por absorção.

A Tabela 4.12 apresenta a estimativa de consumo mensal de combustível necessária para o cálculo da demanda contratada.

Tabela 4.12 – Consumo mensal de gás natural.

Meses	Consumo (m ³ /mês)
Jan	32.116,8773
Fev	29.188,6942
Mar	34.312,8760
Abr	28.543,1947
Mai	32.726,4171
Jun	28.618,9133
Jul	29.076,9082
Ago	33.442,8608
Set	33.906,4008
Out	34.798,1911
Nov	30.173,8582
Dez	27.240,8827

A tarifação do gás natural tem por base o “serviço pelo custo”, que tem por objetivo proporcionar à empresa concessionária a recuperação dos custos incorridos na prestação do

serviço. Deve ser adicionada a tarifa uma taxa de retorno sobre o investimento (Melo, 2002).

A determinação do preço pressupõe a venda do produto pelo custo direto de produção, englobando o custo do transporte, a operação e a manutenção do sistema de distribuição, a depreciação, mais a remuneração dos investimentos (ANP, 2002).

O método de tarifação utilizado pela maioria das companhias fornecedoras de gás natural é simplificado, não havendo valor diferenciado para períodos do ano, tão pouco para horários do dia. Porém, a Companhia Energética Brasileira de Gás (CEBGAS) ainda não possui o valor das tarifas, pois as mesmas dependem ainda de estudos e avaliações dos critérios impostos pela ANP e dos impostos relativos à venda do combustível.

Portanto, para uma avaliação inicial e não definitiva - pois ainda não há um mercado de gás natural em Brasília - os custos da utilização do gás natural serão obtidos através das tarifas referentes a companhia fornecedora de gás do estado de São Paulo.

De acordo com os cálculos realizados o equipamento por absorção se situa na classe 6 (seis) apresentada na Tabela 4.13. Tem-se, portanto o valor fixo (R\$ 3.809,00) e o custo do metro cúbico consumido de gás natural (R\$ 1,208434/m³) incluído o ICMS de 12%.

Tabela 4.13 – Estrutura tarifária para consumo de gás natural (COMGAS, 2006)

<i>Segmento Industrial</i> ¹⁹					
Classe	m ³ /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo R\$/mês	Variável R\$/m ³	Fixo R\$/mês	Variável R\$/m ³
1	Até 5,00 m ³	17,92	0	20,36	0
2	5,01 a 50,00 m ³	1,71	3,051595	1,94	3,467722
3	50,01 a 130,00 m ³	26,97	2,556838	30,65	2,905498
4	130,01 a 1.000,00 m ³	126,91	1,795509	144,22	2,040351
5	1.000,01 a 5.000,00 m ³	237,56	1,685105	269,95	1,914892
<u>6</u>	<u>5.000,01 a 50.000,00 m³</u>	<u>3.352,10</u>	<u>1,063422</u>	<u>3.809,20</u>	<u>1,208434</u>
7	50.000,01 a 300.000,00 m ³	20.112,54	0,728224	22.855,16	0,827527
8	300.000,01 a 500.000,00 m ³	33.520,90	0,68349	38.091,93	0,776693
9	500.000,01 a 1.000.000,00 m ³	40.225,08	0,670064	45.710,32	0,761436
10	1.000.000,01 a 2.000.000,00 m ³	60.337,64	0,649953	68.565,50	0,738583
11	Acima de 2.000.000,00 m ³	80.450,18	0,63995	91.420,66	0,727216

¹⁹ As tarifas do segmento industrial são utilizadas também para os cálculos para o poder público.

O método de Cálculo da Fatura (CF) é determinado pela equação (4.5) (COMGAS, 2006):

$$CF = F + (CM \times V), \quad (4.5)$$

onde:

F = Valor do Encargo Fixo.

CM = Consumo Mensal Medido em m³.

V = Valor do encargo variável.

Desta maneira, calculou-se o consumo de gás natural pelas unidades por absorção apresentado na Tabela 4.14 e Figura 4.17.

Tabela 4.14 – Custo mensal do consumo de gás natural.

Meses	Consumo (m ³ /h)	Custo (R\$)
Jan	32.116,8773	42.620,3265
Fev	29.188,6942	39.081,8104
Mar	34.312,8760	45.274,0460
Abr	28.543,1947	38.301,7670
Mai	32.726,4171	43.356,9151
Jun	28.618,9133	38.393,2679
Jul	29.076,9082	38.946,7245
Ago	33.442,8608	44.222,6901
Set	33.906,4008	44.782,8476
Out	34.798,1911	45.860,5173
Nov	30.173,8582	40.272,3162
Dez	27.240,8827	36.728,0089
TOTAL ANUAL		497.841,2373

A partir da tabela construí-se o seguinte perfil de custos com o combustível²⁰ (Figura 4.17).

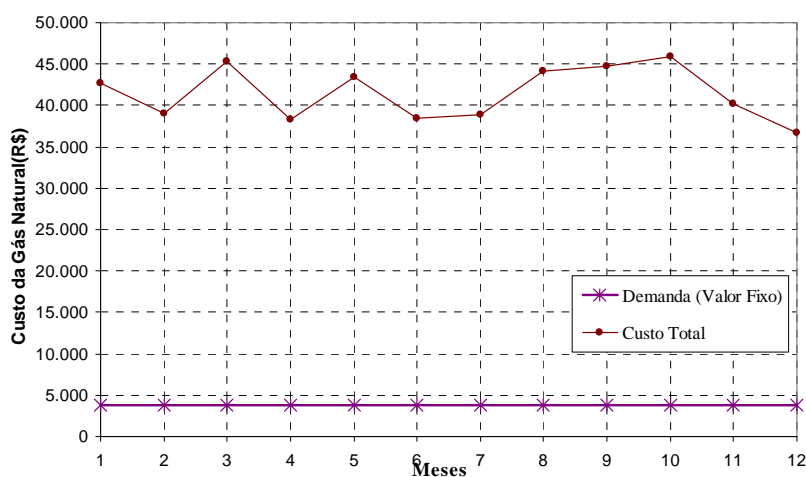


Figura 4.17 – Perfil dos custos mensais com gás natural.

²⁰ Neste levantamento de custos com energia não foram consideradas as bombas de solução de H₂O/LiBr. Conforme pode ser observado no Anexo I, a potência requerida por elas é pequena, não provocando, conseqüentemente, prejuízo ao fluxo de caixa.

5. APRESENTAÇÃO DE CENÁRIOS E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresentará os resultados obtidos através da metodologia descrita no capítulo 3 utilizando-se dos dados apresentados no capítulo 4. Assim, serão avaliados aqui todos os critérios de análise necessários para conduzir a decisão sobre a viabilidade ou não do equipamento de refrigeração por absorção.

No capítulo 4 foram levantados todos os dados relativos aos custos do equipamento de refrigeração por compressão e absorção utilizando-se de dados climáticos da região de Brasília, consumo de energia elétrica, custos de manutenção, investimento inicial e outros. Entretanto, devido a não existência de tarifas para a utilização do gás natural em Brasília, o levantamento do custo de consumo de gás natural foi estimado a partir dos valores apresentados por companhia fornecedora de gás natural do estado de São Paulo. Tal companhia pratica tarifas elevadas. Este cenário adequa-se perfeitamente à proposta de se avaliar o comportamento da viabilidade econômica num cenário desfavorável em relação ao preço do gás natural. Este é então o primeiro cenário a ser apresentado nesta avaliação econômica.

O segundo cenário consiste da aplicação da análise quando o custo do gás natural atinge um valor intermediário. Para tanto, utilizou-se a tarifação de companhia fornecedora de gás natural do estado de Santa Catarina.

Por fim, avaliou-se no terceiro cenário, a viabilidade do equipamento por absorção com baixo preço do energético, utilizando-se da cotação do gás no estado do Rio de Janeiro.

A variação dos custos do insumo energético foi um dos fatores considerados na análise de sensibilidade conforme os cenários apresentados a seguir. Outro fator avaliado na análise de sensibilidade foi a taxa de desconto que se demonstrou determinante em alguns casos, segundo os gráficos da Taxa Interna de Retorno apresentados nas seções seguintes. Estes dois critérios analisados indicam os parâmetros cuja variação mais influencia a eficiência econômica do empreendimento.

5.1. ANÁLISE DO FLUXO DE CAIXA DA URL POR CICLO DE COMPRESSÃO.

Depois de levantados todos os custos relativos a esta tecnologia construíram-se os fluxos de caixa e calculou-se, conforme a metodologia do capítulo 3, todos os critérios de avaliação econômica desta tecnologia. Apresenta-se na Tabela 5.1 os dados iniciais obtidos a partir do fluxo de caixa.

Tabela 5.1 – Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por compressão.

Fluxo _{ano}	Fluxo 1	Fluxo 2	Fluxo de Caixa Total (R\$)	$\frac{F_n}{(1+i)^n}$	$VAL = \sum_n \frac{F_n}{(1+i)^n}$
F ₀	-1.597.993,79	0,00	-1.597.993,79	-1.597.993,79	-1.597.993,79
F ₁	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-437.909,23	-2.035.903,03
F ₂	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-382.453,48	-2.418.356,50
F ₃	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-334.020,51	-2.752.377,01
F ₄	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-291.720,97	-3.044.097,98
F ₅	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-254.778,14	-3.298.876,11
F ₆	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-222.513,66	-3.521.389,77
F ₇	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-194.335,07	-3.715.724,84
F ₈	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-169.724,95	-3.885.449,79
F ₉	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-148.231,40	-4.033.681,19
F ₁₀	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-129.459,74	-4.163.140,93
F ₁₁	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-113.065,27	-4.276.206,20
F ₁₂	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-98.746,96	-4.374.953,16
F ₁₃	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-86.241,89	-4.461.195,05
F ₁₄	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-75.320,43	-4.536.515,48
F ₁₅	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-65.782,03	-4.602.297,51
F ₁₆	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-57.451,56	-4.659.749,07
F ₁₇	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-50.176,03	-4.709.925,10
F ₁₈	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-43.821,86	-4.753.746,96
F ₁₉	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-38.272,37	-4.792.019,33
F ₂₀	0,00	-501.406,07	-501.406,07	-33.425,65	-4.825.444,98
R ₂₀	35.000,00	0,00	35.000,00	2.333,23	-4.823.111,75

A partir dos dados apresentados calculou-se, tendo como base a metodologia proposta, os custos atuais líquidos (CAL) e os custos uniformes líquidos (CUL) para os fluxos de caixa da Tabela 5.1. A taxa de retorno utilizada foi de 14,5%, um pouco inferior à taxa SELIC do mês de agosto de 2006, 14,66% (Banco Central, 2006).

Tabela 5.2 – Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por compressão.

Custo Atual Líquido (R\$)		Custo Uniforme Líquido (R\$)	
CAL 1	1.595.660,56	CUL 1	248.621,48
CAL 2	3.227.451,19	CUL 2	501.406,07
CAL Total	4.823.111,75	CUL Total	750.027,55

Tem-se com estes dados o valor do custo-benefício da unidade resfriadora de líquidos por compressão quando é aplicada a mesma taxa de desconto de 14,5%. Considerou-se, conforme proposto na metodologia, que o benefício oferecido pelo resfriador de líquido é a superação da carga térmica do edifício, trazendo assim, conforto aos seus usuários. A simulação realizada pelo software EnergyPlusTM v1.2.3 (DOE, 2005) para a Procuradoria Geral da República apresentou que, ao final de um ano, integrando os valores da Figura 4.12, a carga térmica anual acumulada é de 6.079.289,9502 kWh. Portanto, dividindo o custo uniforme líquido total pela carga térmica anual chega-se a razão custo-benefício de:

$$C / B = 0,1234R\$ / kWh$$

A partir destas informações sobre o fluxo de caixa da unidade resfriadora de líquidos por compressão será possível avaliar e comparar os demais resultados como a taxa interna de retorno, tempo de recuperação descontado e custo benefício nos cenários a serem apresentados nas próximas seções.

5.2. CENÁRIO 1: PREÇO DO GÁS NATURAL ELEVADO.

Este cenário foi construído a partir da utilização das tarifação do gás natural de companhia fornecedora de gás do estado de São Paulo (Tabela 4.19). Então, a partir desta consideração e dos custos levantados no capítulo 4 construiu-se o fluxo de caixa apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por absorção no cenário 1.

