

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS
NUCLEARES

Fabício Vieira Andrade

ESTUDO DE PLANEJAMENTO
ENERGÉTICO NO LONGO PRAZO PARA O
MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE COM
ÊNFASE NO APROVEITAMENTO DE
RECURSOS DOMÉSTICOS

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Fabrício Vieira Andrade

**ESTUDO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NO
LONGO PRAZO PARA O MUNICÍPIO DE BELO
HORIZONTE COM ÊNFASE NO APROVEITAMENTO
DE RECURSOS DOMÉSTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares.

Área de concentração: Engenharia da Energia

Linha de pesquisa: Planejamento Energético

Orientador: Ricardo Brant Pinheiro

Belo Horizonte



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Departamento de Engenharia Nuclear
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS
NUCLEARES**

TÍTULO DA 328ª DISSERTAÇÃO

**“ESTUDO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NO LONGO PRAZO PARA
O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE COM ÊNFASE NO
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RECURSOS DOMÉSTICOS”**

ALUNO: FABRÍCIO VIEIRA ANDRADE

Dissertação defendida e aprovada pela Comissão Examinadora constituída por:

| | | |
|---|-------------------------|------------------|
| Prof. Dr. Vinícius Verna Magalhães | Indicação: CDTN/CNEN | Indicação: 1º/2º |
| Prof. Dr. Paulo César da Costa Pinheiro | Indicação: DEMEC/EEUFMG | Indicação: 1º/2º |

Orientador: Ricardo Brant Pinheiro – DENU/EEUFMG, Doutor

Vinícius Verna Magalhães – CDTN/CNEN, Doutor

Paulo César da Costa Pinheiro – DEMEC/EEUFMG, Doutor

Belo Horizonte, 25 de março de 2008.

Área de Concentração: ENGENHARIA DA ENERGIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Departamento de Engenharia Nuclear
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares
Av. Antônio Carlos, 6627 Anexo PCA 1 - Campus UFMG - Pampulha
Belo Horizonte - MG - CEP: 31.270-901

ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES
ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE: **FABRÍCIO VIEIRA ANDRADE**
NÚMERO DE REGISTRO: 328*

Às 9:30 horas e às 15:00 horas do dia 25 do mês de março de 2008, reuniu-se na Escola de Engenharia da UFMG - Anexo PCA 1, a Comissão Examinadora da DISSERTAÇÃO, indicada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES, para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado: **"ESTUDO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NO LONGO PRAZO PARA O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE COM ÊNFASE NO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RECURSOS DOMÉSTICOS"**, sendo requisito parcial para a obtenção do Grau de MESTRE em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES. - Área de Concentração: ENGENHARIA DA ENERGIA.

Abrindo a sessão, o orientador, **Prof. Dr. Ricardo Brant Pinheiro**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa pelo candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

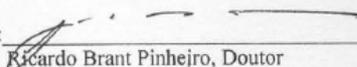
| | | | | | |
|-----------|-------------------------------|-------------|--------------|-----------|----------|
| Prof..Dr. | Ricardo Brant Pinheiro | Instituição | DENU/EEUFMG | Indicação | Aprovado |
| Prof. Dr. | Vinícius Verna Magalhães | Instituição | CDTN/CNEN | Indicação | Aprovado |
| Prof. Dr. | Paulo Cesar da Costa Pinheiro | Instituição | DEMEC/EEUFMG | Indicação | Aprovado |

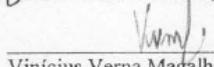
PARECER DA BANCA EXAMINADORA:

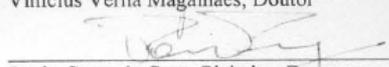
A banca aprova a dissertação sujeito à realização das modificações recomendadas, dando ao aluno o prazo de 2 (dois) meses

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 25 de março de 2008.

Presidente da Comissão:


Ricardo Brant Pinheiro, Doutor


Vinícius Verna Magalhães, Doutor


Paulo Cesar da Costa Pinheiro, Doutor

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer ao meu orientador professor Ricardo Brant Pinheiro, ao Departamento de Engenharia Nuclear, a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), aos colegas do departamento e principalmente à minha esposa pela força que me deram ao longo desde trabalho.

RESUMO

Este trabalho, dentre outros propósitos, busca avaliar a possibilidade de ampliar ou utilizar o potencial energético dos recursos domésticos e também de alternativas que possam contribuir com a melhoria do meio ambiente, em Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais. As alternativas tecnológicas avaliadas neste estudo foram: o aproveitamento energético do biogás para geração de energia elétrica e para ser usado como combustível veicular; a substituição de ônibus convencionais por ônibus com tecnologias que utilizam biogás; e a ampliação do uso de sistemas de aquecedores solares planos para o aquecimento de água no setor residencial. Foi feito um estudo de planejamento energético, no longo prazo (2004-2025), privilegiando a penetração das alternativas energéticas avaliadas, utilizando o modelo computacional ENPEP (módulo BALANCE), que faz projeções do balanço entre a oferta e a demanda de energia. Três cenários foram estabelecidos para o estudo: o Cenário Básico é um cenário moderado em que há ampliação de tecnologias já existentes, e também, novas tecnologias são incentivadas, moderadamente; o Cenário Ideal é um cenário mais otimista com relação ao Cenário Básico e o Cenário Demo é um cenário pessimista, em que, o aproveitamento energético dos recursos domésticos está restrito apenas ao campo da demonstração. Os resultados mostram que a geração de energia elétrica a partir do biogás poderá gerar 1,66 GWh/ano, no Cenário Básico e 5,0 GWh/ano, no Cenário Ideal, este último, com possibilidade de venda da energia excedente. O custo dessa energia deverá ser inferior ao preço da energia da concessionária. O biogás proveniente do aterro sanitário poderá substituir 15% do diesel utilizado no transporte coletivo urbano através de tecnologias do ciclo Otto (Dedicada e de “Ottolização”) e “Dual Fuel”, que utiliza uma mistura de biogás e diesel. O uso de ônibus utilizando biogás poderá reduzir em 4% o custo de operação deste sistema de transporte (no Cenário Ideal) e também reduzir as emissões de poluentes, principalmente de dióxido de carbono (CO₂), que poderá chegar a 15%, em 2025, para a tecnologia Dedicada e de “Ottolização”. A substituição do chuveiro elétrico e do aquecedor a GLP pelo aquecedor solar pode reduzir o custo de aquecimento de água em 66% ou mais, em 2025, como também desafogar o sistema elétrico, no horário de ponta. A substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar poderá economizar, no Cenário Básico, 53,8 GWh de energia elétrica, em 2025; no Cenário Ideal a economia poderá ser de 295,5 GWh e no Cenário Demo haveria um aumento de 34,5 GWh.

ABSTRACT

This work, among other purposes, attempts to assess the possibility to increase or use the energy power from domestic resources and also other alternatives, which could contribute to the improvement of the environment, in Belo Horizonte, capital of the State of Minas Gerais, Brazil. The technological alternatives included in this study were: the making-use of biogas to generate electricity its and the use of it as fuel in vehicles; the replacement of conventional buses for buses with technologies that make use of biogas, and the expansion of the number of solar heating systems for water heating in the household area and service sectors. It was also made a long-term energetic planning study, (2004-2025), focusing on the input of the energetic alternatives assessed, using the computational model ENPEP (BALANCE module) that makes projections of the energy supply and demand balance. Three scenarios were established: the Basic Scenario is moderate with enlargement use of present day technologies, and the use of new technologies was also enhanced in this scenario moderately. The Ideal Scenario is very optimistic in relation to the Basic Scenario, while the Demo Scenario is very pessimistic, making-use of domestic resources being restricted for demonstration. The results show that the electric energy generated from biogas can provide 1,66 GWh/year in the Basic Scenario, and 5,0GWh/year in the Ideal Scenario, this last one works with the possibility to sell the exceeding energy. The energy cost shall be inferior compared to the price of the energy from the utility. The biogas from landfill sites can replace 15% of diesel for urban transport through technologies of the Otto cycle (Dedicated and “Ottolization”) and the Dual Fuel technology, which uses a mixture of biogas and diesel. The use of buses with biogas fuel may reduce in 4% the cost of the operation of this transport system and the pollution emitted, mainly of carbon dioxide (CO₂), which can reach a reduction in 15%, in 2025, for the Dedicated and “Ottolization” technologies. The replacement of the electric shower and GLP heating for solar heating can reduce the cost of water heating in 66% or over, in 2025, and reduce the energy consumption in peak hours. The replacement of the electric shower for solar heating can save 53,8 GWh of electric energy in the Basic Scenario, in 2025; in the Ideal Scenario the economy might be 295,5 GWh, and in the Demo Scenario might increase 34,5 GWh.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | IX |
| LISTA DE TABELAS..... | XII |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | XIII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XV |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 OBJETIVO | 1 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA..... | 2 |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO | 2 |
| 2 A QUESTÃO ENERGÉTICA NAS GRANDES CIDADES | 3 |
| 2.1 O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RECURSOS DOMÉSTICOS | 4 |
| 2.2 ALGUMAS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS PARA O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE | 5 |
| 2.2.1 <i>O sistema de aquecimento solar</i> | <i>6</i> |
| 2.2.2 <i>Tecnologias e o uso do biogás no transporte coletivo urbano.....</i> | <i>9</i> |
| 2.2.3 <i>Utilização do biogás para geração de energia elétrica.....</i> | <i>15</i> |
| 3 MÉTODOS E HIPÓTESES..... | 16 |
| 3.1 O PLANEJAMENTO ENERGÉTICO..... | 16 |
| 3.1.1 <i>Etapas de um estudo de planejamento energético</i> | <i>17</i> |
| 3.1.2 <i>Modelos para planejamento energético.....</i> | <i>18</i> |
| 3.2 A REDE ENERGÉTICA PARA O ANO BASE..... | 25 |
| 3.2.1 <i>O ano-base.....</i> | <i>25</i> |
| 3.2.2 <i>Configuração da rede energética para o ano base.....</i> | <i>25</i> |
| 3.2.3 <i>Preços de insumos e custos das energias de uso final</i> | <i>28</i> |
| 3.2.4 <i>Emissões de poluentes atmosféricos no ano-base.....</i> | <i>29</i> |
| 3.3 HIPÓTESES PARA O ESTUDO | 31 |
| 3.3.1 <i>A rede energética futura avaliada</i> | <i>31</i> |
| 3.3.2 <i>Aspectos econômicos</i> | <i>33</i> |
| 3.3.3 <i>Projeções</i> | <i>34</i> |
| 3.3.4 <i>Cenários.....</i> | <i>38</i> |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 42 |
| 4.1 RESULTADOS PARA O CENÁRIO BÁSICO | 42 |
| 4.1.1 <i>Determinação do volume de água, consumo de eletricidade e consumo de GLP para o aquecimento de água.</i> | <i>42</i> |
| 4.1.2 <i>Determinação do custo de água aquecida.....</i> | <i>44</i> |
| 4.1.3 <i>Custo de autoprodução de energia elétrica na estação ETE Onça</i> | <i>46</i> |
| 4.1.4 <i>O consumo de diesel e biogás no setor de transporte coletivo urbano.....</i> | <i>47</i> |
| 4.1.5 <i>O custo do quilômetro percorrido no setor de transporte coletivo urbano</i> | <i>48</i> |
| 4.1.6 <i>Emissões de poluentes para o setor de transporte coletivo urbano.....</i> | <i>49</i> |
| 4.2 RESULTADOS PARA OS CENÁRIOS ALTERNATIVOS (IDEAL E DEMO)..... | 50 |
| 4.2.1 <i>Determinação do consumo de eletricidade e do consumo de GLP para o aquecimento de água</i> | <i>50</i> |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.2.2 | <i>A geração de energia elétrica a partir da queima do biogás</i> | 52 |
| 4.2.3 | <i>O custo do quilômetro rodado no setor de transporte coletivo urbano para os Cenários Ideal e Demo.</i> | 52 |
| 4.2.4 | <i>Comparação das emissões totais de poluentes para os três cenários</i> | 54 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 60 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |
| | APÊNDICES | 68 |
| A.1 | AQUECIMENTO SOLAR | 68 |
| A.2 | TRANSPORTE COLETIVO: DIESEL, GÁS E DIESEL-GÁS | 70 |
| A.3 | AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA..... | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 2.1 | Evolução dos preços do sistema termossolar no Brasil (reservatório, placa e instalação)..... | 7 |
| Figura 2.2 | Evolução da área instalada de aquecedores solares no Brasil | 8 |
| Figura 2.3 | Curva de geração de gás metano para o aterro delta | 10 |
| Figura 2.4 | Esquema básico do motor de 1ª geração da MBB..... | 12 |
| Figura 2.5 | Esquema de funcionamento de injeção “Dual Fuel” | 14 |
| Figura 3.1 | Esquema simplificado do estudo de planejamento energético | 17 |
| Figura 3.2 | Etapas do processo de realização da análise..... | 18 |
| Figura 3.3 | Nós para representação da rede energética..... | 21 |
| Figura 3.4 | Rede energética para o ano-base | 26 |
| Figura 3.5 | Custo para aquecimento de água no ano-base..... | 29 |
| Figura 3.6 | Emissões de poluentes atmosféricos no transporte coletivo urbano (ônibus) para o ano-base (2004) | 30 |
| Figura 3.7 | Emissões atmosféricas do aquecimento de água para o ano-base (2004) | 30 |
| Figura 3.8 | Rede energética futura avaliada | 32 |
| Figura 3.9 | Produto interno bruto para Belo Horizonte | 33 |
| Figura 3.10 | Consumo de energia elétrica em Belo Horizonte | 34 |
| Figura 3.11 | Elasticidade-renda do consumo de energia elétrica | 34 |
| Figura 3.12 | Preços projetados para o diesel (sem tributos) | 35 |
| Figura 3.13 | Preços projetados para o GLP (sem tributos) | 36 |
| Figura 3.14 | Número de passageiros no transporte coletivo em Belo Horizonte..... | 37 |
| Figura 3.15 | Número de ônibus no transporte coletivo em Belo Horizonte | 37 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 3.16 | Projeção da quantidade de placas instaladas de aquecedores solares | 41 |
| Figura 4.1 | Evolução do volume de água aquecida em Belo Horizonte – Cenário Básico. | 42 |
| Figura 4.2 | Quantidade de energia elétrica utilizada para o aquecimento de água no setor residencial – Cenário Básico | 43 |
| Figura 4.3 | Quantidade de GLP utilizado no setor residencial para o aquecimento de água – Cenário Básico | 43 |
| Figura 4.4 | Custo comparativo entre chuveiro elétrico e aquecedor solar para o aquecimento de água | 44 |
| Figura 4.5 | Custo comparativo entre aquecedor a gás e aquecedor solar para aquecimento de água | 45 |
| Figura 4.6 | Evolução dos custos de aquecimento de água para diversas tecnologias | 45 |
| Figura 4.7 | Projeção de preço para energia elétrica e custo de geração na ETE Onça | 46 |
| Figura 4.8 | Projeção do consumo de diesel para ônibus convencionais e para as três tecnologias que utilizam biogás como combustível – Cenário Básico | 47 |
| Figura 4.9 | Projeção de custo do quilômetro percorrido no setor de transporte – por tecnologia | 48 |
| Figura 4.10 | Comparação entre tecnologias para emissões de CO ₂ no setor de transporte coletivo urbano – Cenário Básico | 49 |
| Figura 4.11 | Comparação entre tecnologias para emissões de PM ₁₀ no setor de transporte coletivo urbano – Cenário Básico | 50 |
| Figura 4.12 | Consumo de eletricidade usado para aquecimento de água para os três cenários | 51 |
| Figura 4.13 | Consumo de GLP usado para aquecimento de água para os três cenários | 51 |
| Figura 4.14 | Geração de energia elétrica com biogás em Belo Horizonte para os três cenários | 52 |
| Figura 4.15 | Custo por quilômetro percorrido no setor de transporte coletivo em Belo Horizonte para os três cenários | 53 |
| Figura 4.16 | Evolução do custo por quilômetro percorrido no setor de transporte coletivo em Belo Horizonte para os três cenários | 54 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 4.17 | Comparação de emissões totais de CO ₂ para os três cenários | 54 |
| Figura 4.18 | Comparação de emissões totais de CH ₄ para os três cenários | 55 |
| Figura 4.19 | Comparação de emissões totais de CO para os três cenários | 56 |
| Figura 4.20 | Comparação de emissões totais de PM ₁₀ para os três cenários | 56 |
| Figura 4.21 | Comparação de emissões totais de HC para os três cenários | 57 |
| Figura 4.22 | Comparação de emissões totais de NO _x para os três cenários | 58 |
| Figura 4.23 | Comparação de emissões totais de SO _x para os três cenários | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabela 2.1 | Potencial de conservação de energia-papel e plástico. | 5 |
| Tabela 2.2 | Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares em 2004. | 9 |
| Tabela 2.3 | Evolução tecnológica dos motores da MBB..... | 11 |
| Tabela 2.4 | Preço e custo de O&M para cada rota tecnológica..... | 14 |
| Tabela 3.1 | Preços atualizados de insumos em US\$/MWh e US\$/GJ para o ano-base (2004) | 28 |
| Tabela 3.2 | Fatores de emissão de poluentes..... | 29 |
| Tabela 4.1 | Projeção de custo do quilômetro percorrido em 2025..... | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ABRAVA | Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ANL | Argonne National Laboratory (EUA) |
| BALANCE | Módulo do modelo ENPEP |
| BEEMG | Balanço Energético do Estado de Minas Gerais |
| BEN | Balanço Energético Nacional |
| BEU | Balanço de Energia Útil |
| BHTRANS | Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte |
| CCPE | Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico |
| CEMIG | Companhia Energética de Minas Gerais |
| CONPET | Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural |
| COPAM | Conselho Estadual de Política Ambiental |
| COPASA | Companhia de Saneamento de Minas Gerais |
| DOE | Departamento de Energia dos EUA |
| EIA | Energy Information Administration (EUA) |
| ENPEP | Energy and Power Evaluating Program |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| ETE | Estação de tratamento de esgoto |
| FGV | Fundação Getúlio Vargas |
| GLP | Gás liquefeito de petróleo |
| GNL | Gás natural liquefeito |
| IAEA | International Atomic Energy Agency: Agência Internacional de Energia Atômica |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IEA | International Energy Agency: Agência Internacional de Energia |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |
| IPK | Índice de passageiros por quilômetro |
| MBB | Mercedes Benz do Brasil |
| NTU | Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos |
| PCH | Pequena central hidrelétrica |
| PDEE | Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica |
| PIB | Produto Interno Bruto |

| | |
|---------|---|
| PNE | Plano Nacional de Energia |
| PROINFA | Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia |
| SLU | Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte |
| RAFA | Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente |
| EPA | Environmental Protection Agency (EUA) |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------|---|
| a | multiplicador de preço |
| $A(Q)$ | interseção da curva de suprimento para o recurso após prévia extração de uma quantidade acumulada Q do recurso no tempo t |
| B | inclinação da curva de suprimento do recurso |
| b | incremento de preço |
| C | coeficiente quadrático para a curva de suprimento |
| C_i | custo de produção de cada unidade do recurso |
| CRF | fator de recuperação de capital |
| IO_i | quantidade de energia requerida na entrada por unidade de energia na saída |
| L_i | quantidade do recurso |
| n | número de conexões de entrada para o nó de alocação/decisão |
| n,p | número total de conexões de entradas e saídas dos nós de alocação/decisão |
| OM | custo de operação e manutenção do processo, excluindo o custo do insumo |
| P_i | preço do insumo energético na entrada do processo |
| P_m | fator multiplicador na conexão de entrada |
| P_o | preço da energia na saída do processo |
| P_t | custo de produção ou de importação do recurso no tempo t |
| δQ | quantidade líquida de energia na saída do nó de alocação/decisão |
| Q_i | quantidade de energia na entrada do processo |
| Q_o | quantidade de energia na saída do processo |
| Q_t | quantidade do recurso produzido ou importado no tempo t |
| R_t | taxa de crescimento, em termos reais, do custo (preço) do recurso |
| S_i | fração da quantidade de entrada de energia alocada |

| | |
|----------|---|
| TCI | custo de capital total do sistema de conversão de energia |
| γ | coeficiente de sensibilidade do preço para o nó de alocação/decisão |
| η | eficiência do processo |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um país emergente. Tal título representa um amadurecimento das instituições e, principalmente, que o país está crescendo economicamente. Como exemplo, para dimensionar este crescimento em um cenário moderado construído no Plano Nacional de Energia (PNE-2030), é projetado um crescimento do produto interno bruto (PIB) de 4,1% a.a., no período de 2005 a 2030. Esta projeção é maior do que o crescimento do PIB no período de 2000 a 2004, que foi em média 2,6% a.a. (MME, 2006a).