Fluxo _{ano}	Fluxo 1 (R\$)	Fluxo 2 (R\$)	Fluxo de Caixa Total (R\$)	$\frac{F_n}{(1+i)^n}$	$VAL = \sum_n \frac{F_n}{(1+i)^n}$
F ₀	-2.223.998,00	0,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00
F ₁	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-514.795,84	-2.738.793,84
F ₂	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-449.603,35	-3.188.397,19
F ₃	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-392.666,68	-3.581.063,88
F ₄	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-342.940,34	-3.924.004,22
F ₅	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-299.511,21	-4.223.515,43
F ₆	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-261.581,84	-4.485.097,27
F ₇	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-228.455,76	-4.713.553,03
F ₈	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-199.524,68	-4.913.077,71
F ₉	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-174.257,36	-5.087.335,07
F ₁₀	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-152.189,84	-5.239.524,91
F ₁₁	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-132.916,89	-5.372.441,79
F ₁₂	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-116.084,62	-5.488.526,41
F ₁₃	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-101.383,95	-5.589.910,36
F ₁₄	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-88.544,93	-5.678.455,29
F ₁₅	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-77.331,82	-5.755.787,10
F ₁₆	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-67.538,70	-5.823.325,81
F ₁₇	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-58.985,77	-5.882.311,58
F ₁₈	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-51.515,96	-5.933.827,53
F ₁₉	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-44.992,10	-5.978.819,63
F ₂₀	0,00	-589.441,24	-589.441,24	-39.294,41	-6.018.114,04
R ₂₀	25.000,00	0,00	25.000,00	1.666,60	-6.016.447,45

Tendo como base a Tabela 5.3 calcularam-se os custos atuais líquidos (CAL) e os custos uniformes líquidos (CUL). A taxa de retorno utilizada foi de 14,5%, um pouco inferior à taxa SELIC do mês de agosto de 2006, 14,66% (Banco Central, 2006). Na Tabela 5.4 confrontam-se os resultados do equipamento por absorção e compressão para avaliação.

Tabela 5.4 - Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por absorção no cenário 1.

	URL Absorção	URL Compressão
	Custo Atual Líquido (R\$)	Custo Atual Líquido (R\$)
CAL 1	2.222.331,40	1.595.660,56
CAL 2	3.794.116,04	3.227.451,19
CAL Total	6.016.447,45	4.823.111,75
	Custo Uniforme Líquido (R\$)	Custo Uniforme Líquido (R\$)
CUL 1	345.771,84	248.621,48
CUL 2	589.441,24	501.406,07
CUL Total	935.213,08	750.027,55
	Custo/Benefício (R\$/kWh)	Custo/Benefício (R\$/kWh)
	0,1538	0,1234

O custo-benefício é determinado pela razão entre o custo uniforme líquido total (CUL_{Total}) e a carga térmica anual acumulada determinada pela simulação computacional (6.079.289,9502 kWh). Estimou-se o custo-benefício para a mesma taxa de desconto de 14,5% conforme verificado na tabela.

Verifica-se na Tabela 5.4 que a tecnologia de condicionamento de ar por absorção é financeiramente inferior à tecnologia de compressão para este cenário. As URLs por absorção apresentam custos atuais e uniformes líquidos superiores aos da tecnologia concorrente. Significa dizer que, trazidos os custos totais das máquinas durante sua vida útil para o momento presente, o equipamento de ciclo por absorção apresenta custos maiores que aquele de ciclo por compressão. Estes resultados, especialmente a avaliação do custo-benefício, levam a conclusão lógica que o investimento não proporciona economia, conseqüentemente não retorna o investimento realizado. Isto se deve ao custo inicial da instalação, bem como da elevada tarifa de gás natural aplicada neste cenário. Outro ponto favorável é a alta eficiência da URL de compressor parafuso, seu coeficiente de desempenho (COP) elevado favorece a economia de energia elétrica.

5.2.1. Análise de sensibilidade no cenário 1.

Os resultados apresentados são favoráveis à utilização do ciclo por compressão em detrimento ao de absorção. Contudo é possível avaliar a sensibilidade deste resultado em relação à taxa interna de retorno. Aplicando-se uma variação deste parâmetro de 1% até 100% anuais observa-se o comportamento das duas curvas que é conclusivo para análise de viabilidade das tecnologias.

A figura 5.1 apresenta os diversos resultados para o valor atual líquido para diferentes taxas de desconto. Verifica-se que a curva de compressão se encontra sempre

acima da curva de absorção, demonstrando que a qualquer taxa de desconto aplicada à tecnologia de compressão apresenta custos atuais líquidos inferiores. Contudo, em nenhuma das hipóteses de taxa de desconto as unidades resfriadoras por absorção são viáveis segundo o critério da taxa interna de retorno.

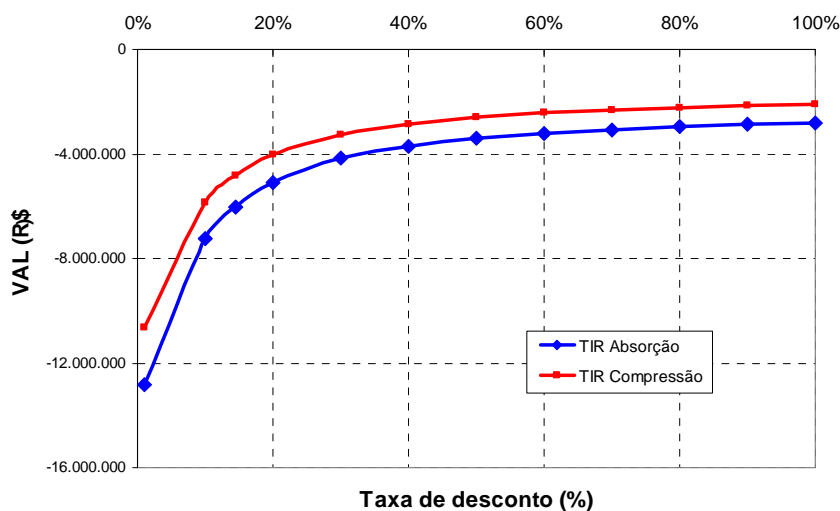


Figura 5.1 – Avaliação da Taxa Interna de Retorno no cenário 1.

A sensibilidade à taxa de desconto possui forte influência ao custo-benefício, assim também foi considerada sua suscetibilidade a este fator conforme o gráfico a seguir (Figura 5.2). Portanto, a variação desta taxa determina diretamente a eficiência econômica do empreendimento.

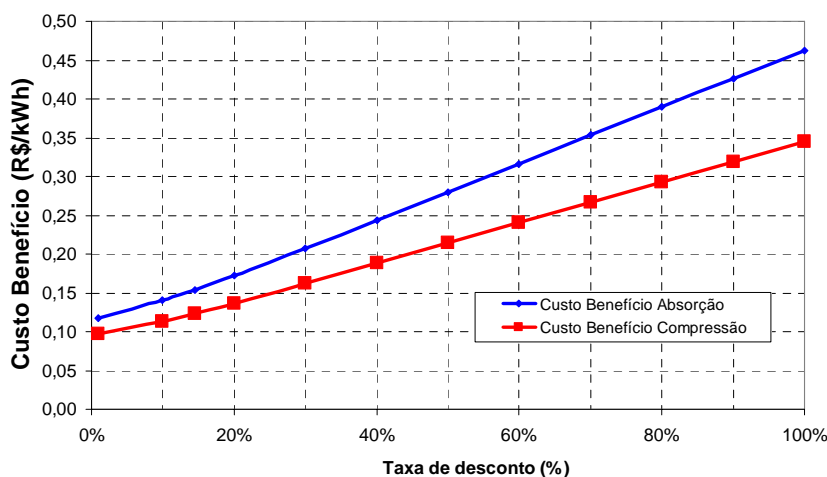


Figura 5.2 – Avaliação do Custo-Benefício e a Taxa Interna de Retorno no cenário 1.

A Figura 5.2 apresenta então os diversos resultados do custo-benefício para as taxas de desconto propostas. Conforme o gráfico, a curva representativa do equipamento por absorção é sempre superior. Portanto, o preço pago por quilowatt pelas URLs por absorção

- considerando todos os custos, inclusive investimentos e manutenção – é sempre superior àquele das URLs de compressão, não importando qual seja a taxa de desconto.

Desta forma, conforme apresentada neste cenário, a substituição das unidades resfriadoras de líquidos por absorção não é viável nas hipóteses apresentadas.

5.3. CENÁRIO 2: PREÇO DO GÁS NATURAL INTERMEDIÁRIO.

Este cenário foi construído a partir da utilização das tarifação do gás natural de companhia fornecedora de gás do estado de Santa Catarina (Tabela A.3). Então, a partir desta consideração e dos custos levantados no capítulo 4 construiu-se o fluxo de caixa apresentado na Tabela 5.5. Neste caso, pelo fato da tecnologia de ciclo por absorção apresentar um custo-benefício inferior, será apresentado também o fluxo de caixa relativo, aquele que apresenta as economias mensais entre os custos de energia e manutenção das tecnologias.

Tabela 5.5 - Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por absorção no cenário 2.

Fluxo _{ano}	Fluxo 1 (R\$)	Fluxo 2 (R\$)	Fluxo de Caixa Total (R\$)	$\frac{F_n}{(1+i)^n}$	$VAL = \sum_n^{n=0} \frac{F_n}{(1+i)^n}$	Fluxo de Caixa Relativo (R\$)
F ₀	-2.223.998,00	0,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00
F ₁	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-428.052,97	-2.652.050,97	11.285,43
F ₂	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-373.845,38	-3.025.896,35	11.285,43
F ₃	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-326.502,52	-3.352.398,87	11.285,43
F ₄	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-285.155,04	-3.637.553,91	11.285,43
F ₅	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-249.043,70	-3.886.597,61	11.285,43
F ₆	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-217.505,42	-4.104.103,03	11.285,43
F ₇	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-189.961,06	-4.294.064,09	11.285,43
F ₈	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-165.904,86	-4.459.968,95	11.285,43
F ₉	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-144.895,07	-4.604.864,02	11.285,43
F ₁₀	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-126.545,91	-4.731.409,93	11.285,43
F ₁₁	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-110.520,45	-4.841.930,38	11.285,43
F ₁₂	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-96.524,41	-4.938.454,79	11.285,43
F ₁₃	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-84.300,79	-5.022.755,59	11.285,43
F ₁₄	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-73.625,15	-5.096.380,74	11.285,43
F ₁₅	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-64.301,44	-5.160.682,18	11.285,43
F ₁₆	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-56.158,46	-5.216.840,64	11.285,43
F ₁₇	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-49.046,69	-5.265.887,33	11.285,43
F ₁₈	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-42.835,54	-5.308.722,87	11.285,43
F ₁₉	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-37.410,95	-5.346.133,82	11.285,43
F ₂₀	0,00	-490.120,65	-490.120,65	-32.673,32	-5.378.807,14	11.285,43
R ₂₀	25.000,00	0,00	25.000,00	1.666,60	-5.377.140,54	25.000,00

A partir da Tabela 5.5 calcularam-se os custos atuais líquidos (CAL) e os custos uniformes líquidos (CUL). A taxa de retorno utilizada foi de 14,5%. Na Tabela 5.6 confrontam-se os resultados do equipamento por absorção e compressão para avaliação.

Tabela 5.6 - Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por absorção no cenário 2.

	URL Absorção	URL Compressão
	Custo Atual Líquido (R\$)	Custo Atual Líquido (R\$)
CAL 1	2.222.331,40	1.595.660,56
CAL 2	3.154.809,14	3.227.451,19
CAL Total	5.377.140,54	4.823.111,75
	Custo Uniforme Líquido (R\$)	Custo Uniforme Líquido (R\$)
CUL 1	345.771,84	248.621,48
CUL 2	490.120,65	501.406,07
CUL Total	835.892,49	750.027,55
	Custo/Benefício (R\$/kWh)	Custo/Benefício (R\$/kWh)
	0,1375	0,1234

Neste cenário, verifica-se que a tecnologia de condicionamento de ar de ciclo por absorção é, do ponto de vista financeiro, inferior ao ciclo por compressão, pois apresenta custos atuais e uniformes líquidos totais superiores. Assim, o equipamento demonstra ser menos eficiente do ponto de vista econômico. Entretanto o resultado da viabilidade da substituição da URL ainda depende da avaliação de outros critérios como o tempo de retorno descontado.

Da mesma forma como foi calculado na seção 5.2, o custo-benefício foi determinado pela razão entre o custo uniforme líquido total (CUL_{Total}) e a energia em carga térmica anual acumulada (6.079.289,9502 kWh). O resultado apresentado é favorável às URLs por compressão, porém a pequena diferença pode não representar a posição definitiva sobre a viabilidade do projeto.

O último critério a ser avaliado é o tempo de retorno descontado. Serão assumidas duas hipóteses para este indicador:

- A primeira, conforme a Figura 3.4, avalia o caso da substituição das atuais unidades resfriadoras de líquidos da Procuradoria Geral da República, ou seja, uma vez feito o investimento na tecnologia de ciclo por compressão, o capital aplicado na substituição dos equipamentos pela tecnologia por absorção deve retornar completamente;
- A segunda hipótese se refere à Figura 3.5, que avalia um projeto no momento inicial, onde ainda não foi realizado qualquer investimento, o ponto mais importante é a verificação de economias entre os fluxos de caixa das tecnologias concorrentes, deve-se então escolher a alternativa que proporciona economia e retorna a diferença entre os investimentos em um período de tempo não muito longo.

Construiu-se então o gráfico que relaciona o VAL do Fluxo de Caixa Relativo da Tabela 5.5 e o respectivo período, conforme proposto na metodologia da seção 3.5. A Figura 5.3 apresenta a curva do tempo de retorno descontado, esta não toca o eixo das abscissas durante o tempo de vida útil do equipamento, ou seja, o equipamento não retorna a totalidade de seu investimento dentro do período de 20 anos.

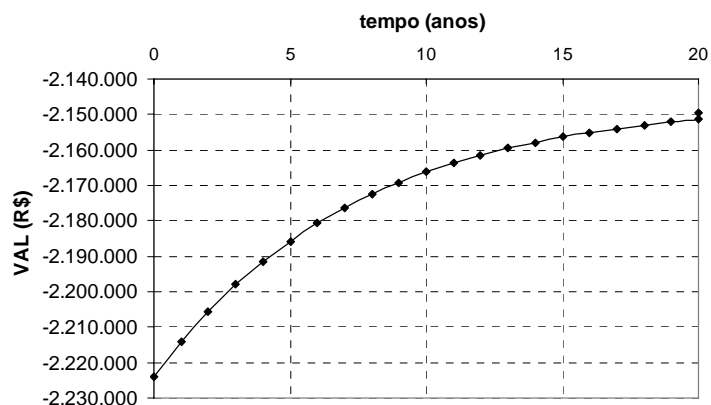


Figura 5.3 – Tempo de retorno descontado no cenário 2.

Neste cenário, o projeto de substituição das atuais URLs da Procuradoria Geral da Republica é inviável. Embora a utilização de equipamentos de ciclo por absorção proporcione economias em seu fluxo de caixa 2, o alto custo do investimento inicial inviabiliza esta tecnologia. Assim sendo, não é plausível a troca dos equipamentos atuais visto que os investimentos feitos não retornarão dentro de um esperado período de tempo. As URLs atualmente instaladas ainda possuem longa vida útil e a economia proporcionada pelos equipamentos a ciclo por absorção não justificam a troca das máquinas.

Entretanto, se estivéssemos tratando de um novo projeto, onde alternativas de equipamento de condicionamento devem ser escolhidas antes de qualquer instalação, pode-se também avaliar o tempo de retorno da diferença entre os investimentos (Figura 5.4).

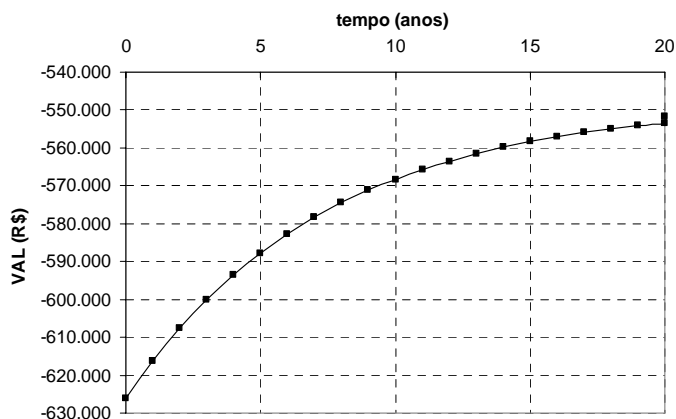


Figura 5.4 – Tempo de recuperação entre diferença de investimentos no cenário 2.

Conforme a Figura 5.4, o tempo de retorno não é alcançado dentro da vida útil da máquina. Assim, pode-se dizer que a economia proporcionada pelas URLs de ciclo por absorção é muito pequena, não justificando sua utilização conforme verificado neste e pelos demais critérios.

5.3.1. Análise de sensibilidade no cenário 2.

Os resultados apresentados até o momento foram positivos à utilização das unidades resfriadoras de líquidos por compressão, entretanto é possível analisar o comportamento da viabilidade em relação a taxa de desconto. Aplicando-se uma variação deste parâmetro de 1% até 100% anuais observa-se o comportamento das curvas que é conclusivo para análise de viabilidade das tecnologias.

A figura 5.5 apresenta os diversos resultados para o valor atual líquido para diferentes taxas de desconto no cenário 2. Verifica-se que a curva de compressão está sempre acima da curva de absorção, assim, seu custo atual líquido é sempre inferior, demonstrando que a qualquer taxa de desconto aplicada à tecnologia de compressão apresenta melhores resultados. Contudo, em nenhuma das hipóteses de taxa de desconto as unidades resfriadoras por absorção são viáveis segundo o critério da taxa interna de retorno.

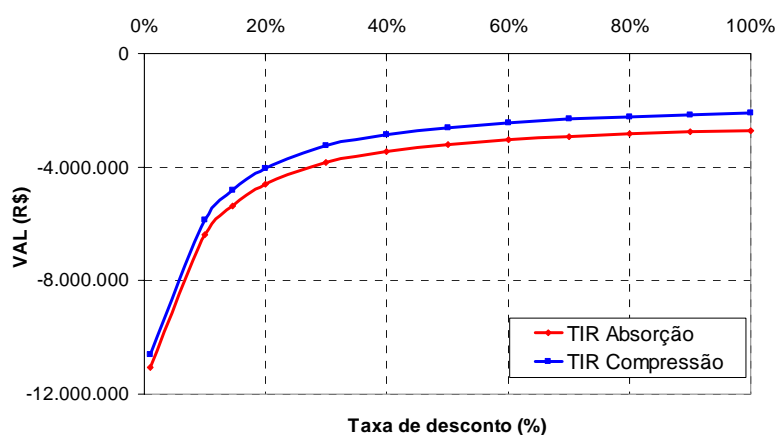


Figura 5.5 – Avaliação da Taxa Interna de Retorno no cenário 2.

Da mesma forma aplicada no cenário 1, avaliou-se a sensibilidade à taxa de desconto no custo-benefício do empreendimento. Observa-se na Figura 5.6 a suscetibilidade do custo-benefício a este fator no cenário 2.

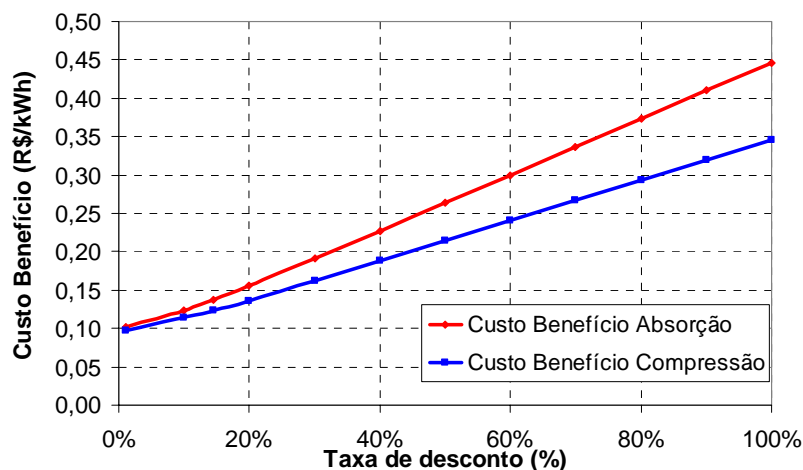


Figura 5.6 – Avaliação do Custo-Benefício e a Taxa Interna de Retorno no cenário 2.

Conforme é apresentado no gráfico (Figura 5.2), a curva representativa do equipamento de ciclo por absorção é sempre superior àquela de compressão para qualquer uma das taxas de desconto aplicadas. Portanto, o preço pago por quilowatt pelas URLs por absorção - considerando todos os custos, inclusive investimentos e manutenção – é sempre superior àquele das URLs de compressão, não importando qual seja a taxa de desconto.

Configura-se desta maneira, avaliando todos os critérios, a inviabilidade financeira da utilização de URLs de ciclo por absorção neste cenário. Apesar de alguns resultados serem levemente favoráveis, como o Valor Atual Líquido do Fluxo de Caixa 2, a avaliação geral de todos os critérios apontam para uma superioridade econômica da tecnologia de condicionamento de ar por compressão.

5.4. CENÁRIO 3: PREÇO DO GÁS NATURAL INFERIOR.

O terceiro cenário foi elaborado a partir da tarifação praticada no Rio de Janeiro nas cidades abastecidas pelo *city gate*²¹ de Cabiúnas (Campos, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Rio das Ostras, Macaé, São Pedro d’Aldeia, Barra de São João, Casimiro de Abreu e Silva Jardim). Embora a companhia fornecedora de gás natural do Rio de Janeiro ofereça duas tarifações, a opção de menor valor foi escolhida justamente por proporcionar contraste em relação os demais cenários, permitindo a avaliação de um panorama onde o gás natural possui custo inferior ao adotado nos demais estados. O plano tarifário da fornecedora de gás natural do Rio de Janeiro está apresentado no Anexo F deste trabalho. Conforme foi feito na seção 5.3, construiu-se um fluxo de caixa apresentado na Tabela 5.7. Foi levantado também o Fluxo de Caixa Relativo, pois neste caso há economias mensais entre os custos de energia e manutenção das tecnologias.

Tabela 5.7 - Fluxo de Caixa e cálculo do Valor Atual Líquido da URL por absorção no cenário 3.

Fluxo _{ano}	Fluxo 1	Fluxo 2	Fluxo de Caixa Total (R\$)	$\frac{F_n}{(1+i)^n}$	$VAL = \sum_{n=0}^{n=20} \frac{F_n}{(1+i)^n}$	Fluxo de Caixa Relativo (R\$)
F ₀	-2.223.998,00	0,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00	-2.223.998,00
F ₁	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-371.435,18	-2.595.433,18	76.112,79
F ₂	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-324.397,54	-2.919.830,72	76.112,79
F ₃	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-283.316,63	-3.203.147,35	76.112,79
F ₄	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-247.438,10	-3.450.585,46	76.112,79
F ₅	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-216.103,15	-3.666.688,60	76.112,79
F ₆	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-188.736,37	-3.855.424,98	76.112,79
F ₇	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-164.835,26	-4.020.260,24	76.112,79
F ₈	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-143.960,93	-4.164.221,16	76.112,79
F ₉	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-125.730,07	-4.289.951,23	76.112,79
F ₁₀	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-109.807,92	-4.399.759,15	76.112,79
F ₁₁	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-95.902,11	-4.495.661,26	76.112,79
F ₁₂	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-83.757,30	-4.579.418,56	76.112,79
F ₁₃	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-73.150,48	-4.652.569,05	76.112,79
F ₁₄	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-63.886,88	-4.716.455,93	76.112,79
F ₁₅	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-55.796,41	-4.772.252,34	76.112,79
F ₁₆	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-48.730,49	-4.820.982,82	76.112,79
F ₁₇	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-42.559,38	-4.863.542,20	76.112,79
F ₁₈	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-37.169,76	-4.900.711,96	76.112,79
F ₁₉	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-32.462,67	-4.933.174,63	76.112,79
F ₂₀	0,00	-425.293,28	-425.293,28	-28.351,68	-4.961.526,31	76.112,79
R ₂₀	25.000,00	0,00	25.000,00	1.666,60	-4.959.859,72	25.000,00

²¹ City Gate é normalmente o ponto de “chegada” do gás natural em uma região. É conjunto de instalações contendo manifolds e sistemas de medição, destinado a entregar o gás natural oriundo de uma concessão, de uma Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN), de um sistema de transporte ou de um sistema de transferência de Custódia de Gás Natural.

A partir da Tabela 5.7 calcularam-se os custos atuais líquidos (CAL) e os custos uniformes líquidos (CUL). A taxa de retorno utilizada foi de 14,5%. Na Tabela 5.8 confrontam-se os resultados do equipamento por absorção e compressão para avaliação.

Tabela 5.8 - Custos Atuais Líquidos e Custos Uniformes Líquidos das URLs por absorção no cenário 3.

	URL Absorção	URL Compressão
	Custo Atual Líquido (R\$)	Custo Atual Líquido (R\$)
CAL 1	2.222.331,40	1.595.660,56
CAL 2	2.737.528,31	3.227.451,19
CAL Total	4.959.859,72	4.823.111,75
	Custo Uniforme Líquido (R\$)	Custo Uniforme Líquido (R\$)
CUL 1	345.771,84	248.621,48
CUL 2	425.293,28	501.406,07
CUL Total	771.065,13	750.027,55
	Custo/Benefício (R\$/kWh)	Custo/Benefício (R\$/kWh)
	0,1268	0,1234

A Tabela 5.8 apresenta uma situação levemente favorável à utilização da tecnologia de condicionamento de ar por ciclo por compressão quando analisada à taxa de desconto de 14,5%. Verifica-se na tabela que os custos atuais líquidos e uniformes são inferiores para as URLs de ciclo por compressão. Todavia, outros critérios também devem ser analisados.

A tabela apresenta também o resultado do custo-benefício, que conforme realizado nas seções anteriores, foi determinado pela razão entre o custo uniforme líquido total (CUL_{Total}) e a energia na forma da carga térmica anual acumulada de 6.079.289,9502 kWh. Este cenário apresenta menor custo-benefício para as unidades resfriadoras de ciclo por compressão, entretanto a diferença entre os resultados é muito pequena. Assim o critério tempo de retorno descontado também deve ser avaliado, pois o equipamento de ciclo por absorção proporciona economias no Fluxo de Caixa 2, conforme é apresentado nos resultados do CAL 2 e CUL 2.