Para citar o setor de energia elétrica, caso o país cresça 4,1% a.a. e a elasticidade renda do consumo de energia elétrica seja de 1,4, valor médio no período de 1993-2004 (MME, 2006a), o Brasil deverá gerar mais 5,7% a.a. de energia elétrica no mesmo período.

Para sustentar o crescimento econômico do país é necessário investir em infra-estrutura, mão-de-obra especializada e também é necessário investir no setor energético. Entretanto, além de investir no setor energético, do ponto de vista de geração de energia, é necessário investir no uso racional dos recursos energéticos.

Uma alternativa é trabalhar no lado da demanda. Considerando, como exemplo, uma elasticidade renda do consumo de energia elétrica igual a 0,9, para o mesmo crescimento econômico de 4,1% a.a seria necessário apenas aumentar a geração de 3,7% a.a., para o mesmo crescimento econômico. Porém, para que isso ocorra, são necessárias ações que possam otimizar o uso dos recursos energéticos.

1.1 *Objetivo*

Este trabalho, dentre outros propósitos, busca:

- Avaliar a ampliação e ou utilização do potencial energético dos recursos domésticos disponíveis no município de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais.
- Produzir informações para tomadores de decisões ou para realização de outros trabalhos.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Aproveitar recursos energéticos disponíveis na cidade, como biogás e energia solar.
- Avaliar alternativas tecnológicas que privilegiem o uso de recursos energéticos domésticos como geradores do ciclo Otto e ônibus “Dual Fuel”.
- Contribuir para tornar mais eficiente o setor energético, reduzindo o desperdício de recursos energéticos.
- Reduzir a quantidade de emissões de poluentes lançados no meio ambiente.
- Avaliar os impactos ambientais produzidos em diferentes cenários.

1.2 Justificativa

As motivações que justificam a produção desse trabalho passam pela idéia de que é impensável, no século XXI, produzir, transportar e consumir energia de forma irracional. Pensando desta forma, o aproveitamento energético no próprio local de consumo poderia: reduzir a dependência externa de energia, reduzir as perdas de energia devido às longas distâncias de transmissão e até estimular a sociedade local a utilizar o recurso energético de maneira mais consciente.

A motivação da escolha de uma cidade grande como Belo Horizonte é devido a:

- Esta é uma cidade com um elevado consumo de energia e sua produção é insignificante, portanto, importa quase toda sua energia.
- Ela é responsável por aproximadamente 1,4% do PIB nacional (IBGE, 2006), mostrando sua importância na economia nacional.
- É uma cidade que produz uma grande quantidade de resíduos sólidos.
- Possui uma enorme frota de ônibus e automóveis, que são responsáveis por degradar a qualidade do ar.

1.3 Organização da dissertação

A estrutura deste trabalho foi dividida em cinco capítulos, sendo que o Capítulo 1 é a introdução e apresentação do objetivo do trabalho, sua motivação e a organização da dissertação.

No Capítulo 2 é avaliado o potencial de alguns recursos domésticos que podem ser aproveitados em Belo Horizonte e algumas rotas tecnológicas de conversão de energia. No Capítulo 3 é apresentada a metodologia que foi utilizada no estudo, o programa que permitiu simular a rede da matriz energética estudada, (ENPEP, módulo BALANCE), alguns de seus algoritmos e detalhes técnicos para gerar resultados coerentes com os cenários escolhidos no estudo. São apresentados e discutidos os cenários e também são apresentadas considerações, simplificações e aproximações feitas para o estudo, mostrando suas limitações e alcance.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados do estudo, o banco de dados produzido em um formato simples para obtenção de informação de forma rápida e fácil, as análises dos resultados e a comparação dos resultados obtidos para os diferentes cenários.

Enfim, no Capítulo 5 são apresentadas às conclusões mais importantes discutidas no capítulo anterior e feitas recomendações para trabalhos posteriores.

2 A QUESTÃO ENERGÉTICA NAS GRANDES CIDADES

A energia é um dos bens mais preciosos do mundo. Este *status* está associado com os benefícios que ela pode trazer para o ser humano e com o estrondoso crescimento do consumo energético por um lado e o risco de escassez (principalmente de combustíveis fósseis) por outro.

Os benefícios da energia para o ser humano são os serviços e o conforto que ela pode oferecer ao homem. Com a revolução das máquinas e o desenvolvimento tecnológico, muitos inventos, que têm a função de substituir o trabalho humano ou trazer conforto, utilizam algum tipo de energia como fonte propulsora.

Dentre os combustíveis mais utilizados como fonte energética no mundo, destacam-se os fósseis; entretanto, eles não são renováveis. Como consequência, é esperado que cedo ou tarde ocorrerá à exaustão dos combustíveis fósseis, a começar pelo petróleo.

Não seria exagero dizer que qualquer nação necessita de energia, mesmo porque, aquelas que ainda vivem exclusivamente de economia da subsistência, ou seja, produzem apenas aquilo que necessitam, de uma forma ou outra utilizam a energia para melhorar sua produção ou aumentar o conforto do seu povo.

A disseminação do uso da energia no mundo trouxe benefícios para a humanidade, porém também problemas. Um deles é o aumento da exploração dos recursos energéticos. Outro problema é a degradação do meio ambiente, pois o uso indiscriminado de combustíveis fósseis contribui para a emissão de vários poluentes nocivos para o homem e desequilibra o ecossistema na terra, provocando, por exemplo, redução na camada de ozônio e o aquecimento global.

Alguns efeitos do aumento da demanda de energia e do risco de escassez dos recursos energéticos são:

- Elevação dos preços dos insumos de origem fóssil.
- Incentivos em projetos de eficiência energética.
- Redução do desperdício de energia.
- Desenvolvimento de projetos que utilizam fontes de energia alternativas às fósseis.

O Brasil é considerado um país emergente e, portanto, ao longo dos anos sua economia tem crescido acima das taxas dos países de economia madura. Para sustentar o crescimento econômico nacional são necessárias políticas que vão além da produção de energia; é preciso ações que busquem a redução do consumo de energia, do desperdício e uso de novas fontes energéticas.

Além da dificuldade do suprimento da demanda, outros desafios que o Brasil e o mundo precisam enfrentar são os impactos negativos que os crescimentos econômico e energético proporcionam. Dentre eles, pode-se citar:

- Grandes concentrações de poluentes atmosféricos, principalmente devido ao uso de combustível fóssil no setor de transporte, que é intenso;
- Dificuldades com o gerenciamento do lixo urbano devido à elevada quantidade gerada diariamente;
- Elevados níveis de poluição sonora.

No caso das grandes cidades, foco deste estudo, devido à suas proporções, todos esses problemas, ambiental, econômico e energético, tornam-se maiores. É também, principalmente, nas grandes cidades que pode surgir a possibilidade de se desenvolver projetos que contribuam para minimizar os problemas energéticos surgidos atualmente.

Para apresentar algumas alternativas que poderiam ser desenvolvidos nas grandes cidades, foi feito um estudo de caso usando a cidade de Belo Horizonte. Dentro das possibilidades de alternativas de projetos, foram focalizados projetos que privilegiam o aproveitamento de recursos domésticos. As alternativas energéticas avaliadas neste estudo foram:

- O aproveitamento energético do biogás gerado na estação de tratamento de esgoto (ETE Onça) para autoprodução de energia elétrica.
- O aproveitamento energético do biogás gerado no aterro sanitário de Belo Horizonte para ser usado como combustível veicular e/ou geração de energia elétrica.
- A substituição de ônibus convencionais por tecnologias que utilizam gás natural ou biogás.
- A ampliação do uso de sistemas de aquecedores solares planos para o aquecimento de água nos setores residencial e de serviços.

2.1 O aproveitamento energético de recursos domésticos

Partido do pressuposto de que o novo cenário energético brasileiro buscará alternativas para suprir a crescente demanda de energia nacional, não seria incoerente dizer que parte das soluções energéticas sairá dos próprios locais de consumo. Os motivos para afirmar tal proposição podem ser múltiplos; alguns deles são:

- A geração de energia no local do consumo reduz perdas por transmissão.
- Os projetos de aproveitamento energético podem se adequar às necessidades e realidades do local.
- Há conscientização da sociedade sobre a necessidade de se evitar o desperdício de energia.

- Os recursos energéticos importados deverão ser mais caros no futuro.

Uma forma de utilizar o potencial dos recursos energéticos nas grandes cidades é fazendo o uso da reciclagem de produtos que consomem bastante energia no seu processo de produção.

Segundo Oliveira (2004), o uso da reciclagem contribui para a redução do consumo de energia elétrica, amplia a segurança do sistema elétrico nacional ao utilizar os resíduos que estão próximos dos centros de consumo, e também reduz a quantidade de resíduos sólidos depositados em aterros. A Tabela 2.1 mostra o potencial de conservação de energia a partir da reciclagem de papel e plástico.

Tabela 2.1 Potencial de conservação de energia - papel e plástico

| Material | MWh/ tonelada |
|----------|---------------|
| Papel | 3,5 |
| Plástico | 5,3 |

Fonte: Oliveira et al., 2006.

Uma outra maneira de aproveitar o potencial dos recursos energéticos domésticos é utilizando tecnologias alternativas para à geração de energia, que possam:

- Aproveitar o potencial de co-geração de sistemas que produzem “calor”.
- Explorar o potencial da energia solar com células fotovoltaicas.
- Utilizar o potencial da energia eólica.
- Aproveitar o potencial do biogás gerado em aterros sanitários.
- Explorar o potencial da biomassa.

Dentre estas alternativas tecnológicas muitas delas podem ser utilizadas nas grandes cidades, trazendo eficiência energética para o município, tornando os centros consumidores menos cativos do uso de insumos energéticos tradicionais e melhorando a qualidade de vida dos moradores dessas cidades.

2.2 Algumas alternativas energéticas para o município de Belo Horizonte

Os recursos energéticos que, a princípio, poderiam ou são explorados no município de Belo Horizonte são:

- O gás de alto forno produzido pela empresa Vallourec & Mannesmann Tubes (V&M), o qual já está sendo aproveitado em uma termoelétrica para geração de energia elétrica.

- O biogás gerado no aterro sanitário, que pode ser usado como combustível veicular e na produção de eletricidade, utilizando grupos geradores e turbinas a gás.
- O biogás gerado na estação de tratamento de esgoto (ETE Onça), que pode ser usado também como combustível para veículos e geração de eletricidade; entretanto, neste caso, no lugar de turbinas a gás de grande porte é interessante avaliar a possibilidade de usar microturbinas.
- O processo de reciclagem também é uma solução energética, pois a reutilização reduz a necessidade de produção de novos produtos para o mercado.
- A energia dos ventos, com pequenas turbinas colocadas em prédios da cidade para produzir energia elétrica.
- E, finalmente, a energia solar, que já é utilizada na capital para o aquecimento de água, com o uso de coletores solares planos, sendo que esta solução deve ser ampliada para todas as classes sociais.

Neste estudo foram avaliadas a possibilidade do uso do biogás no transporte coletivo urbano, a produção de energia elétrica e a ampliação do uso do aquecimento de água com coletores solares.

2.2.1 O sistema de aquecimento solar

Neste estudo vai ser avaliada a alternativa tecnológica do aquecimento de água por meio do aquecedor solar para atender à demanda de água aquecida a baixa temperatura, água para banho.

Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) havia, no Brasil, quase três milhões de metros quadrados instalados de aquecedores solares em 2004, sendo que 85% da área instalada eram de instalações residenciais e, desse montante, 95% eram unifamiliares, restando em torno de 5% para instalações multifamiliares (ABRAVA, 2006). Segundo a Agência Internacional de Energia, a quantidade de coletores solares instalados no Brasil era de 2,7 milhões de m² em 2005 (IEA, 2005).

Segundo uma empresa de consultoria que atua em Belo Horizonte, conhecida pelo nome de Agência de Energia, estima-se que a capital mineira possuía, em 2006, 1.960¹ instalações para aquecimento solar de grande porte. A “BHSolar”, outra empresa do ramo, afirma que há mais de 1.200² prédios com instalações solares.

Diante das incertezas da quantidade de coletores solares (m²) instalados na cidade, adota-se que, em 2004, havia 1.500 instalações de aquecimento de água solar (sistemas de grande porte), sendo que este valor é um valor intermediário entre 1.200 e 1.960.

¹ Cunha R. Agência Energia, Belo Horizonte, comunicação pessoal, 2006

² Pimenta, M. BHSolar, Belo Horizonte, comunicação pessoal, 2006

Considerando que o mercado de aquecimento solar de Belo Horizonte siga o mercado nacional, pode-se estimar que cerca de 81% seja unifamiliar, 4% multifamiliar e 15% hotéis, empresas, clubes e outros. Em vista disso, 1.500 sistemas de grande porte representam 19% e 81% correspondem a instalações residenciais unifamiliares. No caso de residências unifamiliares, supôs que a instalação de sistema solar possui 2m² de área de coletores, por residência. No caso multifamiliar (316 sistemas) são considerados prédios com 10 apartamentos cada e 20 m² de área de coletores solares instalada. Em decorrência destas hipóteses, o total de área de coletores solares instalados em Belo Horizonte, em 2004, apresenta os seguintes valores.

$$\text{Sistemas multifamiliares: } 316 \times 20 \text{ m}^2 = 6.320 \text{ m}^2$$

$$\text{Sistemas unifamiliares: } 6.320\text{m}^2 \times 81\% / 4\% = 127.980 \text{ m}^2$$

$$\text{Total da área de aquecedores solares (setor residencial): } 134.300 \text{ m}^2$$

O custo do aquecimento solar tem sido uma das principais barreiras para penetração desta tecnologia na classe de baixa renda, entretanto, vem sendo reduzido continuamente; em 1980 era US\$ 500,00/m² e em 2005 estava em torno de US\$ 160,00/m², como mostra a Figura 2.1.

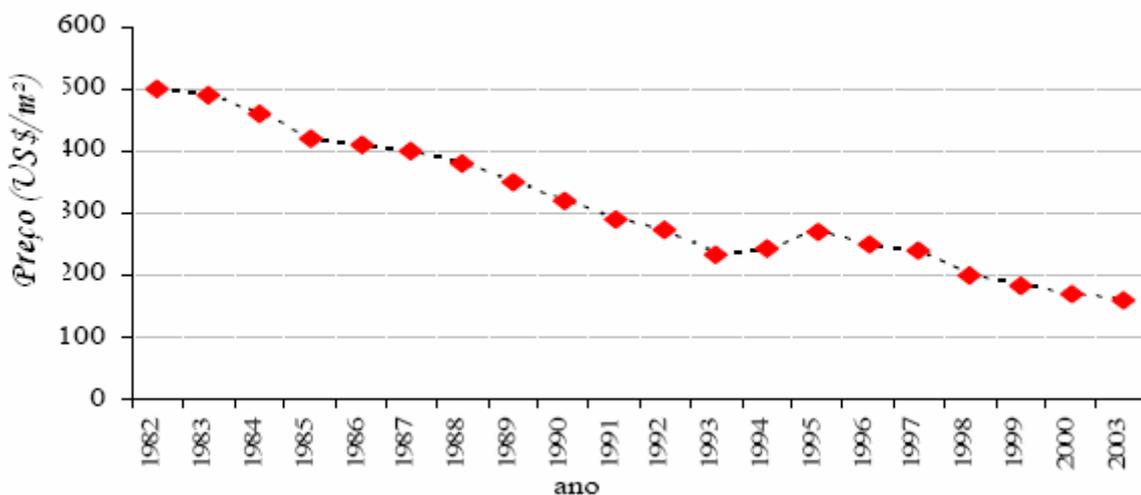


Figura 2.1 Evolução dos preços do sistema termossolar no Brasil (reservatório, placa e instalação)

Fonte: ABRAVA, 2003

Devido à redução dos preços dos sistemas solares, o número de coletores instalados no Brasil passou de valores desprezíveis na década de 1980 para cerca de quase três milhões de metros quadrados em 2004, como mostra a Figura 2.2.

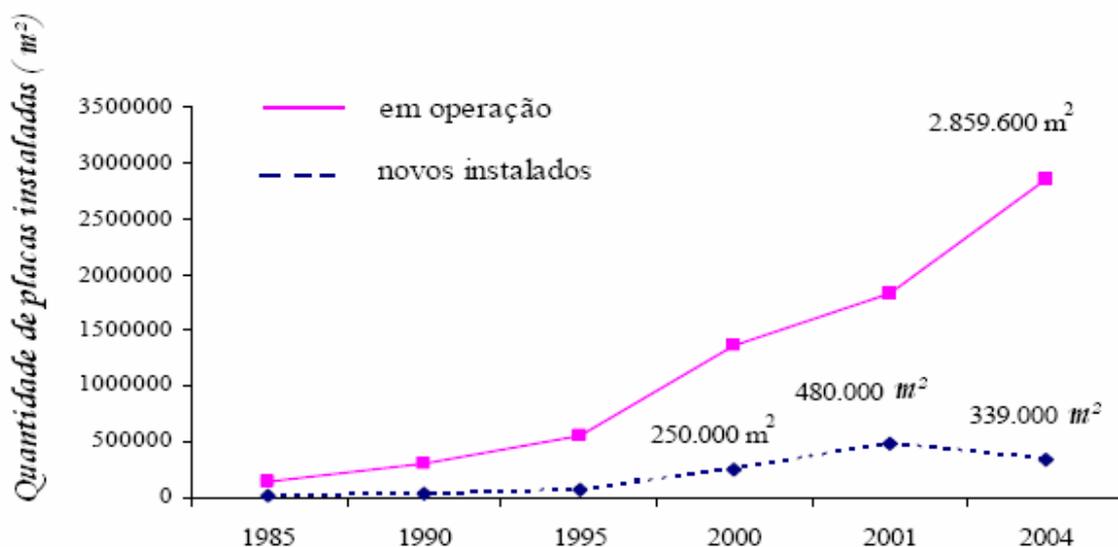


Figura 2.2 Evolução da área instalada de aquecedores solares no Brasil

Fonte: ABRAVA; 2005

Para estimar o impacto energético e econômico do aquecimento de água usando o sistema de aquecimento solar em comparação com os sistemas convencionais utilizados em Belo Horizonte, foi considerado, no caso dos sistemas unifamiliares e multifamiliares, que a demanda de água aquecida à baixa temperatura é suprida normalmente por aquecedores de passagem elétrico ou a gás liquefeito de petróleo (GLP), respectivamente. Neste estudo comparativo admitiu-se que os sistemas unifamiliares possuem chuveiro com vazão de 5 litros/min.