Serão assumidas duas hipóteses, da mesma forma da seção 5.3, para análise do critério de tempo de retorno descontado:

- 1) A primeira, conforme a Figura 3.4, avalia o caso da substituição das atuais unidades resfriadoras de líquidos da Procuradoria Geral da Republica, ou seja, uma vez feito o investimento na tecnologia de ciclo por compressão, o capital aplicado na substituição dos equipamentos pela tecnologia por absorção deve retornar completamente;

- 2) A segunda hipótese se refere à Figura 3.5, que avalia um projeto no momento inicial, onde ainda não foi realizado qualquer investimento, o ponto mais importante é a verificação de economias entre os fluxos de caixa das tecnologias concorrentes, deve-se então escolher a alternativa que proporciona economia e retorna a diferença entre os investimentos em um período de tempo não muito longo.

A figura 5.7 apresenta o gráfico que relaciona o VAL do Fluxo de Caixa Relativo da Tabela 5.7 e o respectivo período, conforme proposto na metodologia da seção 3.5. A curva do tempo de retorno descontado não toca o eixo das abscissas durante o tempo de vida útil do equipamento, ou seja, o equipamento não retorna todo o investimento dentro do período de 20 anos.

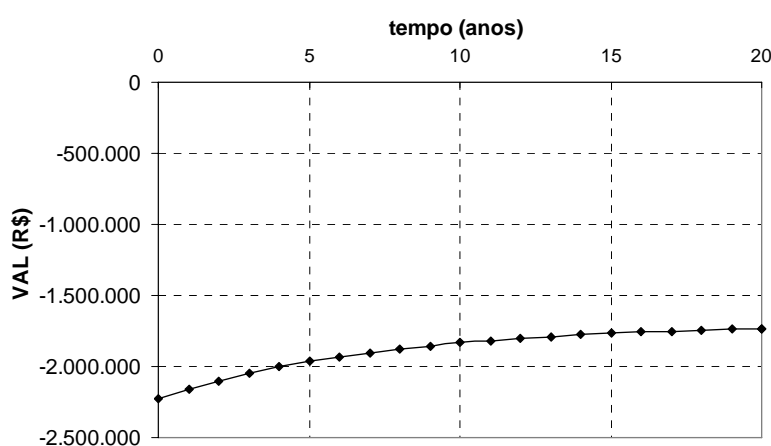


Figura 5.7 – Tempo de retorno descontado no cenário 3.

A substituição das atuais URLs da Procuradoria Geral da República é portanto, inviável. Mesmo sendo a utilização dos equipamentos de ciclo por absorção mais econômicos no Fluxo de Caixa 2, não é razoável a troca das máquinas atuais visto que o investimento a ser feito não retornará dentro da vida útil do equipamento. As URLs atualmente instaladas ainda possuem longa vida útil e a economia proporcionada pelos equipamentos a ciclo por absorção não justifica a troca das máquinas.

Em outra hipótese, se estivéssemos tratando de um novo projeto, onde alternativas de equipamento de condicionamento devem ser escolhidas antes de qualquer instalação, é possível fazer uma nova estimativa do tempo de retorno a tecnologia por absorção apresenta boa economia. Neste caso pode-se avaliar o tempo de retorno entre a diferença dos investimentos. Conforme a Figura 5.8, o investimento não retorna dentro da vida útil do equipamento. Assim, pode-se dizer que a economia proporcionada pelas URLs de ciclo

por absorção é muito pequena, não justificando sua utilização conforme verificado neste e pelos demais critérios.

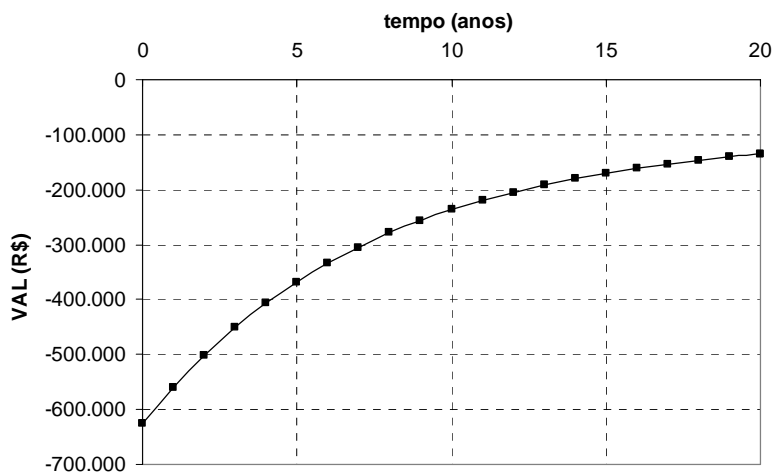


Figura 5.8 – Tempo de recuperação da diferença de investimentos no cenário 3.

5.4.1. Análise de sensibilidade no cenário 3.

Os resultados apresentados são desfavoráveis à utilização do ciclo por absorção em detrimento do de compressão à taxa de desconto de 14,5%. Adicionalmente às análises já realizadas é muito interessante avaliar a sensibilidade dos resultados obtidos resultado em relação à taxa de desconto. Aplicando-se uma variação deste parâmetro de 1% até 100% anuais observa-se o comportamento das duas curvas, cujo comportamento é bastante influenciável por este fator.

Na figura 5.9 é apresentada a curva do critério da Taxa Interna de Retorno. Verifica-se pequena superioridade da tecnologia de ciclo por absorção até a taxa de desconto 10,47% (*Taxa de Fisher*). Neste exato ponto as tecnologias são financeiramente equivalentes. A partir desta taxa, a tecnologia de ciclo por compressão parafuso é levemente superior. Este resultado aponta para uma igualdade econômica entre as tecnologias, pois a diferença entre os valores atuais líquidos é muito pequena. No entanto, o momento atual de instabilidade política boliviana pesa negativamente em relação a utilização do gás natural no processo decisório.

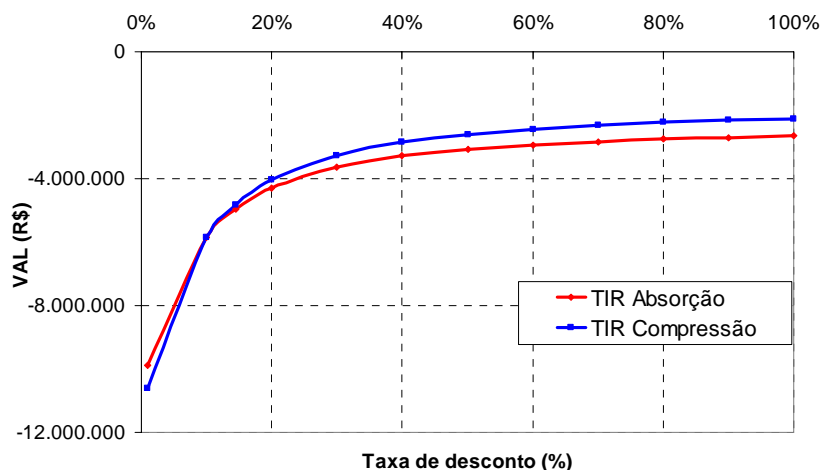


Figura 5.9 – Avaliação da Taxa Interna de Retorno no cenário 3.

Conforme realizado nos cenários anteriores, avaliou-se a sensibilidade à taxa de desconto no custo-benefício do empreendimento. Observa-se na Figura 5.10 a suscetibilidade do custo-benefício a este fator no cenário 3.

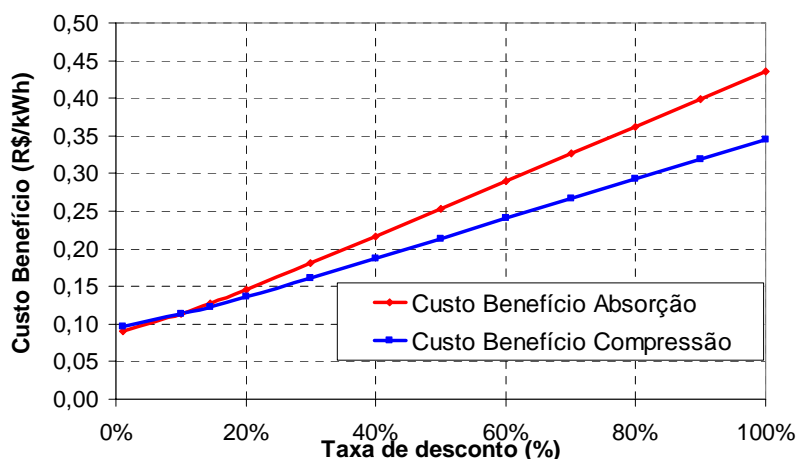


Figura 5.10 – Avaliação do Custo-Benefício e a Taxa Interna de Retorno no cenário 3.

Conforme é apresentado na Figura 5.10, a curva representativa do equipamento de ciclo por absorção é inferior até a taxa de 10,47%, portanto a melhor alternativa. Após este valor, o ciclo de compressão parafuso apresenta melhor resultado. Entretanto o histórico recente da SELIC (Banco Central do Brasil, 2006) demonstra valores superiores (13,7%) à *Taxa de Fisher* encontrada (10,47%). A equivalência financeira do ciclo é no atual contexto desfavorável a utilização do gás natural, pois, no presente momento, além de uma taxa SELIC superior há ainda a possibilidade aumento de preço do produto pelo fornecedor estrangeiro. Entretanto, o setor elétrico pode também estar sujeito à problemas futuros, tal situação favoreceria a viabilidade das URLs de ciclo por absorção.

Verifica-se então, depois de avaliados todos os critérios, a inviabilidade econômica da utilização de URLs por absorção caso o projeto analisado estivesse ainda na fase inicial e não houvesse qualquer equipamento instalado.

Da mesma forma, agora afastando-se do campo das hipóteses, a economia proporcionada por este equipamento também não justifica a substituição das máquinas ora instaladas. O retorno oferecido pela tecnologia de ciclo por absorção não é suficientemente alto para recuperar o investimento inicial em um curto período de tempo.

5.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresentou dados, resultados e avaliações dos critérios propostos. Devido a inexistência de tarifas e impostos para o gás natural encanado para a região de Brasília foram criados 3 cenários que permitiram avaliar a sensibilidade da viabilidade econômica do ciclo por absorção a partir de tarifas do gás natural praticadas por 3 empresas em diferentes estados.

Em todos os cenários e análises de sensibilidade, os valores e gráficos obtidos foram desfavoráveis à utilização de unidades resfriadoras de líquidos por absorção para o caso de substituição dos atuais equipamentos ora instalados na Procuradoria Geral da República. Isto se deve a alguns fatores importantes, dentre eles estão:

1) Melhor aproveitamento do gás natural: não foi previsto neste estudo a utilização do gás natural e dos gases de exaustão das URLs para outras aplicações que permitissem melhor aproveitamento energético e econômico do combustível, viabilizando assim a instalação da tecnologia de refrigeração por absorção.

2) Baixo consumo de energia elétrica e tarifas reduzidas: o equipamento instalado hoje na Procuradoria Geral da República possui COP elevado (alto rendimento) e consome pouca energia elétrica para atender a demanda térmica. Este fator combinado com o baixo custo da energia elétrica para o Poder Público no Distrito Federal reduz a viabilidade econômica da tecnologia movida a gás natural;

3) Não utilização de cogeração: a aplicação de cogeração de energia, integrando geradores com motores movidos a gás natural e ar-condicionado, poderia promover um melhor aproveitamento da energia proveniente do gás natural.

Por outro lado, quando avaliado o caso de um projeto no momento inicial, onde ainda não foi realizado qualquer investimento, a tecnologia por absorção demonstrou-se

economicamente superior onde é praticada a tarifa do cenário 3 quando este é avaliado à taxas de desconto inferiores a 10,47%. O preço do gás praticado pela companhia fornecedora de gás natural do Rio de Janeiro é baixo e o cenário construído a partir dele impulsiona a viabilidade do gás natural. Nos outros cenários, os fatores enumerados nas linhas pretéritas desta seção aliados a tarifação mais alta do gás natural desfavoreceram a utilização de URLs de ciclo por absorção.

A análise também demonstrou a complexidade do assunto. A resposta para a viabilidade econômica dos ciclos de refrigeração não é trivial e requer o levantamento de dados e análise de todos os critérios propostos no capítulo 3. A interpretação de apenas um deles nem sempre é suficiente para uma conclusão, sendo necessária a consideração de todo conjunto de informações para uma avaliação mais coerente.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma metodologia para a análise econômica de equipamentos de condicionamento de ar de ciclos por absorção. Utilizando-se de conhecimentos de matemática financeira, engenharia econômica e engenharia mecânica foi construído um método que permite tratar de forma específica a viabilidade e os possíveis cenários de um projeto de central de ar condicionado. Nesta metodologia foram aplicados os bastantes conhecidos critérios de avaliação de projetos como os critérios de Valor Atual Líquido, Custo Uniforme Líquido, Custo-Benefício, Taxa Interna de Retorno e Tempo de Retorno Descontado. Com a finalidade de se examinar a metodologia proposta foi realizado um estudo de caso, onde foi analisada a viabilidade econômica da instalação de unidades resfriadoras de líquidos nos prédios da Procuradoria Geral da República.