Considerando uma família com 4 pessoas, um banho de 8 minutos para cada morador e a potência do chuveiro elétrico de 5,4 kW (INMETRO, 2007), seriam necessários em média 86,4 kWh/mês de energia elétrica por residência. Um equipamento deste tipo possui preços diferenciados, dependendo do modelo; portanto, como referência, é considerado o preço de R\$ 50,00, em 2008, já incluindo o custo de instalação, correspondendo a um valor aproximado para um chuveiro elétrico simples.

No caso da substituição do chuveiro elétrico pelo aquecimento solar, o sistema será composto de uma instalação com 2 m² de placas, reservatório e um cilindro de 200 litros³. O preço de um sistema de aquecimento solar deste porte está sendo considerado da ordem de R\$ 1.850,00, em 2008; entretanto, já existem sistemas de qualidade inferior com valores abaixo de R\$1.000,00. Neste valor não está incluído o custo dos acessórios para instalação, que, dependendo do caso, pode tornar o custo bastante elevado. Neste caso de referência estudado, considerou-se que a residência já está pronta para receber o sistema solar; portanto, não será acrescido outro valor no custo do sistema de aquecimento solar.

³ Essa relação de 100 litros de volume do reservatório para cada 1m² de placa coletora é baseada em informações fornecidas pelo grupo GREEN SOLAR da PUC-MG, 2006.

Para o cálculo do consumo de energia para o aquecimento de água nesta residência considerou-se que 25%⁴ da energia fornecida para o sistema energético é devido ao “backup” elétrico; portanto, para suprir a demanda de água quente mensal utilizando o aquecedor solar em substituição ao chuveiro elétrico, o consumo passa a ser de 34,5 kWh/mês. Para o caso do aquecedor a GLP o consumo de energia é de 1.600 kWh por prédio e depois da instalação do aquecedor solar o consumo passa a ser de 337 kWh, (ver Apêndice B).

Para o sistema multifamiliar foi considerado um condomínio com 10 apartamentos, com uma demanda diária de água quente sendo suprida por um aquecedor central a GLP. Este sistema é modificado e passando a possuir um sistema de aquecimento solar e o aquecimento central é utilizado como “backup” (aqui também não serão incluídos os custos dos acessórios). Apesar de ser uma situação parecida ao do chuveiro elétrico, deve-se notar que, quando tratado do ponto de vista econômico, este caso é diferente porque sistemas de grande porte são mais complexos, possuem um custo não necessariamente proporcional a cada unidade de demanda (apartamento, neste caso) e, apesar de estar sendo considerado que o “backup” seja responsável por 25% do suprimento da demanda (igual ao caso anterior), os insumos não são os mesmos, gerando impactos diferentes.

2.2.2 Tecnologias e o uso do biogás no transporte coletivo urbano

O biogás para o transporte coletivo urbano será considerado como produzido no aterro sanitário de Belo Horizonte. Este aterro sanitário foi implantado em 1975 e durante 14 anos funcionou como aterro convencional ou controlado.

No final da década de 1980, a Cemig implantou uma usina de captação de gás e o gás foi utilizado principalmente na frota de carros da Superintendência de Limpeza Urbana (SLU). Desde 1994, o aterro de Belo Horizonte está funcionando como aterro celular (Catapreta et al., 2006). A Tabela 2.2 apresenta a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do aterro de Belo Horizonte.

Tabela 2.2 Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares em 2004.

| Componente | % em massa |
|-------------------|-------------------|
| Matéria orgânica | 61,59 |
| Papel | 9,53 |
| Plástico | 10,88 |
| Metal | 2,29 |
| Vidros | 2,85 |
| Outros | 12,86 |
| Total | 100,00 |

Fonte: Catapreta et al.(2006)

⁴ Valor estimado por FERREIRA (2006).

Em 2002, o aterro de Belo Horizonte recebia 4.300 t/dia (Souza et al., 2002) de resíduos sólidos urbanos (RSU) e atualmente, ele deverá ser desativado porque o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) não renovou sua licença de operação, já que o mesmo atingiu a cota de 930 metros.

Baseado na curva teórica do potencial de biogás no aterro Delta em Campinas, Figura 2.3, é possível estimar o potencial de biogás no aterro de Belo Horizonte, considerando que os dois aterros são semelhantes, exceto que o aterro Delta é aproximadamente cinco vezes menor do que o aterro de Belo Horizonte. O aterro de Belo Horizonte (145 hectares) recebia em 2004 mais de 4.000 t/ dia de resíduos e o aterro Delta (25,7 hectares), 815 t/dia (Ensinas, 2003).

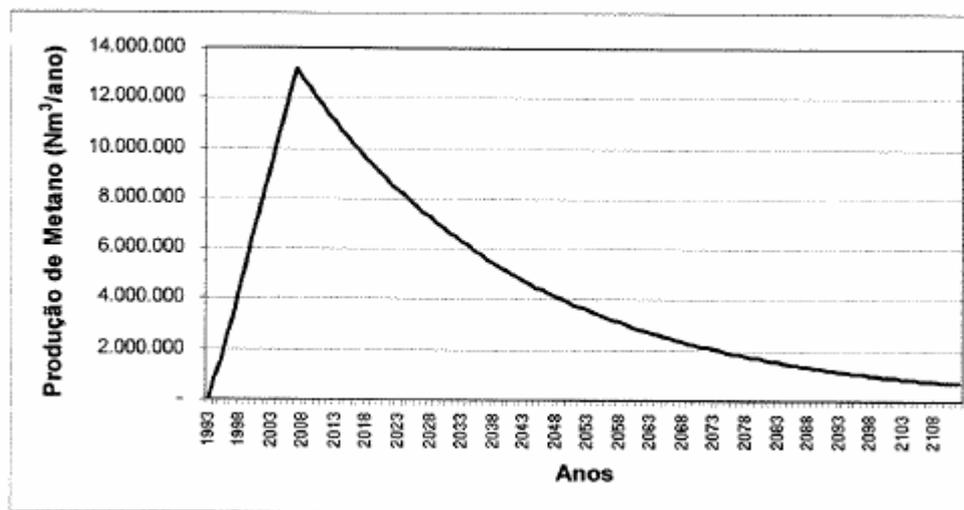


Figura 2.3 Curva de geração de gás metano para o aterro Delta

Fonte: Ensinas, 2003

O ponto máximo da curva (2006) é o momento em que o aterro está sendo desativado. Quando as estimativas de produção de gás metano, para o aterro Delta, for de 6 a 12 milhões de Nm³/ano, pode-se estimar que no aterro de Belo Horizonte, a produção de metano esteja entre 30 a 60 milhões de Nm³/ano. Considerando a eficiência de captação do biogás de 70%, o potencial a ser aproveitado é de 21 a 42 milhões de Nm³/ano.

O biogás comumente é composto por uma mistura de 50% de CH₄, 45% de CO₂ e 5% de outros gases (Oliveira, 2004). Como a curva acima apresenta o potencial de metano no aterro, está sendo considerado que o biogás captado é purificado e tem proporções de metano próximo ao gás natural (acima de 80%). Desta forma, pode-se considerar o poder calorífico do gás natural para o biogás, que é de 0,0376 GJ/Nm³ (Lourenço, 2003).

O custo de captação do biogás foi calculado a partir de dados encontrados em trabalho desenvolvido por Mendes (2005), que apresenta os custos discriminados do processo de captura do biogás em um aterro e os custos do processo de produção de energia elétrica. Utilizando como referência a etapa em que o aterro foi desativado, o custo de captação do biogás é estimado ser de US\$ 0,07/Nm³ de CH₄.

Para aproveitar o potencial do biogás no transporte coletivo urbano (ônibus) de Belo Horizonte foram exploradas três rotas tecnológicas:

- *Dedicada*: motor do ciclo Otto, original de fábrica, movido a gás natural.
- “*Ottolização*”: motor do ciclo Diesel adaptado para funcionar com gás natural.
- “*Dual-fuel*”: motor do ciclo Diesel adaptado para funcionar com gás natural e/ou diesel.

2.2.2.1 Tecnologia Dedicada

Os ônibus do ciclo Otto são disponibilizados por uma única montadora no Brasil, a Mercedes-Benz do Brasil (MBB) e uma fábrica de peças, Cummins, dedicada ao mercado externo. Os ônibus montados no Brasil são calibrados para funcionar com mistura pobre. Nesse regime, o motor do ciclo Otto otimiza o consumo de combustível e as emissões de CO e NO_x.

A Tecnologia Dedicada no Brasil começou ser usada na década de 1980 com o motor M366G e depois foi aperfeiçoado nas gerações seguintes (Conceição, 2006). A Tabela 2.3 mostra a evolução destes motores.

Tabela 2.3 Evolução tecnológica dos motores da MBB.

| |
|--|
| Primeira Geração - Motor M366G |
| - Aspiração Natural, Mistura Próxima à Estequiométrica |
| - Formação de Mistura por Carburador Elementar |
| - Sistema de Ignição com Distribuidor |
| - Sem controles Eletrônicos |
| Segunda Geração - Motor M366 LAG M96 |
| - Mistura Pobre (Lambda = 1,50 - 1,65) |
| - Turboalimentação com Pôs-Restridor de Ar |
| - Controle de Rotação de Marcha-Lenta pela Borboleta de Aceleração |
| Terceira Geração - Motor M366LAG M99 |
| - Injeção Eletrônica Multi-Injetor / Monoponto |
| - Controle de Mistura com Sonda Lambda de Banda Larga (UEGO Sensor) |
| - Sistema de Aceleração Integrado ao Gerenciamento do Motor |
| Novas Estratégias de Proteção do Motor |
| - Waste-Gate com Controle Eletropneumático |
| - Bobinas de Ignição Individuais |
| - Sistema Originalmente Projetado para 24 V |
| Conquistas em Relação à Primeira Geração: |
| Potência aumentada em mais de 50% |
| Emissões reduzidas em: |
| NO _x - 88% |
| CO - 86% |
| HC - 26% |

Fonte : Murado, 2004

Para se ter noção do motor do ciclo Otto para ônibus, o esquema da Figura 2.4 mostra as principais partes do motor da primeira geração da MBB.

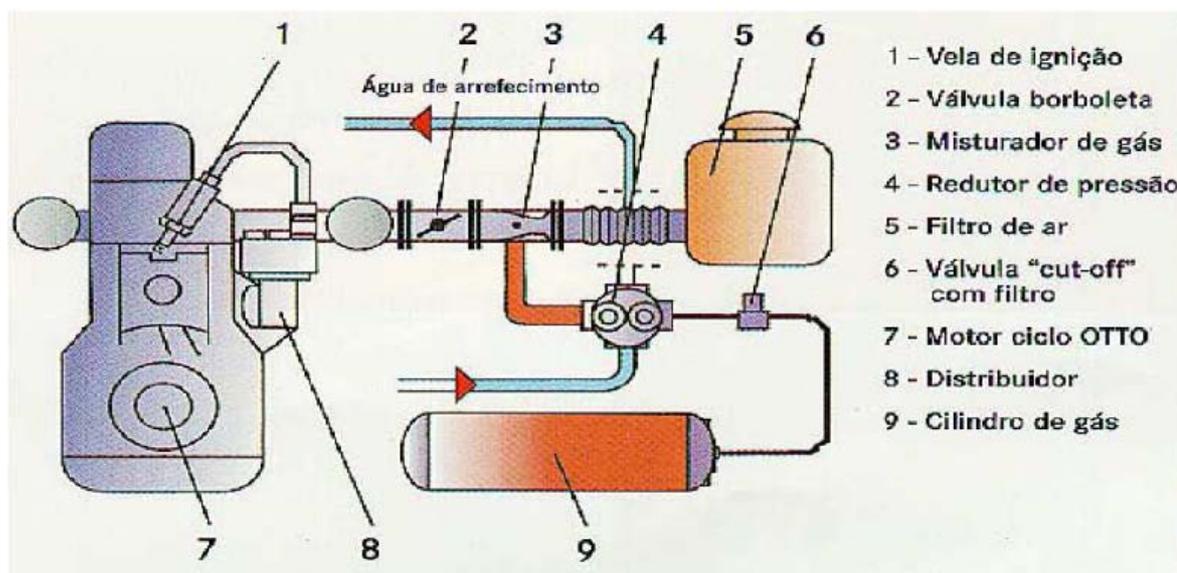


Figura 2.4 Esquema básico do motor de 1ª geração da MBB.

Fonte: Mercedes-Benz, 2000

O preço de um ônibus com Tecnologia Dedicada é aproximadamente 30% mais caro do que o um ônibus similar convencional a diesel (NTU, 2004). Considerando o preço de um ônibus a diesel no Brasil de R\$ 220.000,00 em 2008, o preço do ônibus de ciclo Otto deve ser da ordem de R\$ 286.000,00. O custo de operação e manutenção (O&M) desta tecnologia é considerado, como hipótese, igual ao custo de O&M, excluindo o custo do combustível, do ônibus a motor Diesel, que é R\$ 2,70/km, em valores de 2008 (BHTRANS, 2006).

Os ônibus com Tecnologia Dedicada possuem uma desvantagem no que se refere à revenda. Normalmente, nas grandes cidades, a idade de um ônibus convencional é limitada a 10 anos e depois deste período ele é vendido para cidades menores. Contudo, as cidades menores não possuem rede de distribuição de gás natural; logo, elas não têm interesse em comprar ônibus movidos a gás.

2.2.2.2 Tecnologia de "Ottolização"

A Tecnologia de "Ottolização" consiste no processo de converter um motor de ciclo Diesel para um motor de ciclo Otto. Para tanto, é necessário fazer algumas adaptações no motor original. Uma das mudanças mais importantes nesse processo é a introdução de velas de ignição. Este processo de conversão é um processo relativamente complexo que necessita de kits apropriados para cada tipo de motor. Uma empresa na Argentina tem-se qualificado para a fabricação destes kits, porém, estes têm sido fabricados exclusivamente para aplicação em motores de ciclo diesel com injeção mecânica. Este fato pode tornar inviável o processo de "Ottolização", já que nas grandes cidades brasileiras, muitos ônibus possuem a tecnologia de injeção eletrônica. Apesar disso, esta tecnologia será considerada no estudo, para fins de avaliação e comparação.

O custo de conversão é de US\$ 9.400,00 (Knight, 2006), chegando o preço de um ônibus a R\$ 242.000,00.

Com relação à revenda dos ônibus convertidos para esta tecnologia, em princípio, não existe o mesmo problema que no caso da Tecnologia Dedicada, uma vez que, é possível fazer a re-conversão para o ciclo Diesel.

O custo de operação e manutenção desta tecnologia é considerado, como hipótese, igual ao custo de O&M do motor Diesel, excluindo o custo do combustível, que é R\$ 2,70/km.

2.2.2.3 Tecnologia “Dual Fuel”

A Tecnologia “Dual Fuel” está associada com o uso de diesel e gás natural simultaneamente. Os motores são do ciclo Diesel com pequenas adaptações para permitir utilizar o gás natural. Devido à operação no ciclo Diesel, estes motores possuem maior rendimento do que os motores das duas outras tecnologias consideradas.

Como o motor do ciclo diesel funciona por ignição por compressão, é necessário haver uma pequena quantidade de diesel (combustível de baixa temperatura de ignição), para iniciar a combustão (o chamado combustível piloto). O ciclo deste motor que utiliza gás e diesel é um ciclo misto, com características semelhantes às do ciclo diesel até a injeção piloto e às do ciclo Otto após esta injeção (Conceição, 2006). Algumas vantagens do sistema “Dual Fuel” são:

- Pequenas modificações no motor,
- Flexibilidade para utilização de diesel puro ou de diesel e gás simultaneamente,
- Maior rendimento do que o motor do ciclo Otto,
- O veículo pode ser re-convertido.

A Figura 2.5 apresenta um esquema de funcionamento de injeção de um “kit” “Dual Fuel” moderno que está em fase de estudos.

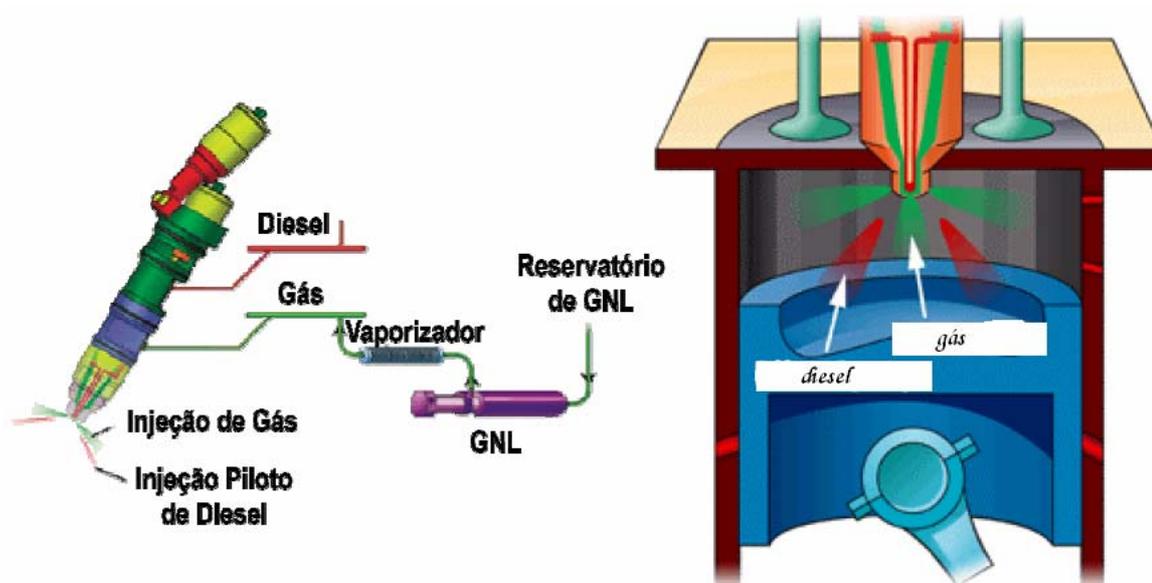


Figura 2.5 Esquema de funcionamento de injeção “Dual Fuel”

Fonte: Martins, 2004

Segundo Lobkov (2005), o custo de conversão para Tecnologia “Dual Fuel” é de US\$ 3.413,00 e, segundo Conceição (2006), o custo de conversão pode chegar a US\$ 8.530,00. Neste estudo vai ser considerado um valor intermediário de US\$ 4.000,00 para conversão do sistema “Dual Fuel”. O preço de um ônibus convertido deverá ser de R\$ 227.000,00.

Com relação à revenda dos ônibus convertidos para esta tecnologia, também não haverá problemas, uma vez que é possível fazer a re-conversão ou utilizar 100% de diesel no motor, mesmo convertido.

O custo de operação e manutenção desta tecnologia é considerado, como hipótese, igual ao custo de O&M do motor Diesel.

A Tabela 2.4 mostra em resumo o preço de cada tipo de ônibus e custo de O&M.

Tabela 2.4 Preço e custo de O&M para cada rota tecnológica.

| Tipo de ônibus | Preço de uma unidade (R\$ de 2008) | O&M (R\$/km) |
|--------------------------|------------------------------------|---------------|
| Convencional | 220.000,00 | 2,70 |
| Tecnologia Dedicada | 286.000,00 | 2,70 |
| Tecnologia “Ottolização” | 242.000,00 | 2,70 |
| Tecnologia “Dual Fuel” | 227.000,00 | 2,70 |

2.2.3 Utilização do biogás para geração de energia elétrica

A utilização do biogás para a geração de energia elétrica deverá ser de duas formas, conforme Capítulo 3:

- Geração de energia elétrica utilizando o biogás da estação de tratamento de esgoto (ETE Onça), no Cenário Básico;
- Geração de energia elétrica utilizando o biogás da ETE Onça e do aterro sanitário de Belo Horizonte, no Cenário Ideal.

A tecnologia usada para geração de eletricidade é a do motor de combustão interna (ciclo Otto), que junto com a turbina a gás, são as mais comumente usadas (COELHO et al., 2006). Os motores do ciclo Otto serão utilizados tanto no aterro quanto na estação de tratamento.

O custo de investimento para geração de energia elétrica (atualizado para 2008) foi considerado de US\$ 1.670/kW instalado e o custo de O&M de US\$ 0,029/kWh (USEPA,1996).

A geração de biogás na estação de tratamento de esgoto ocorre com o uso de biodigestores. O biodigestor é um sistema de tratamento fechado onde se processa a digestão do esgoto, sem a presença de oxigênio. Na ETE Onça, o tipo de biodigestor utilizado é o Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (UASB). O biogás pode ter concentração de metano de 40% a 80%, valor que depende da eficiência do processo (COELHO et al., 2006). A composição típica para o biogás é de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono, e 5% de outros gases como hidrogênio, nitrogênio e monóxido de carbono.

Na ETE Onça, estavam previstos para serem tratados, em média, 2,0 m³/s de esgoto em 2007 e 3,3 m³/s em 2017, com a expansão do sistema. Entretanto, em visita técnica realizada em maio de 2007 foi constatado que a estação não estava funcionando com sua potência máxima e apenas tratava 0,75 m³/s de esgoto⁵ e gerava 3.000 m³/dia de biogás.

⁵ De acordo com o Eng. Olendino Moraes da COPASA, uma das pessoas responsáveis pela estação de tratamento, são necessários investimentos em infra-estrutura para recepção de afluentes para que a estação possa tratar, em média, a vazão de 1,8 m³/s de esgoto (comunicação pessoal, 2007).

3 MÉTODOS E HIPÓTESES

Além daquelas comentadas no capítulo anterior, serão aqui apresentadas e discutidas outras hipóteses. A metodologia e o modelo usados no estudo são também apresentados.

3.1 O planejamento energético

O planejamento energético é um instrumento que pode ser utilizado para gerar ações e metas com a finalidade de antecipar e avertar futuros imprevistos no cenário energético, político, econômico e social. Ele pode ser usado para melhorar os resultados pretendidos dentro de ações políticas de governo, empresas, etc., ao ser capaz de prever as conseqüências e sugerir modificações antes da formalização de tais ações, assim reduzindo gastos desnecessários com projetos inadequados. Ainda, ele é definidor de parâmetros dentro de políticas públicas já que a demanda por energia está vinculada à demanda por bens e serviços.

O planejamento energético deve ser uma “ferramenta” para dar suporte quantitativo às políticas energéticas e ao mesmo tempo fornecer elementos que contribuam para as atividades de regulação (CARVALHO, 2005).

De certa forma, dentro do estudo de planejamento energético encontra-se a arte de fazer “previsões”, a capacidade de antecipar conjunturas; conseqüentemente, a busca da previsão no nesta área está próxima do determinismo científico. Assim, cabem, no conjunto de ferramentas utilizadas no planejamento energético, instrumentos que sejam capazes de validar algumas proposições, como algoritmos matemáticos, conceitos físicos, experimentos, dados históricos e tantos outros.

Não é esperado que as conclusões tiradas nos estudos de planejamento energético sejam definitivas, pelo contrário, elas são apenas referências para novos estudos porque o planejamento é antes de tudo dinâmico e deve ser sempre refeito.

Enfim, o estudo de planejamento energético é complexo e deve ser realizado por especialistas de várias áreas do conhecimento, como economistas, engenheiros, ambientalistas, planejadores e também pessoas ligadas ao meio empresarial e político.

Na atualidade, tem havido um maior interesse pelo estudo de planejamento energético e esta motivação é, sobretudo, porque os recursos energéticos têm sido mais escassos e a demanda tem crescido em taxas bem elevadas. Desta forma, criar mecanismos para usar os recursos energéticos existentes de forma racional, criar cenários que trazem informações de possíveis conjunturas futuras, definir planos estratégicos para melhorar resultados de políticas de toda sorte e outras possibilidades de otimizar a relação entre a oferta e demanda de energia, tem sido feitos no mundo todo, em alguns lugares menos e em outros de forma mais intensa.

O Brasil é um país que tem feito estudos de planejamento energético, entretanto, nas últimas décadas, o planejamento não era feito de modo integrado. A Eletrobrás com cooperação das empresas estatais do setor elétrico era responsável pelos estudos de planejamento de expansão do sistema elétrico e a Petrobrás era responsável pelos estudos de planejamento de expansão do setor de petróleo e gás; porém, não havia integração entre elas. Mais, recentemente, com a

criação da Empresa de Pesquisa Energética- EPE, o estudo de planejamento energético passou a contemplar de forma integrada os setores de energia elétrica, petróleo e gás.

3.1.1 Etapas de um estudo de planejamento energético

As principais etapas para um estudo de planejamento energético podem ser divididas em sete: definição do objetivo, definição de abordagem, determinação das informações necessárias, escolha do processo de análise, realização da análise, apresentação dos resultados e preparação do plano. A Figura 3.1 mostra de forma simplificada as ações específicas de um estudo de planejamento energético.

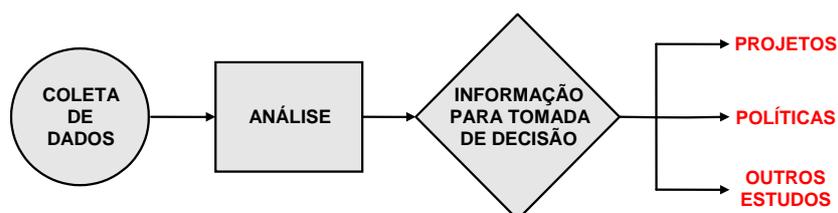


Figura 3.1 Esquema simplificado do estudo de Planejamento Energético

Fonte: IAEA, 1984

Estas etapas estão resumidas abaixo na ordem de realização do estudo de planejamento energético (IAEA, 1984).

Definição do objetivo: definir o objetivo (ou objetivos) do estudo de planejamento de forma clara é essencial para que os esforços no estudo possam ser direcionados para alcançar tal objetivo. Um ponto importante na escolha de um objetivo num estudo desse tipo é que ele, em tese, seja factível, ou seja, em muitos casos, propostas de estudo de planejamento energético esbarram no problema da falta de dados. Outro ponto é a mensurabilidade; é ideal que o objetivo definido possa ser medido no final do estudo; em outras palavras, é preciso determinar se o objetivo foi alcançado ou não. Portanto, espera-se que pelo menos os objetivos secundários do estudo sejam passíveis de mensuração.

Não se deve ignorar que o objetivo maior de um estudo de planejamento energético é fornecer informação para aqueles que tomam decisões.

Definição da abordagem: Esta etapa está relacionada com a tipologia do objeto estudado, ou seja, suas limitações e características. Ela pode ser dividida: em escopo da análise, qual setor ou setores serão estudados; escala da análise, se será agregada ou desagregada; horizonte do estudo, se o estudo será em curto, médio ou longo prazo; e nível de detalhe, se os detalhes do estudo requerem profundidade ou são apenas preliminares.

Determinação das informações necessárias: Uma das mais difíceis etapas, se não a mais difícil delas, porque requer uma quantidade muito grande de coleta de dados. Na maioria das vezes, os dados encontrados são inconsistentes, não são confiáveis ou normalmente são difíceis de serem achados.

Escolha do processo de análise: A escolha do processo de análise é feita a partir do objetivo pretendido e do objeto estudado. A análise pode ser feita por modelos setoriais ou geral, que

empregam várias técnicas de simulação e otimização, equações econométricas, modelos de insumo-produto e outros.

Realização da análise: De posse dos dados, de um modelo adequado e de um objetivo definido é o momento de fazer a análise. Uma maneira possível é mostrada na Figura 3.2.

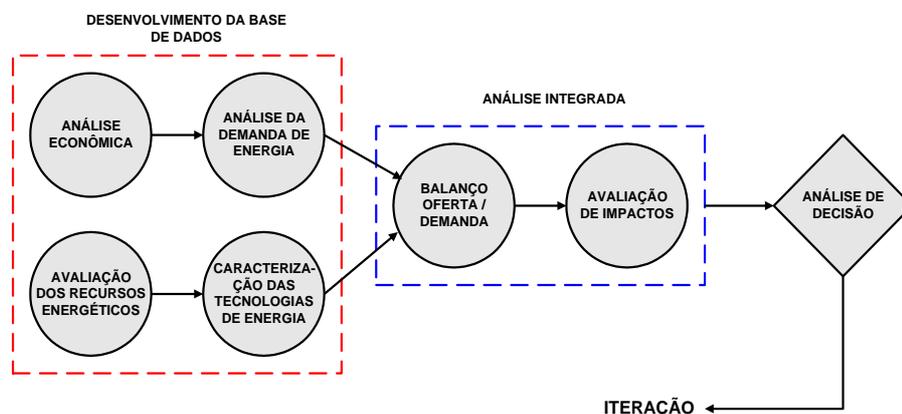


Figura 3.2 Etapas do Processo de Realização da Análise

Fonte: IAEA, 1984

Esta estrutura de análise é a que foi utilizada neste estudo. Pode-se observar que o modelo utilizado é o de balanço entre oferta e demanda de energia integrado com avaliação de impactos.

Neste processo, deve-se ressaltar que se, no final da análise, os dados de saída não forem os esperados ou, se alguma inconveniência for encontrada (por exemplo, o não respeito à legislação ambiental) deverá haver interações no processo.

Apresentação dos resultados: A etapa da apresentação dos resultados também tem sua importância no estudo de planejamento energético. Deve-se perceber que os resultados necessitam estar expostos de forma clara e simples porque eles visam aqueles que tomam decisões, que nem sempre são pessoas com o conhecimento técnico específico dos planejadores.

Preparação do plano: Depois de concluído o estudo, a última etapa é a preparação do plano. Ele deve estar exposto às escolhas feitas dentro da melhor configuração pretendida e as ações (projetos, políticas) necessárias para a concretização da proposta. Também podem ser sugeridos outros estudos.

3.1.2 Modelos para planejamento energético

Os modelos no planejamento energético são usados principalmente com a finalidade de possibilitar a expansão do sistema energético, otimizando configurações possíveis a partir de variáveis selecionadas para satisfazer interesses de um grupo, de uma região ou de uma sociedade.

Eles podem ser definidos como modelos de projeção de oferta, de projeção de demanda e integrados de oferta e demanda de energia. Podem ser modelos setoriais como, por exemplo, do setor transporte; podem ser modelos multisetoriais, que englobam dois ou mais setores, e podem ser globais, que trabalham com todos os setores macroeconômicos, de uma região, de um país e mesmo de países.

Nos modelos de oferta, encontram-se aqueles que utilizam as técnicas de programação matemática, os que utilizam as técnicas de simulação ou as duas combinadas. Os modelos de oferta podem ser estáticos ou dinâmicos. No primeiro caso, o programa projeta a oferta em um momento no tempo futuro sem se preocupar com a trajetória percorrida e, no segundo caso, o programa faz a projeção modelando a trajetória percorrida ao longo do tempo.

Os modelos de demanda podem ser modelos econométricos, contábeis, técnico-econômicos e modelos de simulação. Os primeiros são adequados para projeções no curto e médio prazos, porque geralmente não são capazes de representar possíveis rupturas no cenário energético devido a mudanças econômicas imprevistas ou ao surgimento de novas tecnologias. Eles, como o próprio nome diz, realizam projeções da demanda utilizando relações econométricas a partir de grandezas econômicas como renda, PIB, valor agregado ou preços.

Para projeções no longo prazo, normalmente utilizam-se os modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação. Nestes modelos, basta conhecer os dados necessários para análise em um ano base e os modelos projetam esses dados para o futuro, sem se preocupar com as trajetórias envolvidas no processo. Esses modelos trabalham com uma grande quantidade de variáveis e parâmetros, o que por um lado faz gerar resultados bastante detalhados e, por outro lado, os tornam caros e de difícil possibilidade de serem realizados, devido à dificuldade de obtenção de dados.

Pode-se dizer que os modelos econométricos são restritos demais, enquanto os técnico-econômicos, contábeis ou de simulação são o oposto. Para tentar solucionar essas restrições existem os modelos mistos que utilizam relações econométricas e ao mesmo tempo utilizam uma estrutura de projeções detalhada, que permite adequar o modelo às necessidades do objeto estudado, à complexa indústria de energia, (CARVALHO, 2005).

Os modelos integrados de oferta/demanda são modelos de equilíbrio. Eles podem ser de equilíbrio parcial ou geral, sendo que o parcial engloba o equilíbrio em um setor ou em seus segmentos, a saber, o setor de gás natural, setor de energia elétrica, etc. Neste caso, o modelo faz a simulação avaliando os fluxos das quantidades dos energéticos, desde a oferta até a demanda ou vice-versa, encontrando um equilíbrio das quantidades ou dos preços entre a oferta e a demanda. Um acoplamento das duas possibilidades também é possível, se necessário. Já no caso do equilíbrio geral, o modelo vai além do equilíbrio setorial. Ele simula a evolução da economia como um todo e as relações econômicas entre um setor ou setores com outros segmentos da macroeconomia.

Os modelos ENPEP (Energy and Power Evaluating Program) e MESSAGE foram avaliados e, os dois, com algumas adaptações, são modelos que poderiam ser utilizados neste trabalho. O modelo MESSAGE está sendo utilizado para avaliar toda cadeia energética da geração de energia elétrica a partir do biogás e ao mesmo tempo, comparar diversas tecnologias de conversão da energia do biogás para energia elétrica (Rosa, 2008). Este estudo faz parte de um estudo maior, em que foi usado o modelo ENPEP para fazer um estudo de planejamento energético, que é o resultado deste trabalho. A escolha do modelo ENPEP para tal estudo é

devido à existência de vários outros trabalhos em que se utilizou este modelo em estudos semelhantes e o mesmo mostrou-se adequado.

3.1.2.1 O modelo ENPEP

O modelo ENPEP (*Energy and Power Evaluating Program*), foi desenvolvido pela Argonne National Laboratory (ANL) sob patrocínio do Departamento de Energia dos EUA (DOE) e da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Ele é composto por dez módulos integrados de análise econômica, energética e ambiental. Os módulos são: MACRO-E, MAED, LOAD, PC-VALORAGUA, WASP-IV, GTMax, ICARUS, IMPACTS, DAM e BALANCE, (ENPEP, 2001).

Neste estudo, foi utilizado apenas o Módulo BALANCE na versão com ambiente Windows, que incorpora o módulo IMPACTS. Portanto, apenas será dada uma descrição desse módulo. Contudo, o ideal é que fossem utilizados outros módulos em associação com o módulo BALANCE; porém, é necessária uma grande quantidade de dados para utilizá-los e de tempo, ultrapassando as pretensões desse trabalho.

3.1.2.2 O módulo BALANCE

O módulo BALANCE processa ao mesmo tempo um sistema de desigualdades e equações não lineares para determinar o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia. Para tal, ele utiliza a rede considerando o fluxo de energia desde os recursos primários até a demanda útil ou final. O modelo busca um ponto de interseção entre as curvas de oferta e de demanda (equilíbrio) para todos os energéticos incluídos na estrutura da rede, sendo que a demanda é sensível aos preços dos energéticos e o preço à quantidade demandada (ENPEP, 2001). Deve-se destacar que o modelo não usa apenas o preço como forma de selecionar a energia de um ou outro sistema; ele também permite obter configurações alternativas, de acordo com preferências do planejador. Essa possibilidade é fundamental para simular o comportamento do mercado, quando é desejado representar situações onde o mercado energético está sob influências de fatores externos, como políticas de governo, pressões sociais e outros fatores.

Um exemplo atual de fatores externos que atuam no mercado energético é o programa de governo chamado PROINFA. Na primeira fase do PROINFA, a produção de energia elétrica foi incentivada a partir de fontes alternativas de energia, como biomassa, PCHs e energia eólica. Entretanto, os custos da energia gerada por essas rotas tecnológicas foram maiores de que os valores oferecidos pelo mercado convencional de energia elétrica brasileiro. Se o modelo fosse sensível apenas aos preços, não seria possível representar tal configuração.

Voltando à descrição do modelo BALANCE, cada tipo de nó é representado de forma diferente e associa-se a ele suas equações pertinentes, que representam sua função na rede energética. Cada nó é representado conforme a Figura 3.3.



Figura 3.3 Nós para representação da rede energética.

Fonte: ENPEP, 2001

Para não estender o texto, apenas aqueles que foram utilizados neste trabalho estão descritos, de forma resumida, a seguir:

Nó de recursos não renováveis: representa um modelo de recursos esgotáveis, importado ou produzido domesticamente, como gás natural, petróleo, carvão ou combustível nuclear (urânio). Possui uma única equação e representa a curva de suprimento do recurso no período estudado:

$$P_t = A(Q) \times (1 + R_t) + B \times Q_t + C \times Q_t^2 \quad (1)$$

em que:

P_t = custo de produção ou de importação do recurso no tempo t,

Q_t = quantidade do recurso produzido ou importado no tempo t,

$A(Q)$ = interseção da curva de suprimento para o recurso após prévia extração de uma quantidade acumulada Q do recurso no tempo t.

R_t = taxa de crescimento, em termos reais, do custo (preço) do recurso,

- B = inclinação da curva de suprimento do recurso, e
- C = coeficiente quadrático para a curva de suprimento.

Nó de recursos renováveis: representa a produção de recursos, como biomassa ou energia solar. Está associada a este nó uma função degrau que tenta representar seu comportamento. Normalmente, cada degrau representa uma fonte diferente do recurso e seu respectivo custo. Sua forma é do tipo descrito abaixo:

$$P_t = C_i \quad \text{para } Q_t \leq L_i \quad (2)$$

em que:

- P_t = custo (preço) do recurso no tempo t ,
- Q_t = quantidade do recurso produzido no tempo t ,
- C_i = custo de produção de cada unidade do recurso no degrau i .
- L_i = quantidade do recurso para o degrau i .

Nó de decisão/alocação: representa um ponto de decisão que seleciona os recursos energéticos para suprir a demanda. Este nó é a representação do mercado nas escolhas que são feitas de um energético e essa escolha é inversamente proporcional ao preço em relação a outras formas de energia. Este nó possui várias equações e as principais são descritas a seguir.

Fluxo total de energia:

$$\sum_i^n Q_i = \sum_0^p Q_0 \quad (3)$$

em que:

- Q_i = quantidade de energia na conexão de entrada i do nó de alocação/decisão,
- Q_0 = quantidade de energia na conexão de saída 0 do nó de alocação/decisão, e
- n, p = número total de conexões de entradas e saídas dos nós de alocação/decisão.

e

$$Q_i = \delta Q \times S_i \quad (4)$$

em que:

- Q_i = quantidade de energia na conexão de entrada i ,

δQ = quantidade líquida de energia na saída do nó de alocação/decisão; seu valor é a soma das quantidades de todas as energias associadas às conexões de saída menos a quantidade de estoque.

S_i = participação no mercado de energia: fração da quantidade de entrada de energia alocada na conexão i ($0 \leq S_i \leq 1$).

S_i é função dos preços nas conexões de entrada do nó de alocação/decisão e é obtida com a equação:

$$S_i = \frac{\left(\frac{1}{P_i \times Pm_i}\right)^\gamma}{\sum_i^n \left(\frac{1}{P_i \times Pm_i}\right)^\gamma} \quad (5)$$

em que:

P_i = preço da energia na conexão de entrada i ,

γ = coeficiente de sensibilidade do preço para o nó de alocação/decisão,

n = número de conexões de entrada para o nó de alocação/decisão, e

Pm = fator multiplicador na conexão de entrada i .