A metodologia abordou a princípio questões importantes como a elaboração do fluxo de caixa. Esta etapa da avaliação é determinante para a análise de viabilidade, pois indica critérios para o levantamento de custos fundamentais para o estudo. Dentre os mais importantes estão os custos relativos ao consumo de energia. A viabilidade das tecnologias em questão é altamente sensível a este fator. Portanto, a estimativa de consumo e a metodologia para o cálculo do custo da energia receberam enfoque especial. Para tanto, foi recomendado o programa EnergyPlusTM v1.2.3 (DOE, 2005) que fornece resultados simulados de carga térmica para qualquer tipo de edificação. Tais resultados simulados permitem a previsão de consumo e de custo da energia requerida pelas unidades resfriadoras de líquidos.

Apesar da complexidade do assunto, a elaboração de uma metodologia clara e direta para avaliação econômica de unidades resfriadoras de líquidos de ciclo por absorção obteve sucesso ao apresentar critérios de análise de fácil interpretação. Entretanto, a avaliação depende a circunstância e dos cenários criados. Assim, após levantados os panoramas mais prováveis e importantes, é possível alcançar uma conclusão mais acertada sobre a decisão. O trabalho sugere também uma análise de sensibilidade através dos resultados de VAL, Custo-Benefício e TIR, onde o diagnóstico de interesses pode ser avaliado através da variação da taxa de juros, do custo de insumo energético, do custo do investimento inicial e dos custos de manutenção.

Neste trabalho foi apresentado também o estudo de caso da Procuradoria Geral da República, onde foi avaliada a possibilidade econômica de substituição das atuais URLs

instaladas por aquelas de ciclo por absorção. Valendo-se da metodologia descrita no capítulo 3 e dos dados levantados no capítulo 4 foram apresentados alguns resultados preliminares. Em seguida elaborou-se algumas situações onde foram avaliadas a sensibilidade ao custo do combustível gás natural e também da taxa de juros, fatores que influem diretamente nos resultados.

Segundo a avaliação realizada no capítulo 5, os resultados obtidos em todos os cenários foram desfavoráveis à utilização das unidades resfriadoras de líquidos por absorção na Procuradoria Geral da República.

Embora os resultados dos cenários tenham sido desfavoráveis, algumas considerações podem ser feitas a favor de ciclo por absorção. As análises apresentadas ainda não são conclusivas, pois ainda não existe um mercado de gás natural em Brasília. É muito provável, assim como ocorrem em São Paulo e Rio de Janeiro, que haja diversos incentivos a aquisição de unidades resfriadoras de líquido por absorção, reduzindo o valor do investimento inicial, que no estudo de caso foi bastante alto. Outro ponto favorável é a redução da taxa de juros, que segundo as análises de sensibilidade, é favorável a tecnologia do ciclo por absorção.

A avaliação da metodologia no estudo de caso em questão demonstrou a clareza de seus resultados. Os critérios de análise, quando avaliados em conjunto permitem uma fácil análise dos resultados. Permitem também a avaliação da sensibilidade da análise econômica na forma gráfica, onde é possível compreender melhor os resultados de cada critério em função da variação de algum fator.

Um ponto de grande interesse que foi levantado neste trabalho foi a estimativa do consumo de gás natural por equipamentos de ar-condicionado. Esta previsão de consumo apresenta sua importância no momento da elaboração de projetos de gasodutos, pois dentre os critérios mais importantes do dimensionamento deste está a demanda de combustível. Assim, realizando-se um estudo mais genérico sobre a viabilidade de diversos edifícios em Brasília, seria possível estimar o consumo do combustível em questão para equipamentos de ar-condicionado. Caso resultados sejam significativos, o projeto do gasoduto deverá levar em consideração a demanda para esta finalidade. Este estudo de previsão de consumo é, portanto, uma sugestão para continuação deste trabalho.

Já são conhecidos os problemas associados à degradação do meio ambiente em relação a utilização de equipamentos de ar-condicionado. Atualmente há o consenso de que o país não pode crescer a qualquer custo, provocando com isto uma deterioração

irreversível do meio-ambiente. Nestas condições, tem-se tornado cada vez mais importante incorporar tais problemas na análise do projeto, nos seus aspectos positivos e negativos. Assim, uma análise comparativa mais completa dos ciclos de refrigeração levando em consideração a questão ambiental também se insere como uma sugestão para prosseguimento deste trabalho. Para tanto, existem índices amplamente conhecidos para este caso específico como a ODP (*“Ozone Depletion Potencial”* - Potência de Depleção do Ozônio), GWP (*“Global Warning Potencial”* – Potencial de Aquecimento Global), TWEI (*“Total Equivalent Warming Impact”* – Impacto do Aquecimento Total Equivalente) e LCCP (*“Life Cycle Climatic Performance”* – Desempenho Climático do Ciclo de Vida). Para o caso estudado nesta dissertação as duas últimas metodologias se aplicam melhor, apresentando resultados mais consistentes para uma avaliação do ponto de vista ambiental.

Terceira sugestão para continuação desta dissertação envolve a consideração de perda de rendimento dos equipamentos, tal fato geraria aumento dos custos com o insumo energético. Para tanto, seria necessário um estudo do ciclo de vida acelerado dos equipamentos, que permita a determinação da queda de desempenho ao longo da vida das URLs. Assim, neste caso, poder-se-ia aplicar no estudo uma série gradiente para o fluxo de caixa, considerando tal perda de e eficiência.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). Glossário do Site. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/conteudo.php?ida=15&idc=22>>. Acesso em: 18 dez. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Boletim do Gás Natural. Rio de Janeiro, Maio 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Glossário ANP. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/glossario/>>. Acesso em: 08 set. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP) - SUPERINTENDÊNCIA DE COMERCIALIZAÇÃO E MOVIMENTAÇÃO DE GÁS NATURAL. Descrição da metodologia de cálculo das tarifas de transporte de gás natural. Nota Técnica 054/2002-SCG. Rio de Janeiro, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Resolução n.º 456, de 29 de novembro de 2000. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000456.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Altera dispositivos e promove ajustes na Resolução n.º 456, de 29 de novembro de 2000, que trata das Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Resolução n.º 90, de 27 de março de 2001. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2001090.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2006.

ASHRAE 2005, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE Guideline 0-2005, The Commissioning Process. Atlanta, USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO (ABRACO). Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/corros15.htm>>. Acesso em: 14 out. 2006.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Selic - Mercado de títulos públicos. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?SELIC>> . Acesso em: 14 nov.2006.

CARVALHO, M. O. M. Avaliação econômica de projetos de energia, análise custo benefício. In: X Congresso Brasileiro de Energia. 2004. Rio de Janeiro. Anais do X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA - X CBE. V. III, p. 1431-1442.

CAVICHOLI , Carlos Aparecido. Planejamento e administração da manutenção. São Paulo: SENAI, 1990.

CECCHI, J. C. Indústria brasileira de gás natural: regulação anual e desafios futuros. Número II. Rio de Janeiro: Séries ANP, 2001.

COMPANHIA DE ILUMINAÇÃO A GÁS (CEG RIO). Tarifas de gás natural ao consumidor. Vigência: 01 jan. 2006. Disponível em:

<<http://portal.gasnatural.com/servlet/ContentServer?gnpage=4-60-2¢ralassetname=4-60-1-1-7-0>>. Acesso em: 17 nov. 2006.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO (Comgás). Tarifas do Gás Natural Canalizado na área de Concessão da COMGAS. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/templates/tarifas.asp>> acesso em: 17 nov. 2006.

COUTO, Marcelo. Condicionamento de ar a gás natural. Revista ABRAVA, São Paulo, n. 220, p. 26 – 31, dez. 2004.

DANTAS, Evandro. Geração de vapor e água de refrigeração: Falhas - Tratamentos - Limpeza Química. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS - ENERGYPLUS ENERGY SIMULATION SOFTWARE (DOE). Energyplus manual, version 1.2.3. Estados Unidos: abril 2005.

FELAMINGO, José Carlos. Comparação econômica entre o ciclo por absorção a gás natural e o ciclo por compressão elétrico com e sem termo acumulação. In: VIII CONGRESSO INTERNACIONAL DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR (CONBRAVA) 2004, São Paulo.

FELAMINGO, J.C. Questionamentos – Unidades Resfriadoras de Líquidos por Absorção [Correspondência eletrônica]. Mensagem recebida por: <jcf@unionrhac.com.br>. Data de recebimento: 17 nov. 2006 .

FLORIDES, G.A., KALOGIROU, S.A., TASSOU, S.A., WROBEL L.C. Design and construction of a LiBr–water absorption machine. Energy Conversion and Management, vol. 44, p.p 2483–2508, 2003.

FREIRE, R. Cotação para URLs YSDACAS3-CMES [Correspondência eletrônica]. Mensagem recebida por: <renato.freire@br.york.com>. Data de recebimento: 01 nov. 2006.

GIL S., DEFERRARI J. Generalized Model of Prediction of Natural Gas Consumption. ENARGAS – Natural Gás Regulatory Agency of Argentina. Sulpacha, n.1008, p. 636-640. Cap. Fed. – Argentina, 2004.

GROSSMAN, G. WILK, M., ABSIM – Advanced Modular Simulation of Absorption Systems, New Orleans: Proceedings of the International Absorption Heat Pump Conference, ASME AES-Vol. 31, Janeiro 19-21, pp. 354-352, 2004.

HENRIQUES, Jr. M. F. Uso da energia na indústria energo-intensiva brasileira: indicadores de eficiência e potencial de economia de energia. Dissertação de MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1995.

HEROLD K. E.; RADERMACHER, R.; KELIN S. A. Absorption chillers and heat pumps. New York: CRC, 1996.

HIRSCHFELD, Henrique. Engenharia econômica e análise de custos: Aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores. Sexta Edição. São Paulo: ed.: Atlas, 1998.

KRUEGER, R.H., DOCKUS, K.F., RUSH, W.F. Lithium Chromate: Corrosion Inhibitor for Lithium Bromide Absorption Refrigeration Systems, ASHRAE J., Vol. 6, pp. 40-44, February 1964.

LEVINE, Richard. Why absorption chillers fail: plant engineering. ABI/INFORM Global. V. 12, n. 55, p. 32, dec. 2001.

LOURENÇO, Sérgio Ricardo. Gás natural: perspectivas e utilização. Dissertação de Mestrado. Campinas, SP, 2003.

LS CABLE. Catálogo: LS Direct-Fired Absorption Machine: LDF-G Series. Dangienongdong, Coréia, 2006.

MARTINS, M. P. S. Setor de Gás Natural no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL: REESTRUTURAÇÃO E REGULAÇÃO DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL. 30 – 31 Agosto de 2006. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/seminariointernacional/31agosto.htm>. Acesso em 20 out. 2006.

MELO, J. P., Cenários do gás canalizado no Estado de São Paulo. São Paulo: Artliber, 2002.

MONTEIRO, Rogério. Proposta de um modelo de apoio à tomada de decisão baseado em fatores críticos de sucesso. 2002. 161 f. Dissertação (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas (FEM – UNICAMP), Campinas, 2002.

MONTENEGRO, João Lopes de Albuquerque. Engenharia Econômica. Brasília: TELEBRÁS, 1982.

MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. Estímulo ao uso da cogeração a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Texto interno para discussão.. Rio de Janeiro: PPE/COPPE/UFRJ, 1999. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

PARKS, C. W., JEONGA, J. H., KANGB, Y. T., Energy consumption characteristics of an absorption chiller during the partial load operation. International Journal of Refrigeration 27 (2004) 948–954.

PIMENTA, J. M. D, JOFFILY, L. A. L., MUNDIN, S. L., SANTOS, R. R., LIMA, B. S. D. Reentrada em operação da termo-acumulação da central de água gelada do sistema de ar condicionado do edifício sede da Procuradoria Geral da República: Relatório fase 1: Avaliação preliminar da instalação. Consultoria prestada ao Ministério Público Federal – Procuradoria Geral da República. Brasília, 2004.

PIMENTA J. M. D.; SILVA, C. Comissionamento: Processo com foco para a qualidade. Revista Climatização e Refrigeração, Editora RPA, ISSN 1678-6866. São Paulo: Out 2005, p. 40-47.

PIMENTA, W., Custos para manutenção preventiva na PGR [correspondência eletrônica]. Mensagem recebida por: <walter@opengate.com.br>. Data de recebimento: 03 nov. 2006.

PINHEIRO, P. C. da Costa. O Gás Natural e sua Utilização em Equipamentos Térmicos. In: II SEMINÁRIO DE GERENCIAMENTO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA QUÍMICA E PETROQUÍMICA, 12-13 Junho 1996, Guarulhos, SP, Anais... São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados (ABIQUIM), Palestra 9, 11p.