Deve-se observar que “A equação de alocação de preço é motivada pela observação empírica de que as demandas não são necessariamente alocadas pelo suprimento da fonte de menor custo. Ao contrário, a equação de alocação representa o caso mais geral em que as cotas dependem de preços relativos, com fontes de maior custo recebendo menores cotas relativamente.”(ENPEP, 2001)

E por fim, o preço de saída em um nó (P_0) é igual a média ponderada dos preços nas entradas, excluindo as entradas de estoques, e segue a equação:

$$P_0 = \sum_{i=1}^n (P_i \times S_i) \quad (6)$$

Nó de processo ou conversão: foi convencionado neste bloco apenas uma entrada e uma saída, por exemplo, em um motor do ciclo Otto pode ser avaliada a quantidade energética de álcool na entrada e comparada com a quantidade de energia mecânica na saída do processo. Apenas duas equações estão associadas a este nó: as equações de quantidade e preço. A equação de quantidade é:

$$Q_o = Q_i \times \eta \quad (7)$$

em que:

Q_o = quantidade de energia na saída,

Q_i = quantidade de energia na entrada e

η = eficiência do processo.

A equação de preço é:

$$P_o = \frac{P_i}{\eta} + OM + \left[\frac{TCI}{CAP \times CF} \right] \times CRF(i, n) \quad (8)$$

em que:

P_o = preço da energia na saída do processo,

P_i = preço do insumo energético na entrada do processo,

OM = custo de operação e manutenção do processo, excluindo o custo do insumo.

TCI = custo de capital total do sistema de conversão de energia e

$CRF(i, n)$ = fator de recuperação de capital, que amortiza o custo do capital ao longo da vida do processo, n , na taxa anual de juros i , dado por:

$$CRF(i, n) = \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (9)$$

Nó de múltiplas entradas: este nó possui uma saída e múltiplas entradas. Ele pode ser entendido como se fosse um misturador, em que vários insumos entram no processo resultando apenas um produto (por exemplo, mistura gasolina-etanol). Duas equações importantes neste nó (qualidade e preço) são apresentadas abaixo:

$$Q_i = Q_o \times IO_i \quad (10)$$

em que:

Q_i = quantidade de energia na entrada do processo,

Q_o = quantidade de energia na saída, e

IO_i = quantidade de energia requerida na entrada por unidade de energia na saída.

$$P_o = \sum_{i=1}^n (P_i \times IO_i) + OM + \left[\frac{TCI}{CAP \times CF} \right] \times CRF \quad (11)$$

A equação acima é semelhante à equação de preço do nó de conversão (equação 8), e apenas difere dela no termo $\sum_{i=1}^n (P_i \times IO_i)$, que corresponde à média ponderada do preço dos insumos que entram no processo com suas respectivas frações.

Nó de demanda: este nó possui somente uma entrada e não possui saída. Não há equações associadas a este nó. Também representa o fim dos fluxos de energia através da rede energética e determina a quantidade de energia útil demandada em cada ano.

Nó de preço: também neste nó, como em tantos outros, há apenas uma entrada e uma saída. Sua função é permitir variações de preços em cada processo. Desta forma, ele é uma ferramenta para poder representar qualquer perturbação no cenário energético, isto é, para representar os diversos tipos de consumidores de energia elétrica que pagam tarifas diferenciadas pelo mesmo insumo consumido, ou seja, subsídios e taxas.

O preço da energia de saída neste nó (P_0) é dado por:

$$P_0 = a \times P_i + b \quad (12)$$

em que:

P_0 = preço na saída do nó de preço,

P_i = preço na entrada do nó de preço,

a = multiplicador de preço, e

b = incremento de preço.

3.2 A rede energética para o ano base

3.2.1 O ano-base

Para este estudo, foi escolhido como ano-base o ano de 2004, porque é o ano mais recente em que são encontrados dados consolidados no Balanço Energético Nacional (BEN, 2006) e no Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEMG, 2006) e por ser um ano relativamente distanciado do ano de 2001, que foi um ano atípico devido ao racionamento de energia elétrica⁶.

3.2.2 Configuração da rede energética para o ano base

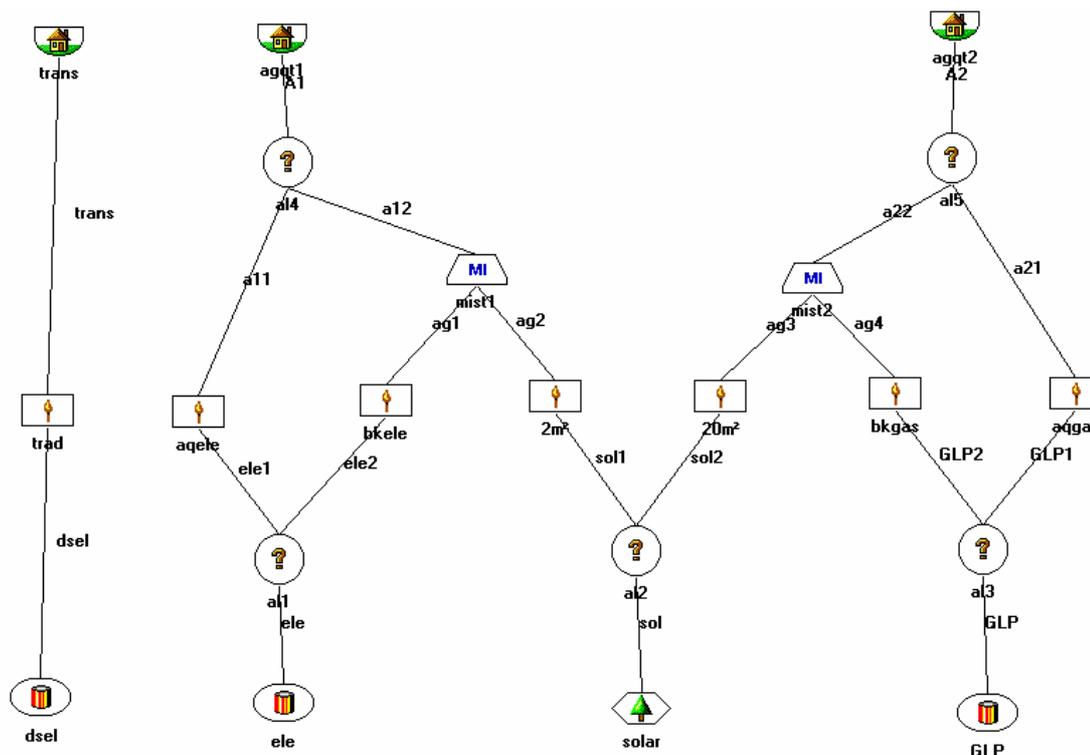
A rede energética proposta neste estudo contempla:

- O setor de transporte coletivo urbano (ônibus),

⁶ De acordo com Antonia Sônia Alves Cardoso Diniz (CEMIG, 2007), somente agora o consumo de energia residencial atingiu o nível de consumo do ano 2000.

- O aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e de esgoto, e
- O aquecimento de água usando aquecedores solares.

Verificou-se que, em Belo Horizonte, não há um aproveitamento energético dos resíduos, ou caso ele exista é desprezível ou não conhecido. Desta forma, a rede energética para o ano base gerada com auxílio do programa ENPEP é conforme a Figura 3.4. Nota-se que os sistemas solares unifamiliares têm “backup” de energia elétrica e os sistemas multifamiliares, “backup” a GLP.



| LEGENDA | SIGNIFICADO |
|------------------|---|
| trans | Demanda de transporte coletivo urbano (ônibus) |
| agqt1 | Água aquecida para residências unifamiliares |
| agqt2 | Água aquecida para prédio de apartamentos |
| trad | Ônibus tradicional (motor do ciclo diesel) |
| aqele | Aquecedor elétrico |
| aqgas | Aquecedor a gás |
| 2m ² | Sistema solar com 2m ² de placas instaladas |
| 20m ² | Sistema solar com 20m ² de placas instaladas |
| mist1 | Mistura de água aquecida 1 |
| mist2 | Mistura de água aquecida 2 |
| dsel | Diesel (ou biodiesel) |
| ele | Energia elétrica da rede |
| solar | Energia solar |
| GLP | Gás liquefeito de petróleo |

Figura 3.4 Rede energética para o ano-base

3.2.2.1 Transporte coletivo urbano (ônibus)

Para o ano-base 2004, o setor de transporte avaliado neste estudo, utilizou 2.819 ônibus convencionais (ciclo diesel) e o consumo de diesel foi de 89.420m³ (BHTRANS, 2004).

Considerando a eficiência do ciclo diesel como sendo de 43% (MME, 2006b), a energia final, ou seja, depois do sistema de conversão, é de 1.365.680 GJ, como pode ser visto na Figura 3.4. Esta foi a energia necessária para suprir a demanda de energia útil no transporte coletivo urbano em Belo Horizonte em 2004.

O número de passageiros transportados no transporte coletivo urbano de Belo Horizonte foi 32.321.853 em abril de 2004 (NTU, 2006). Com base neste valor, estimou-se o valor médio de 387.862.236/ano. O percurso dos ônibus, em quilômetro, foi, em média, de 180.376.266 km/ano, tendo um índice de passageiro por quilometro (IPK) de 2,15, valor que está um pouco acima do índice médio das principais capitais brasileiras (NTU, 2006). A razão entre a energia útil e o percurso é 7,5 MJ/km.

3.2.2.2 Aquecimento de água

A outra parte da rede refere-se ao aquecimento de água a baixa temperatura. Pode-se afirmar que a maior parte da demanda de água aquecida para banho no Brasil está nos setores residencial e de serviços (ABRAVA, 2006). Admite-se a mesma hipótese para o município de Belo Horizonte.

Para este estudo foram escolhidos duas categorias de demanda e um mesmo sistema de aquecimento de água (aquecedor solar plano). Entretanto, para uma categoria foi escolhido “backup” elétrico e para a outra, a gás GLP. Esta classificação tem duas finalidades:

- Avaliar perdas e ganhos na escolha de diferentes insumos.
- Representar o perfil do uso de aquecimento solar em Belo Horizonte.

Na cidade de Belo Horizonte, os usuários de residências unifamiliares normalmente têm “backup” elétrico da rede e é muito comum em prédios e no setor terciário o uso de “backup” a GLP (Salomão, 2006)⁷. Seguindo esta informação, construiu-se:

- Uma parte da rede corresponde ao aquecimento de água, com sistema de aquecimento solar de 2m² de placas coletoras e um aquecedor elétrico, para representar o setor residencial unifamiliar,
- e também um outro sistema de aquecimento solar 10 vezes maior do que o primeiro com “backup” a GLP, para representar o sistema de aquecimento solar de um edifício.

⁷ SALOMÃO, A. (Green Solar), Comunicação pessoal, 2006

Conforme descrito no Capítulo 2, foi considerado que, no ano base, havia em Belo Horizonte, 134.300 m² de placas coletoras, sendo que 127.980 estavam instaladas em residências unifamiliares e 6.320 em sistemas multifamiliares.

Para os cálculos no ano base foi adotado “backup” de 25%, tanto elétrico como a GLP, e também foi considerado que a eficiência do aquecedor a gás é de 80% e do aquecedor elétrico 100%. Foram consideradas perdas no reservatório térmico, conforme descrito também no Capítulo 2 e representado no Apêndice B.

3.2.3 Preços de insumos e custos das energias de uso final

A Tabela 3.1 apresenta os preços de insumos energéticos para o ano base. Os preços dos insumos diesel, GLP e energia elétrica da rede (consumidor residencial normal), foram baseados nos preços encontrados no BEN (2006). No caso da energia solar, foi considerado preço zero, ficando os custos de captação da radiação para o sistema de coletor solar. No caso da eletricidade, o preço da energia foi baseado em dados da Aneel e Cemig, mas não do Balanço Energético Nacional, porque ele apresenta uma média nacional e existem diferentes preços de energia elétrica no país. Considerou-se a taxa de câmbio, US\$ 1,00 = R\$ 1,67 para o ano de 2008 (Banco Central, 2008).

Tabela 3.1 Preços atualizados de insumos em US\$/MWh e US\$/GJ para o ano-base (2004).

| Insumo | Preços (US\$/un.física) | Preços (US\$/GJ) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|
| Diesel (m ³) | 1.059 | 29,90 |
| GLP (t) | 1.660 | 35,77 |
| Eletricidade (MWh)* | 359 | 99,80 |
| Energia solar | 0 | 0 |

* Preço de energia elétrica para o setor residencial (normal com impostos)

Elaboração própria

Utilizando o programa ENPEP foram encontrados os custos dos serviços gerados pelas energias de uso final, por meio da equação de preços (equação 8).

O custo do serviço de transporte foi de US\$ 2,41/km, no ano-base (em valores de 2008). No caso do aquecimento de água, o custo para aquecê-la, no mesmo ano, considerando aquecedor elétrico (chuveiro) foi de US\$6,75/m³. No caso de aquecedor a GLP, o custo foi de US\$ 5,05/m³. O gráfico da Figura 3.5 mostra os custos de aquecimento de água com aquecedor solar, comparados com sistemas sem aquecedor solar para o ano-base.

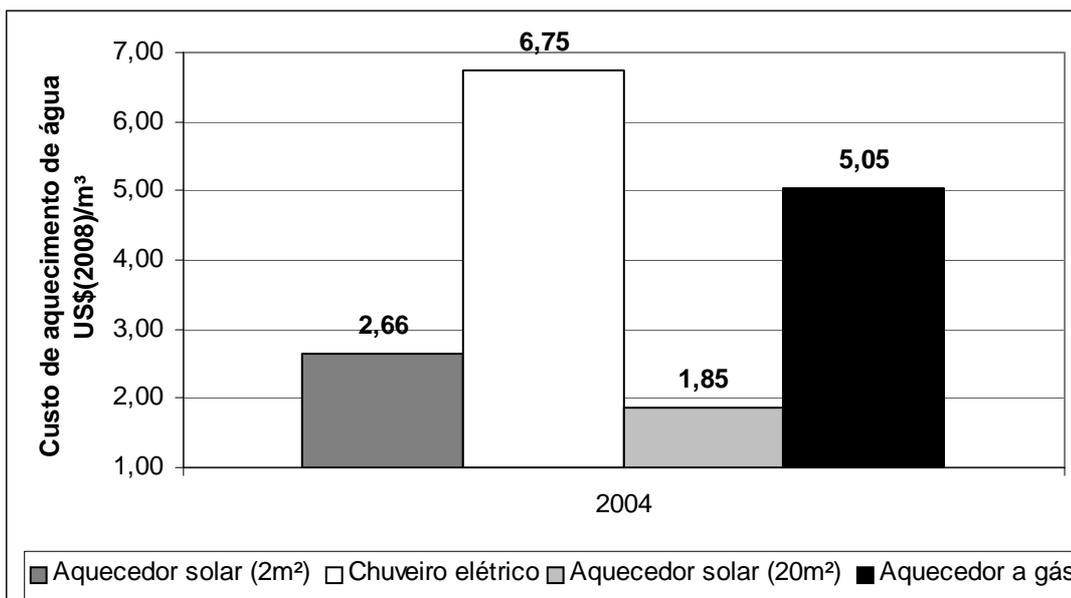


Figura 3.5 Custo para aquecimento de água no ano-base

O custo da energia para aquecimento de água usando o aquecedor solar com “backup” a GLP é o menor dos quatro sistemas, US\$ 1,85/m³ e no caso do aquecedor solar com “backup” elétrico o custo é estimado em US\$ 2,66/m³.

3.2.4 Emissões de poluentes atmosféricos no ano-base

Para quantificar as quantidades de poluentes atmosféricos emitidos no ano base, na configuração da rede energética estudada, foram consideradas apenas emissões nos sistemas de conversão. Os fatores de emissão no setor transporte e para o aquecimento de água estão apresentados na Tabela 3.2.

Os fatores de emissão para o setor transporte foram retirados de Lobkov (2005) e BHTRANS (2004). Os fatores de emissão para o aquecimento de água (emissões do aquecedor a GLP) foram retirados de Conzelmann (2000) e Conpet (2006).

Tabela 3.2 – Fatores de emissão de poluentes

| | Setor transporte para o diesel | Aquecimento de água a GLP |
|------------------|--------------------------------|---------------------------|
| CO ₂ | 74,07 ¹ | 17,24 ⁴ |
| PM ₁₀ | 0,028 ² | 0,0020 ³ |
| NO _x | 0,947 ² | 0,065 ³ |
| CH ₄ | 0,071 ² | 0,0008 ³ |
| HC | 0,059 ² | 0,0016 ³ |
| CO | 0,533 ² | 0,0092 ³ |
| SO _x | 0,134 ² | 0,0027 ³ |

Fonte :1-BHTRANS (2004); 2-Lobkov (2005) ; 3- Conzelmann (2000); 4- Conpet (2006).

As emissões do setor de transporte para o ano-base são mostradas na Figura 3.6, com destaque para as emissões de CO₂. As emissões são avaliadas principalmente para os gases emitidos no processo de combustão do motor do ciclo diesel, que tem em sua composição, dentre outros, dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) que são gases causadores do efeito estufa.

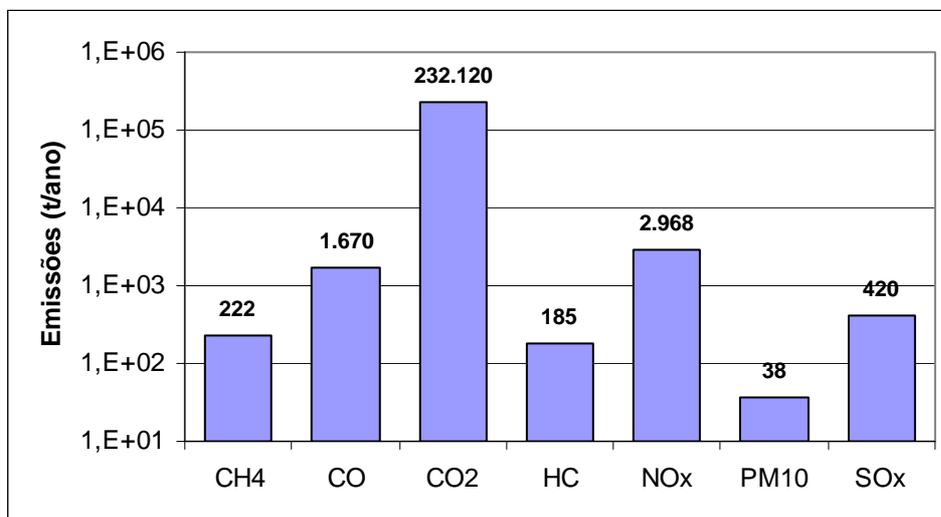


Figura 3.6 Emissões de poluentes atmosféricos no transporte coletivo urbano (ônibus) para o ano-base (2004)

O gráfico da Figura 3.7 mostra as emissões atmosféricas no processo de aquecimento de água com “backup” GLP. Neste gráfico estão representadas as emissões devidas à queima do GLP no “backup” do sistema de aquecimento solar em Belo Horizonte no ano base, supondo-se em 25%, a participação deste combustível no “backup”.

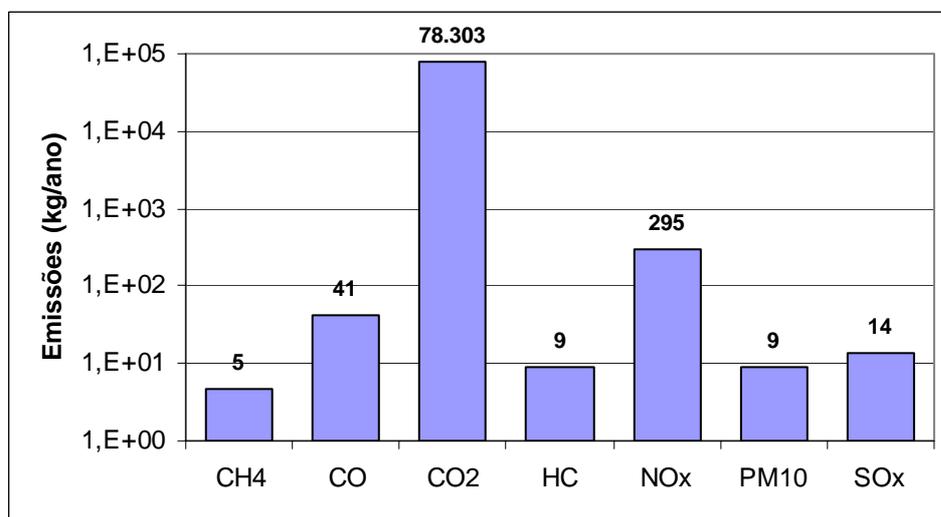


Figura 3.7 Emissões atmosféricas do aquecimento de água para o ano-base (2004)

Caso não fossem usados aquecedores solares, as quantidades de poluentes atmosféricos emitidas seriam cerca de quatro vezes maior do que as encontradas com o aquecimento solar.

3.3 Hipóteses para o estudo

Nesta seção são apresentadas as hipóteses que serviram de base no estudo. Os resultados apresentados no Capítulo 4 dependem estritamente das considerações feitas nesta seção. Além dos cenários e das projeções, nesta seção está apresentada a rede energética futura avaliada e projeções.

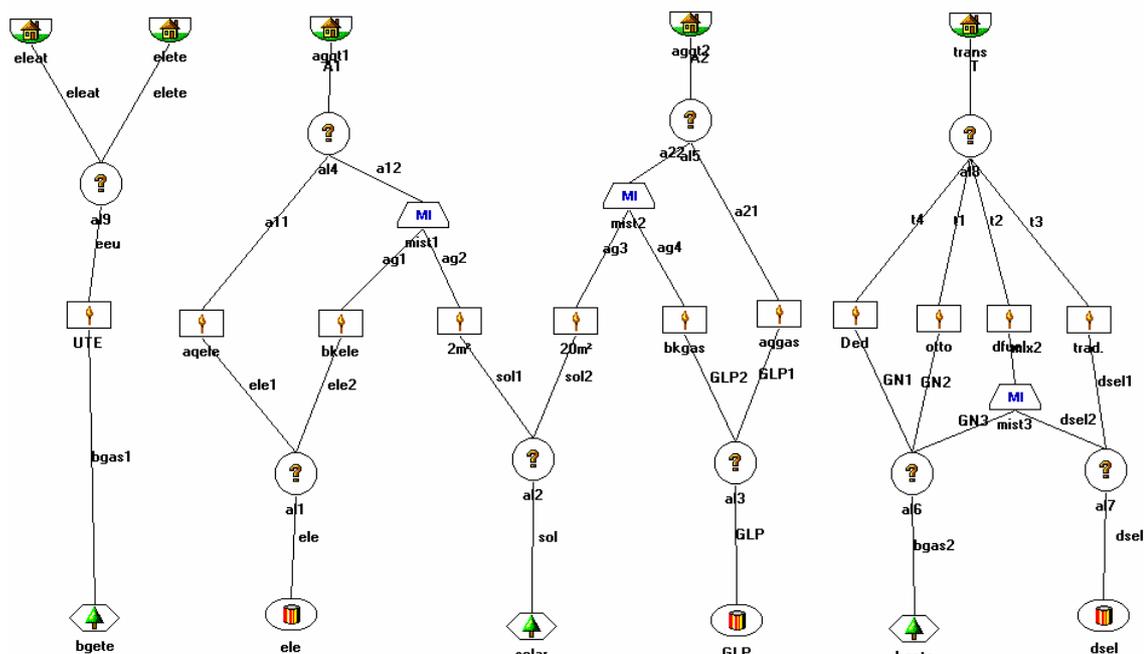
3.3.1 A rede energética futura avaliada

A rede energética futura avaliada neste estudo é apresentada na Figura 3.8. Nela, é explorado o aproveitamento energético do biogás para geração de energia elétrica, como combustível nos ônibus e também é avaliada a ampliação do uso dos aquecedores solares para o aquecimento de água.

Esta rede é composta por três partes: a parte da direita representa alternativas tecnológicas para o transporte coletivo urbano, utilizando o biogás e ao mesmo tempo o sistema convencional (ônibus a diesel) utilizado atualmente.

A parte da esquerda representa usinas de geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente tanto do aterro sanitário quanto da estação de tratamento de esgoto.

A parte do meio representa os sistemas de aquecimento de água a partir do uso do aquecedores solares, tanto para sistemas de aquecimento de grande porte como para sistemas de pequeno porte.



| LEGENDA | SIGNIFICADO |
|------------------|---|
| trans | Demanda de transporte coletivo urbano (ônibus) |
| agqt1 | Água aquecida para residências unifamiliares |
| agqt2 | Água aquecida para prédios de apartamentos |
| elete | Demanda de eletricidade na ETE Onça |
| eleat | Demanda de autoprodução de eletricidade |
| trad | Ônibus tradicional (motor do ciclo diesel) |
| dfuel | Ônibus com tecnologia “Dual Fuel” |
| otto | Ônibus com tecnologia de “Ottolização” |
| ded | Ônibus com tecnologia Dedicada |
| aqele | Aquecedor elétrico |
| aqgas | Aquecedor a gás |
| 2m ² | Sistema solar com 2m ² de placas instaladas |
| 20m ² | Sistema solar com 20m ² de placas instaladas |
| bkele | Sistema de backup elétrico |
| bkgas | Sistema de backup a gás |
| UTE | Termelétrica (ETE Onça) |
| mist1 | Mistura de água aquecida (agele+ 2m ²) |
| mist2 | Mistura de água aquecida (aqgas + 20m ²) |
| mist3 | Mistura de diesel e biogás |
| dsel | Diesel (ou biodiesel) |
| bgate | Biogás do aterro |
| bgete | Biogás da ETE Onça |
| ele | Energia elétrica da rede |
| solar | Energia solar |
| GLP | Gás liquefeito de petróleo |

Figura 3.8 Rede energética futura avaliada.

3.3.2 Aspectos econômicos

Belo Horizonte é a capital do estado de Minas Gerais, com uma população de 2.399.920 de habitantes, em 2006, e o PIB do município representava 1,4% do PIB nacional, em 2004 (IBGE, 2006). Em 2000, a cidade possuía um PIB de 23,7 bilhões de reais (valor constante, ano base 2004) e em 2004 chegou a 24,5 bilhões de reais (Figura 3.9). Este crescimento corresponde a 1,2% a.a. no PIB local, sendo que o Brasil cresceu 2,6% a.a. no mesmo período (MME, 2006a).

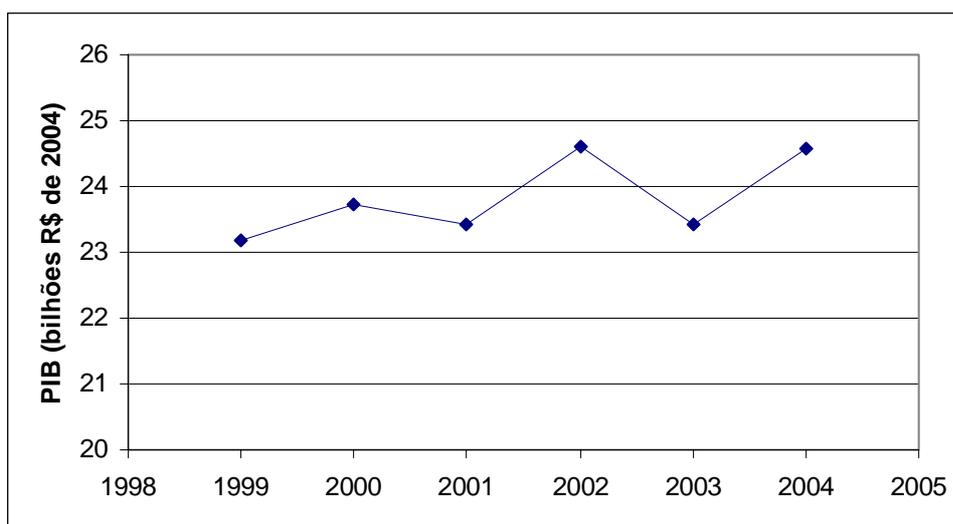


Figura 3.9 Produto Interno Bruto para Belo Horizonte.

Fonte: IBGE, 2006.

Como o PIB do Brasil cresceu aproximadamente duas vezes mais do que o PIB de Belo Horizonte no mesmo período, no Cenário Básico está sendo considerado que Belo Horizonte vai crescer 2,0% a.a., sendo que para o Brasil é esperado um crescimento em média de 4,1% a.a. (CCPE, 2007a).

3.3.2.1 Consumo de energia e elasticidade renda do consumo

A capital mineira, no que refere ao consumo de energia elétrica, foi responsável pelo consumo de mais de 3,5 TWh em 2004 (Figura 3.10); este montante representou aproximadamente 8% do consumo de energia elétrica do Estado de Minas Gerais naquele ano (BEEMG, 2006).

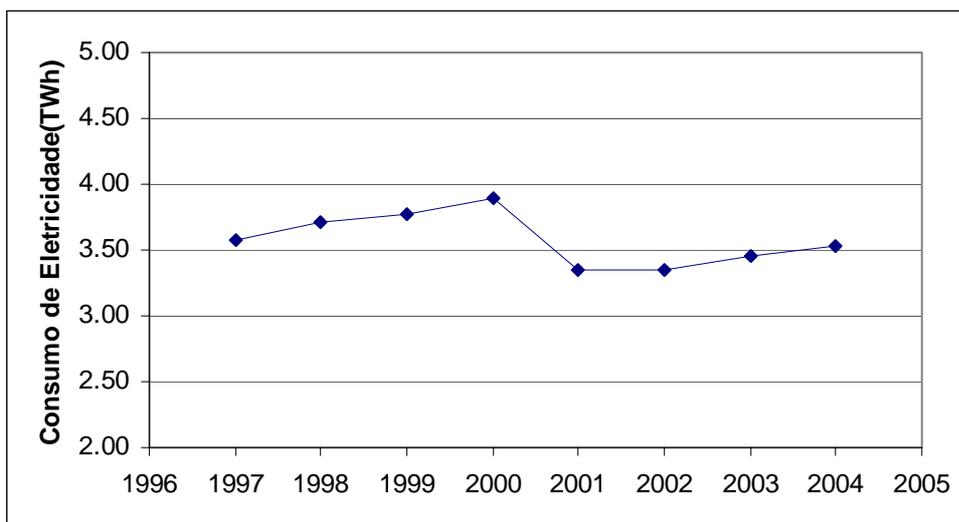


Figura 3.10 Consumo de energia elétrica em Belo Horizonte

Fonte: PBH, 2007

Considerando que o valor médio da elasticidade-renda do consumo de energia elétrica (Figura 3.11) igual R\$ 0,15/kWh permaneça constante ao longo do horizonte do estudo e baseado no crescimento do PIB de Belo Horizonte de 2% ao ano, pode-se estimar que, em 2023, o consumo de energia elétrica vai ser de aproximadamente 5,5 TWh, um aumento de 36% no período.

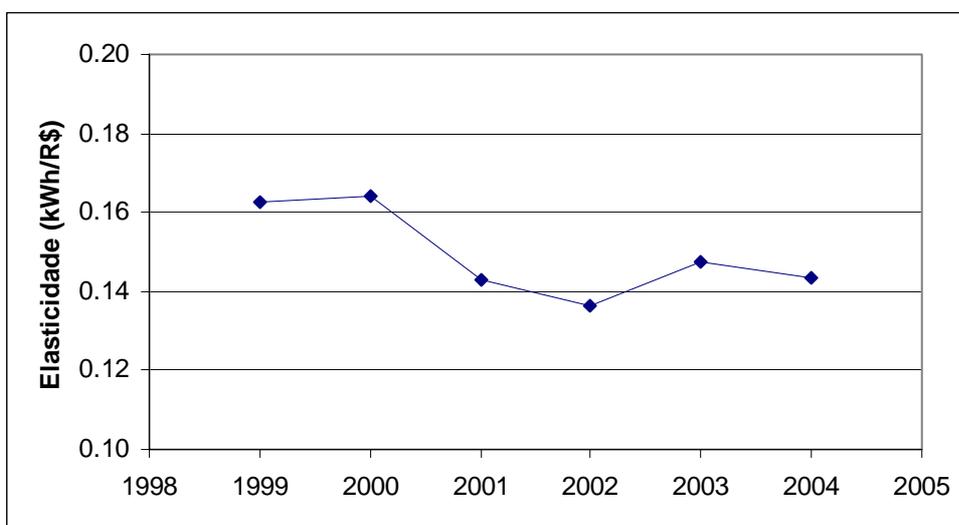


Figura 3.11 Elasticidade-renda do consumo de energia elétrica.

Elaboração própria

3.3.3 Projeções

Antes de tudo, as projeções feitas neste estudo têm um grau de incerteza. Não porque o modelo aplicado seja inadequado, mas porque está na essência das projeções a

imprevisibilidade. Quando se solta uma pedra, não há dúvida em prever que ela cairá até o chão, exceto que tenha um obstáculo antes; entretanto, a tarefa de prever fica extremamente difícil quando é pretendido, por exemplo, saber qual o preço do barril de petróleo daqui a um mês. A diferença desses problemas está na complexidade de cada um deles. No caso da pedra, como a relação que descreve o comportamento dela ao ser abandonada é conhecida e, no caso do preço do petróleo, não se conhece ou até mesmo é impossível conhecer. Portanto, não foi utilizado nenhum modelo matemático ou estatístico complexo para fazer as projeções neste estudo. Em geral, as projeções usadas neste estudo são baseadas em outras projeções, feitas por instituições, empresas ou grupos de pessoas especializadas na área de planejamento.

Foram apresentadas projeções dos preços do diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP) e energia elétrica. Também foram projetadas as demandas de energia para o transporte coletivo urbano (ônibus), a demanda de água aquecida usando coletores solares e, no caso da energia de biomassa, foi introduzido na rede energética o potencial estimado de geração de energia elétrica para os resíduos sólidos urbanos (RSU) e esgoto.

3.3.3.1 Projeções de preços para derivados de petróleo

Para projetar os preços do GLP e do diesel, foram utilizadas as mesmas projeções de preços feitas para o barril de petróleo. A hipótese é que como o diesel e o GLP são insumos derivados do petróleo, estes tendem a ter aumento de preços que seguem o comportamento das taxas do barril de petróleo. De 2006 a início de 2008, o preço do barril de petróleo sofreu um aumento real de 45% e atualmente já ultrapassa 70%. Como o preço do diesel está sendo atrelado ao preço do barril de petróleo, foram usadas taxas do Cenário “High Oil Price” encontradas no Annual Energy Outlook 2007, (EIA, 2007), para projetar o preço médio do diesel a partir de 2006.

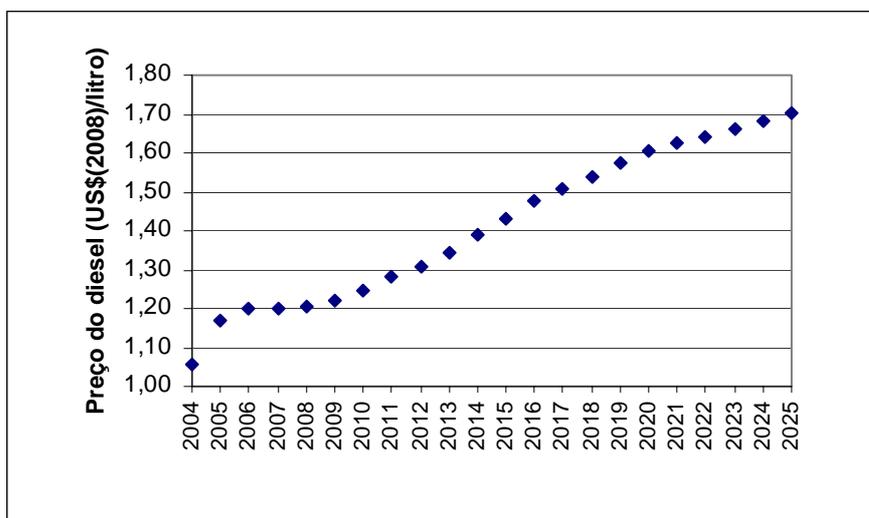


Figura 3.12 Preços projetados para o diesel.

Fontes: EIA, 2007

Seguindo as projeções do PDEE 2007-2016, por exemplo, o GLP tem o preço desatrelado dos preços internacionais desde 2002 (CCPE, 2007b); entretanto, no cenário macroeconômico

“SM” é esperado um pouco da melhoria de renda da população que justifique um pequeno aumento no preço do GLP. Isso diminui a diferença entre o preço doméstico e o internacional. É esperado também que, depois de 2011, os preços domésticos de produção (sem tributos) tendam a se igualar aos preços de exportação. Este fato permite atrelar as projeções dos preços do GLP, após 2016, com as projeções dos preços do petróleo feitas pela EIA, Figura 3.13.

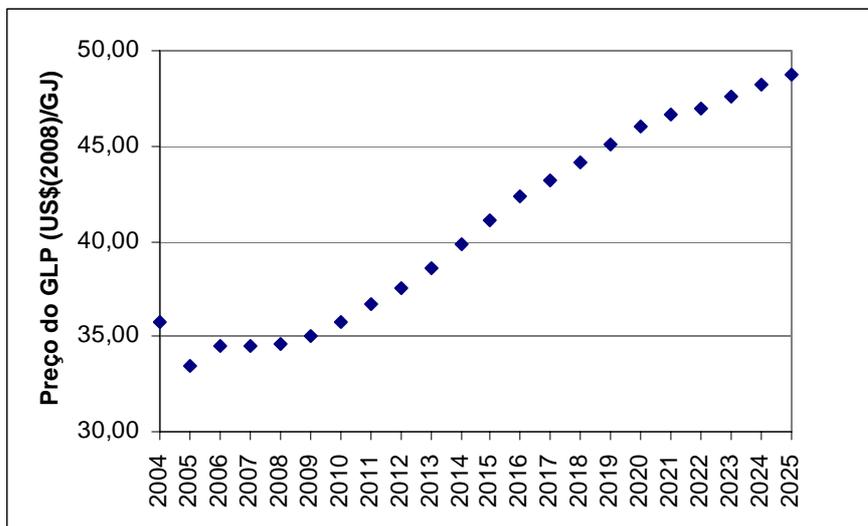


Figura 3.13 Preços projetados para o GLP.

Fontes: EIA, 2007.

3.3.3.2 Projeções de preços para energia elétrica

Para o preço da energia elétrica, foram usadas projeções estimadas pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), baseada nos leilões de energia elétrica e estimativas do PDEE 2006-2015. O preço da energia elétrica para a indústria, no período de 2005 até 2010, é estimada aumentar a uma taxa de 2,3% a.a. ano e no setor residencial, no mesmo período, estima-se uma variação de 0,81% a.a. Já no período de 2010 até 2015, as projeções foram estimadas de 3,69% a.a e 2,93% a.a para o setores industrial e residencial, respectivamente. Para os anos seguintes foram usadas as taxas praticadas em 2010-2015.

3.3.3.3 Projeções de demanda de energia para o transporte coletivo urbano

A projeção de demanda no transporte coletivo urbano foi feita baseada em duas hipóteses, a partir do número de passageiros transportados em Belo Horizonte (Figura 3.14).