PITANGA, F. J. Combustão de Líquidos e de Gases.. Faculdade de Engenharia Industrial (FEI): São Bernardo do Campo, 1992.

POULALLION, Paul. Manual do gás natural. São Paulo: Confederação nacional das Indústrias (CNI). Coleção Antonio Ermírio de Moraes, 1986.

SILVEIRA, E. Orçamento de bombas, torres, idade das URLs ECT [Correspondência eletrônica]. Mensagem recebida por: <moa.eduardo@gmail.com>. Data de recebimento: 05 nov. 2006.

SOARES, J.B.: Formação do Mercado de Gás Natural no Brasil: Impacto de Incentivos Econômicos na Substituição Interenergéticos e na Cogeração em Regime "Topping". 2004. 397 f. Dissertação (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2004.

STOECKER, W. F., JONES J. W., Refrigeração e ar condicionado. Tradução de José M. Saiz Jabardo. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. Projetos: planejamento, elaboração, análise. São Paulo: Atlas, 1986.

YORK, MILLENNIUM®. Catálogo: Model YS Rotary Screw Liquid Chillers Design Level E, 2000. Pennsylvania USA, 2000.

ZUKOWSKI JR, J. C.; CORTEZ, L. A. B. Otimização exérgica de sistemas de refrigeração por absorção através da SRM. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. Anais. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002200000100051&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 29 set. 2006.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela A.1 – Tarifas dos grupos A e B da fornecedora de energia elétrica de Brasília (CEB, 2006)²².

NOVEMBRO
2006

Núcleo Estratégico de Comercialização - NECOM Núcleo Executivo de Relações com o Mercado - NEXRC

Atualizada em 24/08/2006



Tarifas do Grupo B			
Consumo	ICMS	R\$/kWh	Consumo (Alíquota do ICMS)
B1 - Res. Baixa Renda até 50 kWh	Iserito	0,0901772	B2 - Rural
B1 - Residencial Baixa Renda 51 a 200 kWh	12%	0,1545910	B2 - Cooperativa de eletrificação rural
B1 - Residencial até 50 kWh	12%	0,1034288	B2 - Madrugada - irrigação (redução de 67%)
B1 - Residencial de 31 a 80 kWh	12%	0,1773083	B3 - Serviço de Saneamento (redução de 15%)
B1 - Residencial de 81 a 100 kWh	12%	0,1781665	B4a - Iluminação Pública (entrega no poste)
B1 - Residencial de 101 a 180 kWh	12%	0,2672912	B4b - Iluminação Pública (entrega na lâmpada)
B1 - Residencial de 181 a 200 kWh	12%	0,2969507	
B1 - Residencial até 50 kWh	Iserito	0,2664210	
B1 - Residencial de 51 a 200 kWh	12%	0,3055718	
B1 - Residencial de 201 a 300 kWh	17%	0,3255022	
B1 - Residencial de 301 a 500 kWh	21%	0,3434214	
B1 - Residencial acima de 500 kWh	25%	0,3634284	

Tarifas do Grupo A - Convencional			
Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 200 (12%)		201 acima (17%)
	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh
A4 - Rural (redução de 10%)	21,0837619	0,1462196	0,1557565
A4 - Madrugada (redução de 80%)	-	0,0324932	0,0346125
A4 - Cooperativa (redução de 50%)	11,7132010	0,0812331	0,0865314
A4 - Saneamento (redução de 15%)	20,8804800	0,1448101	0,1542551
A4 - CELG (sem ICMS)	13,7198377	0,0885008	
A4 - Comercial/Indus/PPúblico	24,5662706	0,1703649	
A4 - Residencial	23,4264021	0,1624663	
AS - Comercial/Indus/PPúblico	36,2968405	0,1783125	
AS - Residencial	34,6069086	0,1700465	
Consumo (Alíquota do ICMS)	201 a 1000 (17%)		1001 acima (21%)
A4 - Comercial/Industrial	26,1674928	0,1814766	27,6080374
AS - Comercial/Industrial	38,6842316	0,1899426	40,7927332
Consumo (Alíquota do ICMS)	201 a 500 (17%)		501 acima (25%)
A4 - Poder Público	26,1674928	0,1814766	29,2164287
AS - Poder Público	38,6842316	0,1899426	43,1692397
Consumo (ICMS)	301 a 500 (21%)		501 acima (25%)
A4 - Residencial	24,9543438	0,1730628	27,8619283
AS - Residencial	36,8640751	0,1811374	41,1593358

Taxas de Serviço			
Serviços (em R\$)	Mono	Bi	Tri
Visoria	3,48	4,98	9,96
Aleitação de medidor	4,48	7,47	9,96
Verificação nível de tensão	4,48	7,47	8,97
Religação normal	3,97	5,47	16,43
Religação de urgência	19,93	29,90	49,85
Segunda via	1,48	1,48	1,48

Legislação Vigente	
Pis/Pasep (1,13% + Cofins (5,21%))	= 6,34
Resolução nº 456/2000 da Aneel - Critérios para fornecimento de energia	
Decreto nº 5.700 de saneamento: Decreto 62.724, de 23.12.88	
Tarifa da Madrugada: Portaria 105/92-DNAEE, de 03.04.92	
ICMS: Lei 7, de 29.12.88; Decreto 16.102, 30.11.94; Lei 987, 18.12.95	
Taxas de Energia: Resolução 368/2006-ANEEL, de 22.08.2006	
Taxas de Serviços: Resolução 368/2006-ANEEL, de 22.08.2006	
Tarifa CEBCEL-G: Resolução 179/2005-ANEEL, de 24.08.2005	
CIP: Decreto GDF Nº 24324 de 29.12.2003	
ENCAPEME: Resolução 496/2003-ANEEL, de 26.08.2003	

²² É incluída na tarifa o ICMS referente a cada classe de consumidor.

NOVEMBRO
2006

Núcleo Estratégico de Comercialização - NEECOM
Núcleo Executivo de Relações com o Mercado - NEXRC

Atualizada em 24/08/2006

Tarifa Horo-Sazonal Azul

Comercial/Industrial acima de 1000 kWh Poder Público/Resid. > de 500 kWh Demais classes: qualquer consumo	ICMS	Demanda - R\$/kW			Consumo - R\$/kWh				
		Ponta	Fora de Ponta	Ultrapas. na ponta f. de ponta	Ponta úmida	Ponta seca	F. de ponta seca		
A2 - Comercial/Industrial	21%	22,763562	3,7847508	68,2769061	11,3404899	0,2778695	0,2513900	0,1732314	0,1576520
A2 - Poder Público	25%	24,0897174	4,0052432	72,2546878	12,0011651	0,2940576	0,2660355	0,1833236	0,1668365
A2 - Saneamento (redução de 15%)	17%	18,3394208	3,0491781	55,0071745	9,1364466	0,2238651	0,2025319	0,1395636	0,1270121
A3a - Saneamento (redução de 15%)	17%	19,8635538	4,8897730	59,6086616	14,6914949	0,2314049	0,2094397	0,1410716	0,1281430
A4 - Comercial/Industrial	21%	34,9573355	9,4687586	104,8857693	28,4062758	0,2875309	0,2602532	0,1752133	0,1591522
A4 - Poder Público	25%	36,9938829	10,0203903	110,9962132	30,0611709	0,3042819	0,2754150	0,1854209	0,1684241
A4 - Saneamento (redução de 15%)	17%	28,1633185	7,6284894	84,5010435	22,8854683	0,2316488	0,2096725	0,1411603	0,1282207
A4 - Rural (redução de 10%)	17%	28,4346464	7,7015392	85,3039394	23,1046177	0,2339107	0,2117218	0,1425489	0,1294703
A4 - Madrugada (redução de 80%)	17%	-	-	-	-	0,0519801	0,0470493	0,0316775	0,0287711
A4 - Cooperativa (redução de 50%)	17%	15,7970258	4,2786329	47,3910774	12,8358987	0,1299504	0,1176232	0,0791938	0,0719279
A4 - Residencial	25%	35,2752694	9,5543256	105,8258083	28,6629769	0,2901835	0,2626565	0,1768424	0,1606175
AS - Comercial/Industrial	21%	36,6088631	14,5472061	109,8265895	43,6278557	0,3009633	0,2723506	0,1833470	0,1664739
AS - Poder Público	25%	38,7416254	15,3946985	116,2248762	46,1695310	0,3184969	0,2882173	0,1940285	0,1761724

Tarifa Horo-Sazonal Verde

Comercial/Industrial acima de 1000 kWh Poder Público/Residencial acima de 500 kWh Demais classes: qualquer consumo	ICMS	Demanda - R\$/kW		Consumo - R\$/kWh	
		Normal	Ultrapas.	Ponta seca	Ponta úmida
A4 - Comercial/Industrial	21%	9,4825213	28,4475539	0,8778832	0,8505780
A4 - Poder Público	25%	10,0349548	30,1048645	0,9290270	0,9001310
A4 - Saneamento (redução de 15%)	17%	7,6395773	22,9187320	0,7072651	0,6852667
A4 - Rural (redução de 10%)	17%	7,7132794	23,1398382	0,7141768	0,6919527
A4 - Madrugada (redução de 80% no consumo)	17%	-	-	-	-
A4 - Cooperativa (redução de 50%)	17%	4,2851552	12,8554656	0,3967649	0,3844182
A4 - Residencial	25%	9,5688901	28,7066705	0,8859889	0,8584182
AS - Comercial/Industrial	21%	14,5747316	43,7241948	0,9187173	0,8901321
AS - Poder Público	25%	15,4238275	46,2714826	0,9722400	0,9419895

²³ É incluída na tarifa o ICMS referente a cada classe de consumidor.

ANEXO C

Características de desempenho em carga parcial das URL's YSDACAS3 em modo de operação direta.

YORK MILLENNIUM SCREW CHILLER SELECTION PROGRAM (AF0101)
 ISSUE DATE: 03/04 REV. v4_25.I.D.D
 PROJECT - DATE- 07/23/04
 SALES ENGINEER - PAGE- 1 OF 2
 CUSTOMER -

PART LOAD PERFORMANCE FOR:

OPEN SCREWPAK MODEL YSDACAS3-CME0 REFRIG = 22 HERTZ = 60

COOLING DUTY - CWT IS WATER TEMP ENTERING CONDENSER

PERCENT LOAD	CAPACITY (TONS)	PERCENT POWER	INPUT POWER (KW)	CWT (F)	UNIT PERF (KW/TON)
100	350	100	250	85.1	0.714
90	315	82	205	81.1	0.651
80	280	67	169	77.1	0.604
70	245	54	135	73.0	0.551
60	210	41	105	69.0	0.500
50	175	32	82	65.0	0.469
40	140	30	75	65.0	0.536
30	105	26	67	65.0	0.638
20	70	24	60	65.0	0.857
11	39	22	57	65.0	1.462

REFLECTS LAST VALID CAPACITY POINT OF COMPRESSOR

INPUT DATA - (0= NOT SPECIFIED)

CAPACITY (TONS) = 350 MOTOR CODE = CM VOLTS = 380

STARTER TYPE = 1 SSS INRUSH = 1330 6 LEAD FLA 440 LRA 2955

STARTER NAME = SOLID STATE STARTER

SSS FLA = 510 SSS LRA = 3111 SSS SIZE = 14LB-50

EVAPORATOR - TUBE = 182 FLUID = BRINE EG 28.0 % BY WT.

PASSES = 2 GPM = 855 FOULING FACTOR = 0.00010 LEAV TMP (F) = 42.8

CONDENSER - TUBE = 261

PASSES = 2 GPM = 1050 FOULING FACTOR = 0.00025

MAX MOTOR KW = 257

RATINGS OUTSIDE THE SCOPE OF ARI STANDARD 550/590

COMPLIANT WITH ASHRAE 90.1.

ANEXO D

Tabela A.3 - Tarifação do gás Natural no estado de Santa Catarina (SCGAS, 2006)²⁴.

SCGAS	
	VALOR
CONSUMO (m³/dia)	(R\$/m³)
Até 5	1,9743
6 a 10	1,2218
11 a 70	1,3035
71 a 1.000	0,8301
1.001 a 5.000	0,8177
5.001 a 10.000	0,8157
10.001 a 25.000	0,8135
25.001 a 50.000	0,8117
50.001 a 100.000	0,809
100.001 a 150.000	0,8072
150.001 a 200.000	0,8048
200.001 a 1.000.000	0,8048
Demanda Fixa (R\$/m ³)	0,2106
Sobre Demanda (R\$/m ³)	0,4215
Consumo Maximo Simulado (m³/mês)	
	34.798,1911357736
Demanda mensal (R\$)	
	7.328,50

²⁴ ICMS já incluído na tarifa.

ANEXO E

Tabela A.4 – Tarifação do gás natural no estado de São Paulo (COMGAS, 2006).