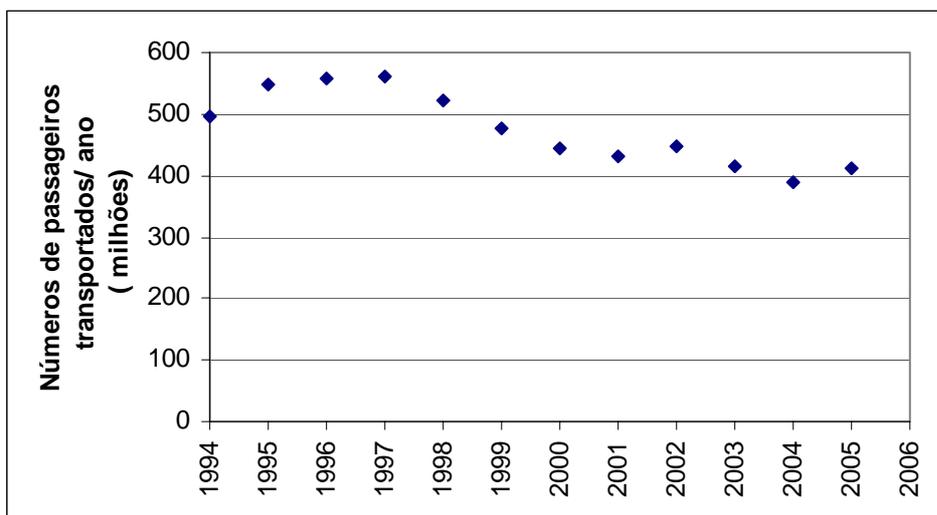


Figura 3.14 Número de passageiros no transporte coletivo em Belo Horizonte

Fonte: NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos), 2004

Foi feita a hipótese de que, no período projetado neste estudo, não deve haver mudança significativa na tendência da curva, ou seja, o número de passageiros transportado por ano continuará caindo, de tal forma que tenda para um valor constante. Esta hipótese se baseia na frota de ônibus coletivos urbanos em Belo Horizonte, que, nos últimos anos, tem-se mantido aproximadamente constante (Figura 3.15).

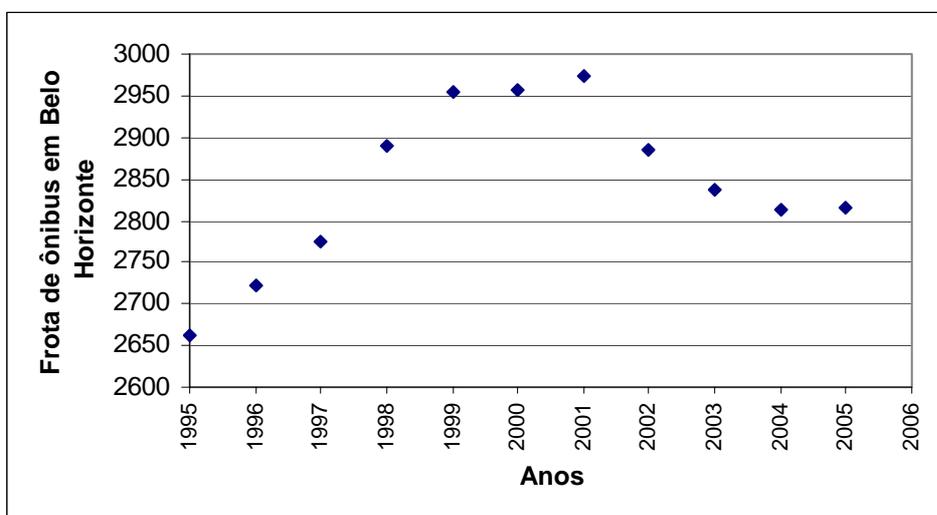


Figura 3.15 Número de ônibus no transporte coletivo em Belo Horizonte

Fonte: NTU, 2004

Foi feita a hipótese de que a frota permanecerá aproximadamente constante, hipótese que não é de todo incoerente quando se considera que o número de passageiros que utilizam ônibus urbano não tem variado muito nos últimos anos (Figura 3.14).

3.3.4 Cenários

Cenário pode ser entendido como uma construção hipotética de um conjunto de eventos que serve para descrever um futuro possível. A partir dessa ferramenta, os planejadores podem tentar desenhar os possíveis acontecimentos futuros, suas implicações e assim formular metas e ações para superar possíveis contratempos (SHELL, 2003).

Neste trabalho foram criados três cenários distintos: Cenário Básico, Cenário Ideal e Cenário Demo. Suas características são apresentadas a seguir.

3.3.4.1 Cenário Básico

O Cenário Básico é baseado no cenário chamado de “Surfando a marola” (SM) que é um dos seis cenários para o Brasil, apresentados no Plano Nacional de Energia (PNE-2030) elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (CCPE, 2007a).

No Cenário Básico, está sendo considerado que Belo Horizonte vai crescer 2,0% a.a., sendo que para o Brasil é esperado um crescimento em média de 4,1% a.a. ao longo do período de estudo.

A escolha do cenário “SM” como base para o Cenário Básico é porque ele possui características macroeconômicas com perfil próximo do cenário pretendido para o Cenário Básico, ou seja, um perfil equilibrado entre características macroeconômicas otimistas e pessimistas.

A seguir são apresentados alguns aspectos importantes do cenário “SM”:

- O produto interno bruto (PIB) brasileiro vai crescer, em média, 4,1% a.a.
- Haverá um pouco de melhoria na distribuição de renda.
- Não haverá grandes mudanças estruturais na economia.
- Os investimentos externos serão pouco significativos.

Focalizando, como premissa, a proposta de avaliar os impactos da diversificação da matriz energética e a utilização de recursos domésticos no município de Belo Horizonte, levando em consideração os aspectos gerais e econômicos e de consumo de energia apresentada anteriormente e baseada na rede energética elaborada para este estudo, no Cenário Básico, são considerados que:

- Usou-se a hipótese de que a frota de ônibus coletivo urbano não terá sua demanda aumentada e que, parte da frota, utilizará biogás (proveniente do aterro) como combustível. Estima-se que o potencial de gás do aterro seja capaz de suprir mais de 25% da demanda anual de diesel no transporte coletivo urbano (ver seção 2.3.2 e Apêndice A). Será considerado que, a partir de 2015, 1% a.a. da frota atual de ônibus serão substituídas por ônibus que utilizam biogás como combustível. Essa troca ocorrerá até 2019 correspondendo neste ano a 5% da frota total.

- O potencial energético do biogás do sistema da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Onça) será usado parcialmente para a geração de energia elétrica, a qual irá suprir a demanda interna da própria estação, com um consumo de 1,66 GWh/ano. A ETE Onça será capaz de gerar 5,0 GWh/ano de energia elétrica durante o tratamento de 1,8 toneladas por segundo de esgoto.
- Os aquecedores solares irão, ao longo do período de estudo, substituir os aquecedores de água convencionais com taxas de crescimento baseadas em um ajuste logístico (ver Apêndice C), dividida por dois (para considerar um crescimento moderado), projetada de 2004 a 2025, Figura 3.16.

3.3.4.2 Cenário Ideal

O Cenário Ideal é um cenário otimista. Portanto, ele possibilita avaliar os impactos da penetração intensa de novos insumos na matriz energética local e a geração de energia elétrica utilizando biogás, a utilização deste gás no sistema de transporte coletivo urbano e pela substituição crescente dos sistemas convencionais de aquecimento de água pelo aquecedor solar.

Do ponto de vista macroeconômico, a principal diferença com relação ao Cenário Básico é que o Cenário Ideal usa como projeção do crescimento do PIB a taxa de 4,1 % a.a. Este valor significa que a cidade de Belo Horizonte vai crescer com a mesma taxa projetada para o Brasil.

Caso isso ocorra, espera-se que, em 2023, o PIB de Belo Horizonte seja aproximadamente de R\$ 54,7 bilhões, ou seja, mais do que o dobro do PIB em 2004 e mais de 33% do PIB esperado para o mesmo ano no Cenário Básico.

Baseado neste crescimento pode-se esperar que o consumo de energia elétrica seja de 8,2 TWh, mantendo a mesma elasticidade-renda adotado para o Cenário Básico.

Devido a este crescimento, a capital mineira irá buscar de forma intensa novas formas de energia para suprir sua demanda.

No Cenário Ideal é considerado que:

- O transporte coletivo urbano (ônibus) não aumentará sua demanda e será considerado que no ano de 2015 serão substituídos 3% da frota atual de ônibus por ônibus da Tecnologia “Ottolização”. Essa troca ocorrerá até 2019, correspondendo 15% no total. A escolha da Tecnologia “Ottolização” foi porque esta rota tecnológica utiliza exclusivamente biogás. Não foi escolhida a Tecnologia Dedicada, que também utiliza somente biogás, porque a Tecnologia “Ottolização” permite que a frota de ônibus a biogás possa ser re-convertida e utilizada nas cidades do interior com diesel, sendo que isso não pode ser feito com a Tecnologia Dedicada.
- O potencial energético do biogás na estação de tratamento de esgoto será usado em sua totalidade para geração de energia elétrica, ou seja, vai haver um excedente de 3,34 GWh/ano, que serão disponibilizados para rede de distribuição do município.

- Os aquecedores solares irão, ao longo do período, substituir os aquecedores de água convencionais e espera-se que, em 2025, estes sejam substituídos em grandes quantidades. Para tanto, a substituição deverá ocorrer com taxas projetadas com base no ajuste logístico apresentado no Apêndice C.

3.3.4.3 Cenário Demo

Neste cenário, é esperado um crescimento do PIB de 1,2% a.a. Esta taxa representa o crescimento econômico da cidade Belo Horizonte nos últimos anos, conforme apresentado na Figura 3.9. Portanto, neste cenário não são esperadas mudanças significativas na taxa de crescimento do PIB.

Devido a esse baixo crescimento econômico, não são esperados grandes avanços na diversificação energética local. Qualquer inovação neste sentido será de caráter experimental, portanto, trata-se de projetos piloto com desprezível impacto do ponto de vista energético, econômico ou ambiental. No Cenário Demo é considerado que:

- Não haverá o aproveitamento do potencial energético do biogás.
- Os aquecedores solares irão, ao longo do período, permanecer basicamente com as mesmas quantidades do ano-base. Isto não deve ocorrer, porém a razão desta hipótese é para comparar o efeito de substituição do chuveiro elétrico, no Cenário Básico.
- A demanda no transporte coletivo urbano (ônibus) permanecerá constante e o diesel não será substituído por gás na frota de ônibus.

3.3.4.4 Demanda de aquecimento de água com aquecedor solar para os três cenários

Para projetar a demanda de utilização de água aquecida usando aquecedor solar, foi feito um ajuste logístico na curva da evolução da área de coletores solares instalados no Brasil (Figura 2.4) e foi considerado que o comportamento da curva de aquecedores acumulados sirva como parâmetro para projetar o crescimento da demanda de água aquecida, usando o aquecedor solar, em Belo Horizonte.

A Figura 3.16 apresenta três curvas de projeção da quantidade de coletores solares em Belo Horizonte, cada uma é correspondente a cada um dos três cenários estabelecidos: Ideal, Básico e Demo.

Inicialmente, para determinar as taxas de crescimento da quantidade de coletores solares instalados em Belo Horizonte, foi feito um ajuste logístico. O modelo logístico é um modelo probabilístico que permite projetar vários fenômenos já em andamento (FERREIRA, 1996). Os resultados, desse ajuste, mostraram que, em 2025, Belo Horizonte teria 1,12 milhões de m² placas instaladas (Apêndice C); porém, a população de Belo Horizonte, em 2006, foi estimada em 2.399.920 e não deve crescer tanto porque é uma capital já bastante populosa; portanto, as taxas de penetração do aquecedor solar, produzidas pelo ajuste logístico, foram divididas pela metade, para serem taxas menores e enquadrarem ao perfil moderado do Cenário Básico.

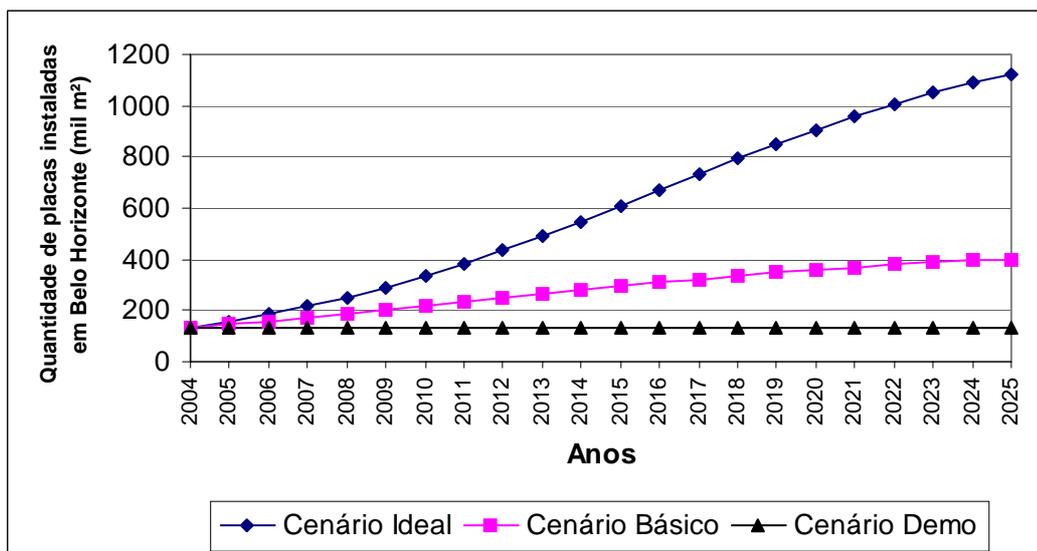


Figura 3.16 Projeção da quantidade de placas instaladas de aquecedores solares

Para os outros cenários tem-se: Cenário Ideal, taxas de crescimento igual às taxas de crescimento do ajuste logístico; Cenário Demo, sem taxas de crescimento (seção 3.3.4.3).

Portanto, para Belo Horizonte, são esperados que, no ano de 2025, haja mais de 1 milhão de m² de área de coletores instalados no Cenário Ideal, 401 mil m² no Cenário Básico e 134,3 mil m² no Cenário Demo. Em 2004, por hipótese, Belo Horizonte possuía 134,3 mil m² de área de coletores instalados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados, inicialmente, os resultados para o Cenário Básico e, em seguida, esses resultados são comparados com os outros dois cenários avaliados: Ideal e Demo.

4.1 Resultados para o Cenário Básico

Os resultados apresentados referentes ao Cenário Básico são apresentados primeiramente para o aquecimento de água, depois para a autoprodução de energia elétrica e, finalmente, para o setor de transporte coletivo urbano (ônibus).

4.1.1 Determinação do volume de água, consumo de eletricidade e consumo de GLP para o aquecimento de água.

A Figura 4.1 apresenta a evolução do volume de água aquecida, utilizando sistema de aquecimento solar de água, na cidade de Belo Horizonte, no Cenário Básico.

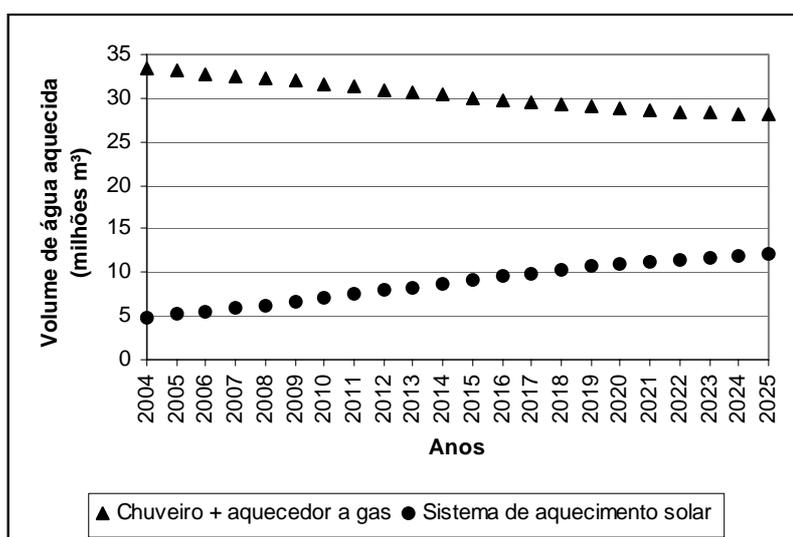


Figura 4.1 Evolução do volume de água aquecida em Belo Horizonte no setor residencial – Cenário Básico

Considerando que, no ano-base, existiam 63.990 residências unifamiliares e 316 prédios de apartamentos, o volume de água aquecida, por chuveiros elétricos e aquecedores a gás, foi de 33,3 milhões de m³. O volume de água aquecida pelos sistemas de aquecimento solar foi de 4,8 milhões de m³. Já, em 2025, é estimado para o Cenário Básico o volume total de água aquecida por chuveiros elétricos e por aquecedores a gás de 28,1 milhões de m³, uma redução de 15,5% em comparação com 2004. O volume de água aquecida, devido aos sistemas de aquecimento solar, é estimado de 12,1 milhões de m³, correspondendo a um aumento de 150% comparado com 2004.

No sistema de aquecimento solar para residências unifamiliares usa-se a energia elétrica como “backup”; a Figura 4.2 mostra, para o Cenário Básico, o consumo de eletricidade utilizado

para o aquecimento de água neste sistema e compara com o consumo de energia elétrica no chuveiro.

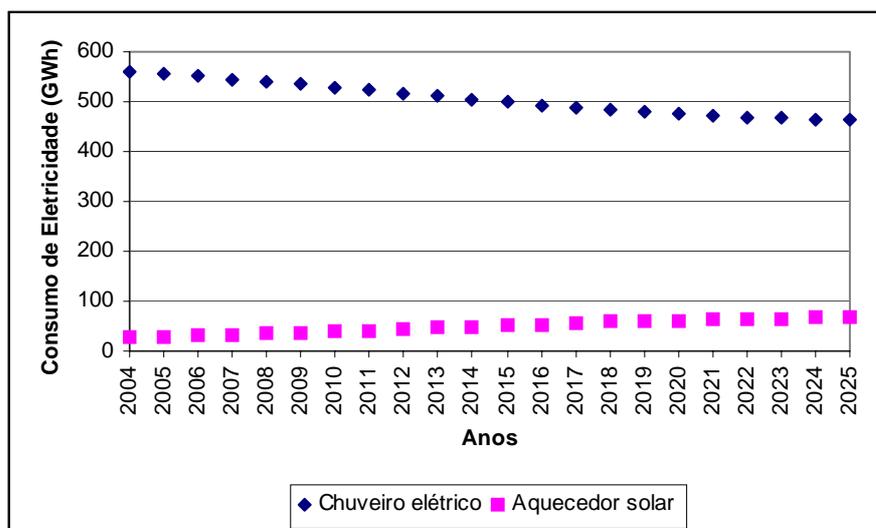


Figura 4.2 Quantidade de energia elétrica utilizada para o aquecimento de água no setor residencial – Cenário Básico

Conforme o gráfico mostra, no ano-base, o chuveiro era responsável pelo consumo de 559,4 GWh de energia elétrica para aquecimento de água e apenas 26,5 GWh era devido ao “backup” do aquecedor solar. Para o ano de 2025, o chuveiro deverá ser responsável pelo consumo de 464 GWh, correspondendo a uma redução de 17% no consumo de eletricidade. No caso do aquecedor solar, o “backup” elétrico deverá ser responsável pelo consumo de 68,1 GWh, em 2025, aumento de 157 % no período avaliado.

A Figura 4.3 apresenta o consumo de GLP nos sistemas de aquecimento de água a gás e em sistemas de aquecimento de água solar com “backup” a gás.