<i>Segmento Industrial</i> ²⁵					
Classe	m ³ /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável R\$/m ³	Fixo R\$/mês	Variável R\$/m ³
1	Até 5,00 m ³	17,92	0	20,36	0
2	5,01 a 50,00 m ³	1,71	3,051595	1,94	3,467722
3	50,01 a 130,00 m ³	26,97	2,556838	30,65	2,905498
4	130,01 a 1.000,00 m ³	126,91	1,795509	144,22	2,040351
5	1.000,01 a 5.000,00 m ³	237,56	1,685105	269,95	1,914892
6	5.000,01 a 50.000,00 m³	3.352,10	1,063422	3.809,20	1,208434
7	50.000,01 a 300.000,00 m ³	20.112,54	0,728224	22.855,16	0,827527
8	300.000,01 a 500.000,00 m ³	33.520,90	0,68349	38.091,93	0,776693
9	500.000,01 a 1.000.000,00 m ³	40.225,08	0,670064	45.710,32	0,761436
10	1.000.000,01 a 2.000.000,00 m ³	60.337,64	0,649953	68.565,50	0,738583
11	Acima de 2.000.000,00 m ³	80.450,18	0,63995	91.420,66	0,727216

²⁵ 1) Atende também ao Poder Público;

2) Consumo mensal máximo de gás natural de 34.798,19 Nm³/mês.

ANEXO F

Tabela A.5 – Tarifação do gás natural no estado do Rio de Janeiro (CEG, 2006).

Tarifas - CEG RIO - Vigência: 01/01/2006		
Consumidor	Faixa de Consumo (m³/mês)	* Tarifa limite R\$/m³
Residencial	0 - 7	2,171
	8 - 23	2,8799
	24 - 83	3,5295
	acima de 83	3,7355
Industrial	0 - 200	2,0336
	201 - 2.000	1,1282
	2.001 - 10.000	0,9855
	10.001 - 50.000	0,7892
	50.001 - 100.000	0,7124
	100.001 - 300.000	0,6304
	300.001 - 600.000	0,5331
	600.001 - 1.500.000	0,5306
	1.500.001 - 3.000.000	0,5235
		Demanda Fixa (R\$/m³)
	Sobre Demanda (R\$/m³)	0,246
<hr/> Consumo máximo <hr/>		
34.798,1911357736		
<hr/> Demanda mensal (R\$) <hr/>		
3.201,43		

- 1) Regiões abastecidas pelo city-gate Cabiúnas
- 2) Conta mínima mensal para gás natural equivalente a 7 m³ R\$15,20 para regiões abastecidas pelo city-gate Cabiúnas (*).
- 3) Conta mínima mensal para gás natural equivalente a 7 m³ R\$15,37 para Demais Regiões.
- 4) Gás natural: Preço de venda ao consumidor nas condições PCS: 9.400 kcal/m³, pressão = 1 atm e temperatura = 20° C.
- 5) As tarifas são aplicadas em cascata, ou seja, aplicam-se progressivamente, em cada uma das faixas de consumo.
- 6) Tarifas com todos os tributos já incluídos.
- 7) Atende atualmente, regiões de: Campos, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Rio das Ostras, Macaé, São Pedro d'Aldeia, Barra de São João, Casimiro de Abreu, Silva Jardim.

ANEXO G

Planilhas para composição da análise de sensibilidade a taxa de desconto (TIR)

Tabela A.6 – Avaliação da TIR em relação a VAL, CUL e C/B no cenário 1.

RESUMO DO CENÁRIO 1														
Células variáveis:														
	i (%)	14,50%	1,00%	10,00%	14,50%	20,00%	30,00%	40,00%	50,00%	60,00%	70,00%	80,00%	90,00%	100,00%
URLs Absorção	VAL 1 (R\$)	-2.222.331,40	-2.203.509,39	-2.220.281,91	-2.222.331,40	-2.223.345,90	-2.223.866,46	-2.223.968,12	-2.223.990,48	-2.223.995,93	-2.223.997,38	-2.223.997,80	-2.223.997,93	-2.223.997,98
	VAL 2 (R\$)	-3.794.116,04	-10.636.793,07	-5.018.245,53	-3.794.116,04	-2.870.331,10	-1.954.465,75	-1.471.841,85	-1.178.527,95	-982.320,80	-842.038,19	-736.795,77	-654.932,97	-589.440,68
	VAL TOTAL (R\$)	-6.016.447,45	-12.840.302,46	-7.238.527,44	-6.016.447,45	-5.093.677,00	-4.178.332,21	-3.695.809,97	-3.402.518,43	-3.206.316,73	-3.066.035,58	-2.960.793,57	-2.878.930,90	-2.813.438,65
	CUL 1 (R\$)	345.771,84	124.378,93	261.666,46	345.771,84	456.846,43	670.768,30	890.675,68	1.112.337,27	1.334.510,43	1.556.837,34	1.779.212,51	2.001.603,58	2.224.000,14
	CUL 2 (R\$)	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24	589.441,24
	CUL TOTAL (R\$)	935.213,08	713.820,17	851.107,70	935.213,08	1.046.287,66	1.260.209,54	1.480.116,92	1.701.778,51	1.923.951,67	2.146.278,57	2.368.653,75	2.591.044,82	2.813.441,38
	C/B (R\$/kW)	0,1538	0,1174	0,1400	0,1538	0,1721	0,2073	0,2435	0,2799	0,3165	0,3530	0,3896	0,4262	0,4628
	C/B (R\$/TR)	0,0438	0,0334	0,0398	0,0438	0,0489	0,0590	0,0692	0,0796	0,0900	0,1004	0,1108	0,1212	0,1316
URLs Compressão	VAL 1 (R\$)	-1.595.660,56	-1.569.309,74	-1.592.791,26	-1.595.660,56	-1.597.080,85	-1.597.809,63	-1.597.951,96	-1.597.983,27	-1.597.990,90	-1.597.992,93	-1.597.993,52	-1.597.993,70	-1.597.993,76
	VAL 2 (R\$)	-3.227.451,19	-9.048.149,83	-4.268.752,55	-3.227.451,19	-2.441.636,85	-1.662.559,27	-1.252.016,98	-1.002.510,57	-835.607,66	-716.276,76	-626.752,67	-557.116,38	-501.405,59
	VAL TOTAL (R\$)	-4.823.111,75	-10.617.459,57	-5.861.543,81	-4.823.111,75	-4.038.717,70	-3.260.368,90	-2.849.968,94	-2.600.493,84	-2.433.598,56	-2.314.269,70	-2.224.746,19	-2.155.110,07	-2.099.399,35
	CUL 1 (R\$)	248.621,48	90.142,87	188.310,84	248.621,48	328.345,94	481.989,51	639.979,15	799.242,51	958.877,33	1.118.623,78	1.278.405,28	1.438.198,32	1.597.995,35
	CUL 2 (R\$)	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07
	CUL TOTAL (R\$)	750.027,55	591.548,94	689.716,91	750.027,55	829.752,01	983.395,58	1.141.385,22	1.300.648,59	1.460.283,40	1.620.029,85	1.779.811,35	1.939.604,39	2.099.401,42
	C/B (R\$/kW)	0,1234	0,0973	0,1135	0,1234	0,1365	0,1618	0,1877	0,2139	0,2402	0,2665	0,2928	0,3191	0,3453
	C/B (R\$/TR)	0,0351	0,0277	0,0323	0,0351	0,0388	0,0460	0,0534	0,0608	0,0683	0,0758	0,0833	0,0907	0,0982

Tabela A.7 - Avaliação da TIR em relação a VAL, CUL e C/B no cenário 2.

RESUMO DO CENÁRIO 2														
Células variáveis:														
	i (%)	14,50%	1,00%	10,00%	14,50%	20,00%	30,00%	40,00%	50,00%	60,00%	70,00%	80,00%	90,00%	100,00%
URLs Absorção	VAL 1 (R\$)	-2.222.331,40	-2.203.509,39	-2.220.281,91	-2.222.331,40	-2.223.345,90	-2.223.866,46	-2.223.968,12	-2.223.990,48	-2.223.995,93	-2.223.997,38	-2.223.997,80	-2.223.997,93	-2.223.997,98
	VAL 2 (R\$)	-3.154.809,14	-8.844.498,06	-4.172.673,34	-3.154.809,14	-2.386.681,56	-1.625.139,12	-1.223.837,14	-979.946,50	-816.800,17	-700.155,12	-612.646,00	-544.577,05	-490.120,18
	VAL TOTAL (R\$)	-5.377.140,54	11.048.007,45	-6.392.955,25	-5.377.140,54	-4.610.027,46	-3.849.005,58	-3.447.805,26	-3.203.936,99	-3.040.796,10	-2.924.152,51	-2.836.643,80	-2.768.574,98	-2.714.118,15
	CUL 1 (R\$)	345.771,84	124.378,93	261.666,46	345.771,84	456.846,43	670.768,30	890.675,68	1.112.337,27	1.334.510,43	1.556.837,34	1.779.212,51	2.001.603,58	2.224.000,14
	CUL 2 (R\$)	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65	490.120,65
	CUL TOTAL (R\$)	835.892,49	614.499,58	751.787,11	835.892,49	946.967,07	1.160.888,95	1.380.796,33	1.602.457,92	1.824.631,07	2.046.957,98	2.269.333,16	2.491.724,23	2.714.120,79
	C/B (R\$/kW)	0,1375	0,1011	0,1237	0,1375	0,1558	0,1910	0,2271	0,2636	0,3001	0,3367	0,3733	0,4099	0,4465
	C/B (R\$/TR)	0,0391	0,0287	0,0352	0,0391	0,0443	0,0543	0,0646	0,0750	0,0854	0,0958	0,1062	0,1166	0,1270
	URLs Compressão	VAL 1 (R\$)	-1.595.660,56	-1.569.309,74	-1.592.791,26	-1.595.660,56	-1.597.080,85	-1.597.809,63	-1.597.951,96	-1.597.983,27	-1.597.990,90	-1.597.992,93	-1.597.993,52	-1.597.993,70
VAL 2 (R\$)		-3.227.451,19	-9.048.149,83	-4.268.752,55	-3.227.451,19	-2.441.636,85	-1.662.559,27	-1.252.016,98	-1.002.510,57	-835.607,66	-716.276,76	-626.752,67	-557.116,38	-501.405,59
VAL TOTAL (R\$)		-4.823.111,75	10.617.459,57	-5.861.543,81	-4.823.111,75	-4.038.717,70	-3.260.368,90	-2.849.968,94	-2.600.493,84	-2.433.598,56	-2.314.269,70	-2.224.746,19	-2.155.110,07	-2.099.399,35
CUL 1 (R\$)		248.621,48	90.142,87	188.310,84	248.621,48	328.345,94	481.989,51	639.979,15	799.242,51	958.877,33	1.118.623,78	1.278.405,28	1.438.198,32	1.597.995,35
CUL 2 (R\$)		501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07
CUL TOTAL (R\$)		750.027,55	591.548,94	689.716,91	750.027,55	829.752,01	983.395,58	1.141.385,22	1.300.648,59	1.460.283,40	1.620.029,85	1.779.811,35	1.939.604,39	2.099.401,42
C/B (R\$/kW)		0,1234	0,0973	0,1135	0,1234	0,1365	0,1618	0,1877	0,2139	0,2402	0,2665	0,2928	0,3191	0,3453
C/B (R\$/TR)		0,0351	0,0277	0,0323	0,0351	0,0388	0,0460	0,0534	0,0608	0,0683	0,0758	0,0833	0,0907	0,0982

Tabela A.8 - Avaliação da TIR em relação a VAL, CUL e C/B no cenário3.

RESUMO DO CENÁRIO 3														
Células variáveis:														
	i (%)	14,50%	1,00%	10,00%	14,50%	20,00%	30,00%	40,00%	50,00%	60,00%	70,00%	80,00%	90,00%	100,00%
URLs Absorção	VAL 1 (R\$)	-2.222.331,40	-2.203.509,39	-2.220.281,91	-2.222.331,40	-2.223.345,90	-2.223.866,46	-2.223.968,12	-2.223.990,48	-2.223.995,93	-2.223.997,38	-2.223.997,80	-2.223.997,93	-2.223.997,98
	VAL 2 (R\$)	-2.737.528,31	-7.674.652,50	-3.620.761,48	-2.737.528,31	-2.070.999,56	-1.410.184,95	-1.061.962,44	-850.330,77	-708.763,51	-607.546,89	-531.612,44	-472.546,84	-425.292,88
	VAL TOTAL (R\$)	-4.959.859,72	-9.878.161,89	-5.841.043,39	-4.959.859,72	-4.294.345,46	-3.634.051,40	-3.285.930,56	-3.074.321,26	-2.932.759,44	-2.831.544,27	-2.755.610,24	-2.696.544,77	-2.649.290,86
	CUL 1 (R\$)	345.771,84	124.378,93	261.666,46	345.771,84	456.846,43	670.768,30	890.675,68	1.112.337,27	1.334.510,43	1.556.837,34	1.779.212,51	2.001.603,58	2.224.000,14
	CUL 2 (R\$)	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28	425.293,28
	CUL TOTAL (R\$)	771.065,13	549.672,22	686.959,75	771.065,13	882.139,71	1.096.061,59	1.315.968,97	1.537.630,56	1.759.803,71	1.982.130,62	2.204.505,80	2.426.896,87	2.649.293,43
	C/B (R\$/kW)	0,1268	0,0904	0,1130	0,1268	0,1451	0,1803	0,2165	0,2529	0,2895	0,3260	0,3626	0,3992	0,4358
	C/B (R\$/TR)	0,0361	0,0257	0,0321	0,0361	0,0413	0,0513	0,0616	0,0719	0,0823	0,0927	0,1031	0,1135	0,1239
URLs Compressão	VAL 1 (R\$)	-1.595.660,56	-1.569.309,74	-1.592.791,26	-1.595.660,56	-1.597.080,85	-1.597.809,63	-1.597.951,96	-1.597.983,27	-1.597.990,90	-1.597.992,93	-1.597.993,52	-1.597.993,70	-1.597.993,76
	VAL 2 (R\$)	-3.227.451,19	-9.048.149,83	-4.268.752,55	-3.227.451,19	-2.441.636,85	-1.662.559,27	-1.252.016,98	-1.002.510,57	-835.607,66	-716.276,76	-626.752,67	-557.116,38	-501.405,59
	VAL TOTAL (R\$)	-4.823.111,75	-10.617.459,57	-5.861.543,81	-4.823.111,75	-4.038.717,70	-3.260.368,90	-2.849.968,94	-2.600.493,84	-2.433.598,56	-2.314.269,70	-2.224.746,19	-2.155.110,07	-2.099.399,35
	CUL 1 (R\$)	248.621,48	90.142,87	188.310,84	248.621,48	328.345,94	481.989,51	639.979,15	799.242,51	958.877,33	1.118.623,78	1.278.405,28	1.438.198,32	1.597.995,35
	CUL 2 (R\$)	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07	501.406,07
	CUL TOTAL (R\$)	750.027,55	591.548,94	689.716,91	750.027,55	829.752,01	983.395,58	1.141.385,22	1.300.648,59	1.460.283,40	1.620.029,85	1.779.811,35	1.939.604,39	2.099.401,42
	C/B (R\$/kW)	0,1234	0,0973	0,1135	0,1234	0,1365	0,1618	0,1877	0,2139	0,2402	0,2665	0,2928	0,3191	0,3453
	C/B (R\$/TR)	0,0351	0,0277	0,0323	0,0351	0,0388	0,0460	0,0534	0,0608	0,0683	0,0758	0,0833	0,0907	0,0982

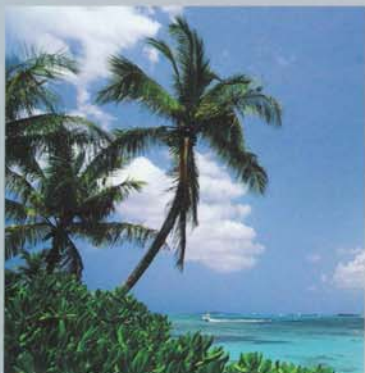
ANEXO H

Catálogo do equipamento de absorção utilizado na análise de viabilidade.

High Efficiency

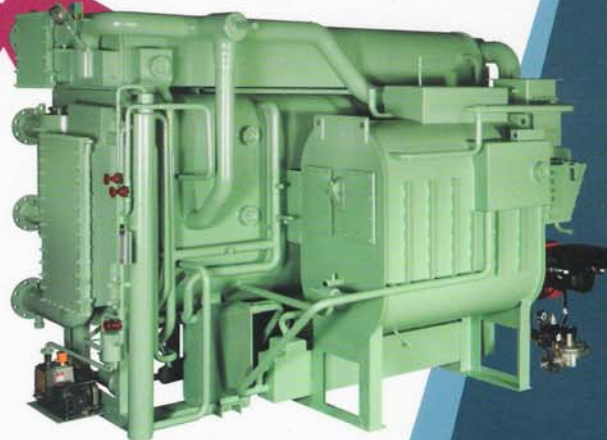
LS Direct-Fired Absorption Machine

COP 1.36



NEW

World Highest Level!!



LDF-G Series



Absorption Machine

LDF-G Series

■ Specification

Model		Unit	LDF-G010S	LDF-G012S	LDF-G015S	LDF-G018S	LDF-G021S	LDF-G024S	LDF-G028S	LDF-G032S
Cooling Capacity	USRT		100	120	150	180	210	240	280	320
	kW		352	422	528	633	739	844	985	1,125
Heating Capacity	kcal/h		255,255	255,255	306,306	382,883	459,459	536,036	612,612	714,714
	kW		297	297	356	445	534	623	712	831
Chilled Water (Hot Water)	Inlet/Outlet Temp	°C	12 → 7							
	Flow Rate	m ³ /h	60.5	72.6	90.7	108.9	127.0	145.2	169.3	193.5
	Connection	A	80		100		125		150	
Hot Water	Inlet/Outlet Temp	°C	56.3 → 60							
	Flow Rate	m ³ /h	60.5	72.6	90.7	108.9	127.0	145.2	169.3	193.5
	Connection	A	80		100		125		150	
Cooling Water	Inlet/Outlet Temp	°C	32 → 37							
	Flow Rate	m ³ /h	100	120	150	180	210	240	280	320
	Connection	A	125			150		200		
Fuel Consumption (GAS)	Connection	A	40 (4,000mmAq)							
	Cooling	Nm ³ /h	23.4	28.1	35.1	42.1	49.1	56.1	65.5	74.8
	Heating	Nm ³ /h	28.6	28.6	34.3	42.9	51.5	60.1	68.6	80.1
	Phase/Volts/Hz		3∅, 220~460V, 50 / 60Hz							
The Electric Feature	Total Current	A	16.6		18.4		20.3		23.9	
	Wire Size	mm ²			3.5				16.4	
	Power	KVA	10.9		12.1		13.4		15.7	
Power Supply	Absorbent Pump 1	kW(A)	2.2(6.4)		3.0(8.2)				3.4(9.1)	
	Absorbent Pump 2	kW(A)			0.8(2.8)				1.5(5.0)	
	Refrigerant Pump	kW(A)			0.2(1.3)				0.4(1.8)	
	Purge Pump	kW(A)			0.4(1.0)					
Dimension	Burner Fan(GAS)	kW(A)	0.75(2.1)		1.1(4.0)		1.5(4.0)		2.2(5.0)	
	Length	mm	2,700		3,670		3,690		4,730	
	Width	mm	2,000		2,200		2,320		2,440	
	Height	mm	2,000		2,550					
Weight	Operating	ton	6.8	7.2	7.8	8.6	9.4	9.9	11.3	11.9
	Max. Shipping	ton	5.4	5.8	6.5	7.2	7.9	8.4	9.5	10.1
	Total Shipping	ton	5.4	5.8	6.5	7.2	7.9	8.4	9.5	10.1

Model		Unit	LDF-G036S	LDF-G040S	LDF-G045S	LDF-G050S	LDF-G056S	LDF-G063S	LDF-G070S	LDF-G080S
Cooling Capacity	USRT		360	400	450	500	560	630	700	800
	kW		1,266	1,407	1,583	1,758	1,969	2,216	2,462	2,813
Heating Capacity	kcal/h		816,816	918,918	1,021,020	1,148,648	1,276,275	1,429,428	1,608,107	1,786,785
	kW		950	1,069	1,187	1,336	1,484	1,662	1,870	2,078
Chilled Water (Hot Water)	Inlet/Outlet Temp	°C	12 → 7							
	Flow Rate	m ³ /h	217.7	241.9	272.2	302.4	338.7	381.0	423.4	483.8
	Connection	A	150		200		250		350	
Hot Water	Inlet/Outlet Temp	°C	56.3 → 60							
	Flow Rate	m ³ /h	217.7	241.9	272.2	302.4	338.7	381.0	423.4	483.8
	Connection	A	150		200		250		350	
Cooling Water	Inlet/Outlet Temp	°C	32 → 37							
	Flow Rate	m ³ /h	360	400	450	500	560	630	700	800
	Connection	A	200		250		300		350	
Fuel Consumption (GAS)	Connection	A	40 (4,000mmAq)				50 (4,000mmAq)			
	Cooling	Nm ³ /h	84.2	93.6	105.3	117.0	131.0	147.4	163.7	187.1
	Heating	Nm ³ /h	91.5	103.0	114.4	128.7	143.0	160.2	180.2	200.2
	Phase/Volts/Hz		3∅, 220~460V, 50 / 60Hz							
The Electric Feature	Total Current	A	24.9		30.3		33.9		39.8	
	Wire Size	mm ²	3.5		5.5		14.0		26.2	
	Power	KVA	16.4		19.9		22.3		25.50	
Power Supply	Absorbent Pump 1	kW(A)	3.4(9.1)		3.7(11.0)		5.5(14.6)		2.2(6.4)	
	Absorbent Pump 2	kW(A)	1.5(5.0)		1.8(5.4)		0.4(1.8)			
	Refrigerant Pump	kW(A)			0.4(1.8)					
	Purge Pump	kW(A)			0.4(1.0)					
Dimension	Burner Blower(GAS)	kW(A)	2.2(5.0)		3.7(8.1)		5.5(13.0)			
	Length	mm	4,830		5,980		6,100		7,200	
	Width	mm	2,720		2,720		2,780		3,080	
	Height	mm	2,720		2,720		2,820		2,820	
Weight	Operating	ton	14.8	15.4	19.1	20.8	25.5	30.0	33.9	38.4
	Max. Shipping	ton	12.6	13.2	13.3	14.0	21.6	25.1	28.0	31.5
	Total Shipping	ton	12.6	13.2	16.5	17.9	21.6	25.1	28.0	31.5

1. 1USRT=3.52kW(3,024kcal/h)

2. Standard water(Chilled & Cooling Water Circuit) = 981kPa(10kg/cm²G)

3. Fuel Consumption rate is based on high calorific value 44MJ/Nm³ (=10,500kcal/Nm³)

ANEXO I



Dados utilizados para a seleção dos equipamentos

Temperatura da água gelada:.....11,8° / 7,0°C
Temperatura da água de condensação:.....29,5° / 37,0°C
Máquina:.....Fogo direto de duplo estágio com gás natural
PCI do GN:.....8.600 kcal/m³
Capacidade.....360 TR
Quantidade:.....03 (três) chillers
Tipo de chiller..... High Efficiency (*)

(*) O modelo de chillers fogo direto de alta eficiência, com COP de 1,36, resulta em um menor consumo específico de gás natural.

Chiller por absorção “Direct-Fired” duplo estágio 360 TR – dados de seleção:

- Fabricante:.....LS Cable;
- Modelo:.....LDF-G036S;
- Duplo estágio;
- Quantidade.....03 (três);
- Capacidade de resfriamento:..... 360 TR;
- Temperatura da água gelada:.....11,8° / 7,0°C;
- Temperatura da água de condensação:.....29,5° / 37,0°C;
- Sistema de controle:.....programador microprocessado;
- PCI do GN:.....8.600 kcal/m³
- Consumo de GN @ 100% de capacidade.....92,6 m³/h;
- COP @ 100% de carga.....1,36
- COP máximo.....1,693 @ 50% de carga
- Vazão de água gelada:.....226,8 m³/h;
- Vazão de água de condensação:.....251,9 m³/h;
- Fator de incrustação no evaporador:.....0,00002 m².h.°C/kcal
- Fator de incrustação no condensador:.....0,00004 m².h.°C/kcal
- Consumo elétrico (380 V/ 3φ/ 60 Hz):
 - Bomba de absorvente 01: 3,40 kW / 9,1 A
 - Bomba de absorvente 02: 1,50 kW / 5,0 A
 - Bomba de refrigerante: 0,40 kW / 1,80 A
 - Bomba de purga: 0,40 kW / 1,00 A
 - Queimador: 3,70 kW / 8,10 A
 - CORRENTE TOTAL 24,9 A
- Dimensões:
 - Comprimento: 4.830 mm;
 - Largura: 2.720 mm;

- *Altura:* 2.720 mm;
- *Peso:*
 - *Operação:* 14.800 kg;
 - *Embarque:* 12.600 kg;
- **EMBARQUE:**.....Corpo único
- *Isolamento:*
 - *Superfície quente* Lã de vidro;
 - *Superfície fria:* Borracha esponjosa;
- **PINTURA:**.....Munsell, Cor nº : N-7.0
- *Soluções:*
 - *Refrigerante* Água destilada (H₂O)
 - *Absorvente:* Brometo de Lítio (LiBr 55% em peso)
 - *Inibidor:* Molibdato de Lítio (Li₂MoO₄)
- **DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA**
 - Pressostato diferencial na água gelada;
 - Proteção anticongelamento;
 - Sensor de temperatura na água gelada;
 - Controle de parada e operação da bomba de refrigerante;
- **CONTROLE DE CAPACIDADE:**.....20 a 100% da capacidade total.