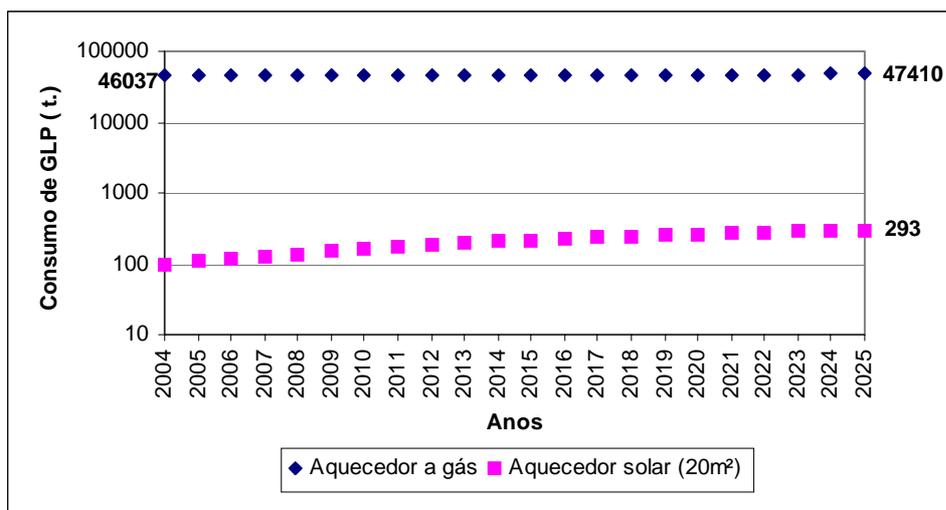


Figura 4.3 Quantidade de GLP utilizado no setor residencial para o aquecimento de água – Cenário Básico

No ano de 2004, o consumo de GLP devido ao “backup” do aquecedor solar, foi de 97 t, Figura 4.3, enquanto, o consumo de GLP nos aquecedores de água a gás foi de 46.037 mil t. Para o ano de 2025, o consumo deverá chegar a 293 t no caso do aquecedor solar com “backup” a gás e estima-se que, para o aquecedor a gás, o consumo chegará a 47.410 t.

4.1.2 Determinação do custo de água aquecida

A Figura 4.4 mostra uma comparação entre o custo de aquecer a água usando o chuveiro elétrico e o aquecedor solar com 2m² de placas instaladas. O custo para o aquecimento de água é apresentado por metro cúbico (m³) de água aquecida.

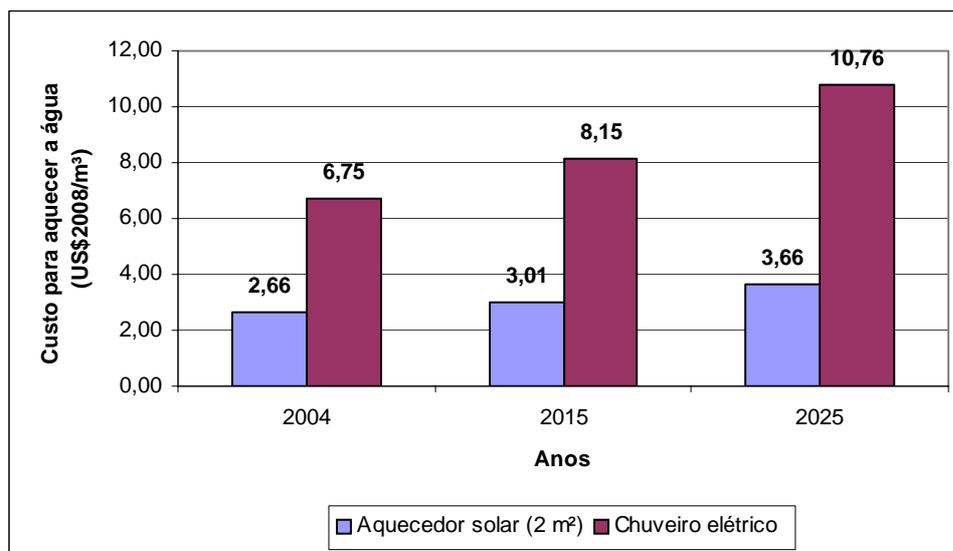


Figura 4.4 Custo comparativo entre chuveiro elétrico e aquecedor solar para o aquecimento de água

Como pode ser visto na Figura 4.4, o uso do aquecedor solar é bastante vantajoso comparado com o chuveiro elétrico, como era de se esperar. No ano de 2025, o custo para o aquecimento de água com chuveiro elétrico deverá ser de US\$ 10,76/m³, enquanto usando o sistema de aquecimento solar, custo de US\$ 3,66/m³, há uma redução de 66% no custo. No ano-base, os custos eram de US\$ 6,75/m³ e US\$ 2,66/m³, respectivamente.

A Figura 4.5 apresenta uma comparação entre o custo para aquecer a água no aquecedor a gás e com o aquecedor solar usando o aquecedor a gás como “backup”.

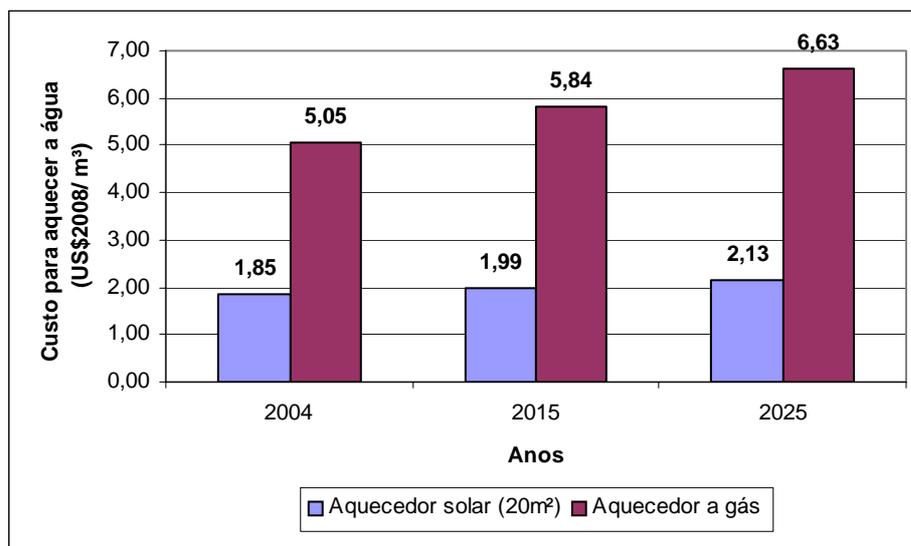


Figura 4.5 Custo comparativo entre aquecedor a gás e aquecedor solar para aquecimento de água.

Como pode ser visto na figura, no ano de 2025, o custo com aquecedor a gás é de US\$ 6,63/m³, enquanto, usando o sistema de aquecimento solar, é de US\$ 2,13/m³, uma redução de 68% no custo.

Quando a comparação é feita entre o chuveiro elétrico e o aquecedor solar com “backup” a gás, a redução é maior. O custo de aquecimento de água usando o chuveiro elétrico em 2025, é estimado em US\$ 10,76/m³, enquanto, usando o aquecedor solar com “backup” a gás é de US\$ 2,13/m³, uma redução de 80%.

A Figura 4.6 compara o custo de aquecimento de água para as tecnologias avaliadas. Pode-se observar que o custo de aquecimento de água nos casos das tecnologias que utilizam o aquecedor solar é muito mais barato do que as outras tecnologias, com destaque para o sistema de aquecedor solar com “backup” a gás, como foi mostrado anteriormente.

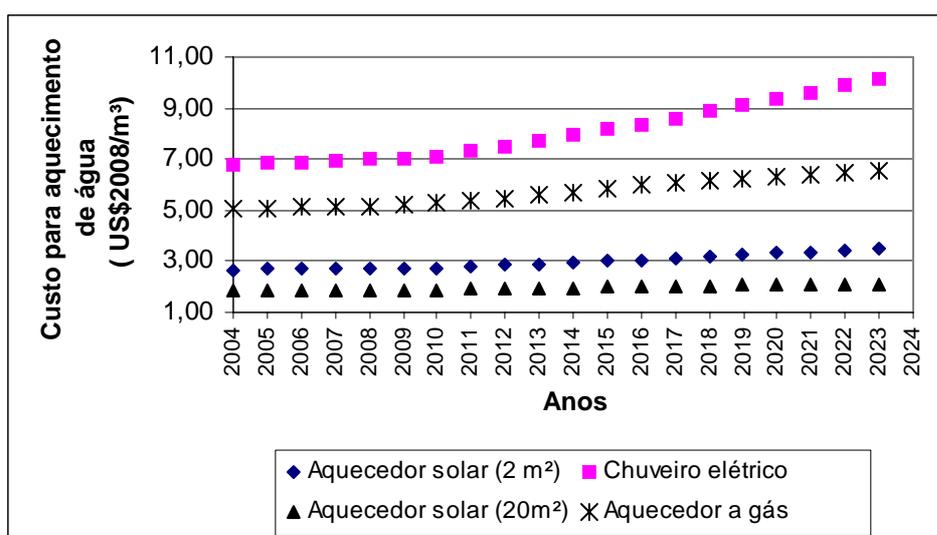


Figura 4.6 Evolução dos custos de aquecimento de água para diversas tecnologias

A partir destes resultados, percebe-se que o uso do aquecedor solar é vantajoso do ponto de vista econômico, principalmente porque reduz o consumo de energia elétrica e do GLP para o aquecimento de água. Portanto, o uso dessa tecnologia deve ser mais incentivado em Belo Horizonte e no Brasil.

O aquecimento de água com aquecedor solar e “backup” a GLP possui o menor custo por volume de água aquecida, principalmente porque o preço do GLP, em 2004, chega a ser quase três vezes menor do que o preço da eletricidade.

A substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar com “backup” elétrico apresenta-se como uma troca vantajosa. Em 2025, o custo para aquecer um metro cúbico de água com aquecedor solar deverá ser 34% do custo para aquecer a mesma quantidade com chuveiro elétrico.

4.1.3 Custo de autoprodução de energia elétrica na estação ETE Onça

A Figura 4.7 mostra o preço médio de energia elétrica na Região Sudeste para a classe serviço público e sua projeção até 2025 e também apresenta o custo da geração de energia elétrica na estação de tratamento de esgoto.

O preço de energia elétrica do setor de serviço público foi escolhido como base para comparação, pois a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) é responsável pela estação de tratamento de esgoto e se enquadra nesta categoria.

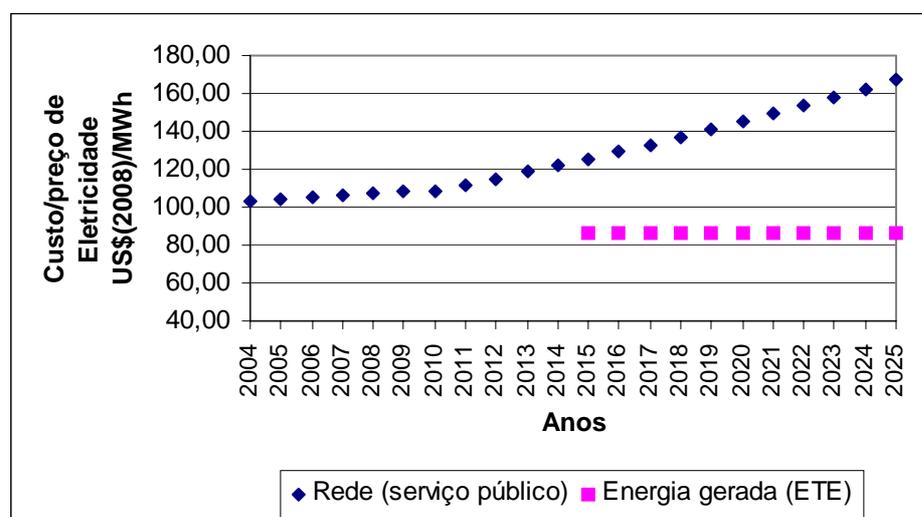


Figura 4.7 Projeção de preço para energia elétrica e custo de geração na ETE Onça

De acordo com a figura, em 2004, o preço médio atualizado de energia elétrica na Região Sudeste oferecido pela concessionária foi de US\$ 103,13/MWh. No ano de 2015, o preço da energia elétrica deverá ser de US\$ 125,55/MWh e o custo da autoprodução de eletricidade na estação de tratamento de esgoto deverá ser 31% mais barato, ou seja, deverá ser de US\$ 86,35/MWh. Deve-se observar que, o custo da energia elétrica da autoprodução é constante porque foi utilizado como hipótese que as condições para geração da energia são constantes e também foi desconsiderado os efeitos da inflação.

O preço médio de energia elétrica praticado nas concessionárias na Região Sudeste, em 2025, é estimado ser de US\$ 167,10/MWh, enquanto o custo na estação continuará sendo de US\$ 86,35/MWh, diferença de 48% com relação ao custo médio das concessionárias.

Baseado neste estudo, pode-se dizer que a geração de energia elétrica na estação de tratamento de esgoto ETE (Onça) é uma rota tecnológica que deve ser explorada. Como mostram os resultados, o custo da energia gerada na estação sempre está abaixo do preço da energia elétrica praticado pela concessionária de energia elétrica. Contudo, segundo Costa (2006), o custo da geração de energia elétrica em uma estação de tratamento de esgoto utilizando grupo geradores (30kW) é cerca de US\$ 122,4/MWh, portanto, acima do preço praticado pela concessionária até 2014. Todavia, o custo estimado por Costa (2006) se refere a uma pequena termoelétrica que chega a ser quase vinte vezes menor que a termoelétrica proposta para a ETE (Onça) e esta diferença de escala deve ser fundamental para composição do custo final.

De qualquer maneira, independentemente de fatores econômicos e ambientais, o aproveitamento energético do biogás na estação de tratamento de esgoto representa uma maior eficiência no uso dos recursos energéticos locais de uma região, além de ser uma alternativa estratégica do ponto de vista do conhecimento nesta área.

4.1.4 O consumo de diesel e biogás no setor de transporte coletivo urbano

Para o setor de transporte coletivo urbano (ônibus), no Cenário Básico, foi explorada a possibilidade de substituição de 1% até 5% a.a., do total da frota de ônibus convencionais da capital a partir de 2015 por três tecnologias que utilizam biogás. A Figura 4.8 apresenta o consumo de diesel utilizado na capital no ano-base e posteriormente com a penetração de novas tecnologias.

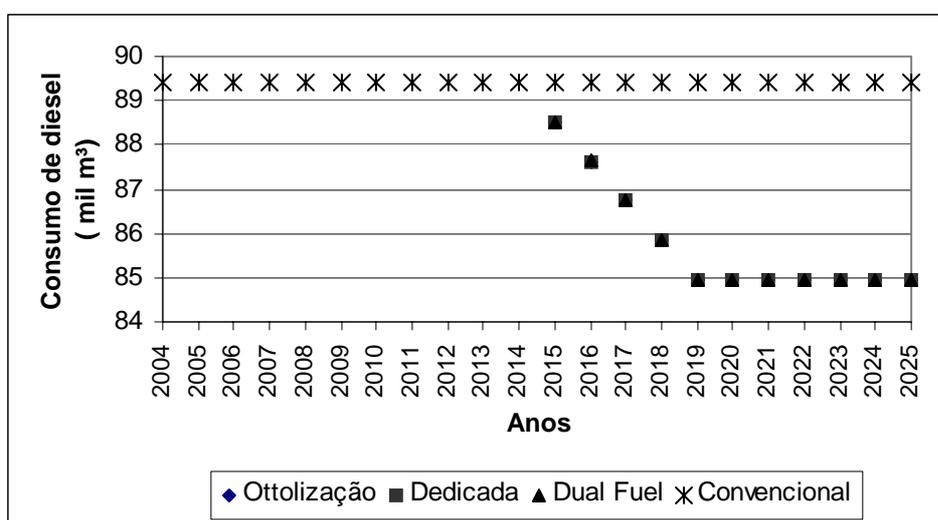


Figura 4.8 Projeção do consumo de diesel para ônibus convencionais e para as três tecnologias que utilizam biogás como combustível - Cenário Básico

Conforme mostrado na figura, existe uma redução do consumo de diesel no ano de 2015, saindo dos 89,4 mil m³ de diesel no ano-base e chegando a 84,9 mil m³ de diesel em 2025 para as três tecnologias. O consumo para a Tecnologia “Ottolização” é igual à Tecnologia Dedicada e a diferença do consumo para a Dual Fuel é desprezível.

4.1.5 O custo do quilômetro percorrido no setor de transporte coletivo urbano

Os gastos com combustível e o custo de operação e manutenção são determinantes para o custo do quilômetro percorrido no setor de transporte. A Figura 4.9 mostra o custo para Belo Horizonte considerando as três tecnologias que utilizam gás e compara com o custo do quilômetro no ônibus convencional (a diesel). Tais custos aplicam-se aos três cenários.

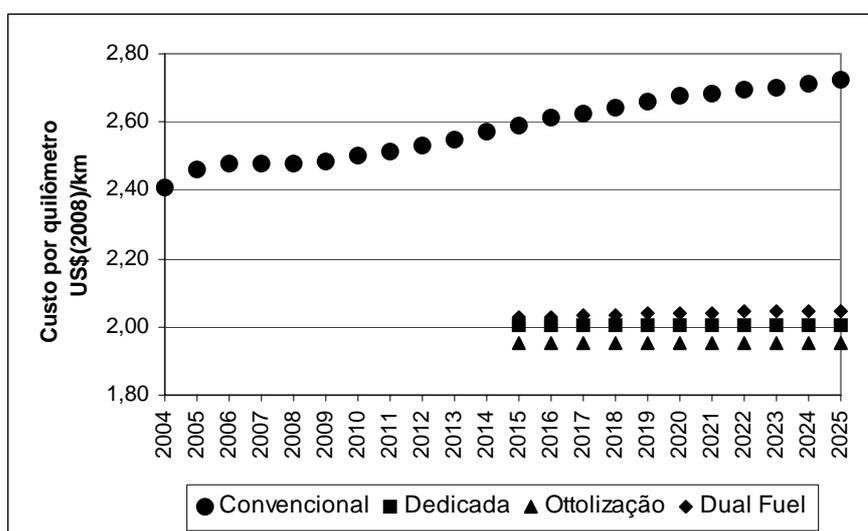


Figura 4.9 Projeção de custo do quilômetro percorrido no setor de transporte – por tecnologia

O custo do quilômetro percorrido para os ônibus das três tecnologias que contemplam o uso do biogás, é menor do que o custo para o ônibus convencional. Como foram desprezadas as diferenças de custo de operação e manutenção para estas três tecnologias, em comparação com o sistema convencional, pode-se dizer que a diferença de custo refere-se ao custo associado ao consumo de combustível e da rota tecnológica.

Em 2025, o custo do quilômetro rodado utilizando ônibus convencional deverá ser de US\$ 2,72/km; utilizando ônibus com a Tecnologia “Dual Fuel”, o custo é estimado em US\$ 2,05/km; para as tecnologias Dedicada e “Ottolização”, o custo deverá ser de US\$ 2,00/km e US\$ 1,95/km, respectivamente, (Tabela 4.1)

Tabela 4.1 Projeção de custo do quilômetro percorrido em 2025.

| Tipo de Ônibus | Custo por quilômetro percorrido (US\$/km) |
|----------------|---|
| Convencional | 2,72 |
| “Dual Fuel” | 2,05 |
| “Ottolização” | 1,95 |
| “Dedicada” | 2,00 |

4.1.6 Emissões de poluentes para o setor de transporte coletivo urbano

Nesta seção, é avaliada a quantidade de emissões de poluentes no setor de transporte para os ônibus convencionais e para o caso em que haja a substituição de 1% da frota de ônibus a partir de 2015 por outros de tecnologias que utilizem o biogás, até o máximo de 5% da frota em 2019. A Figura 4.10 mostra as emissões de dióxido de carbono (CO₂).

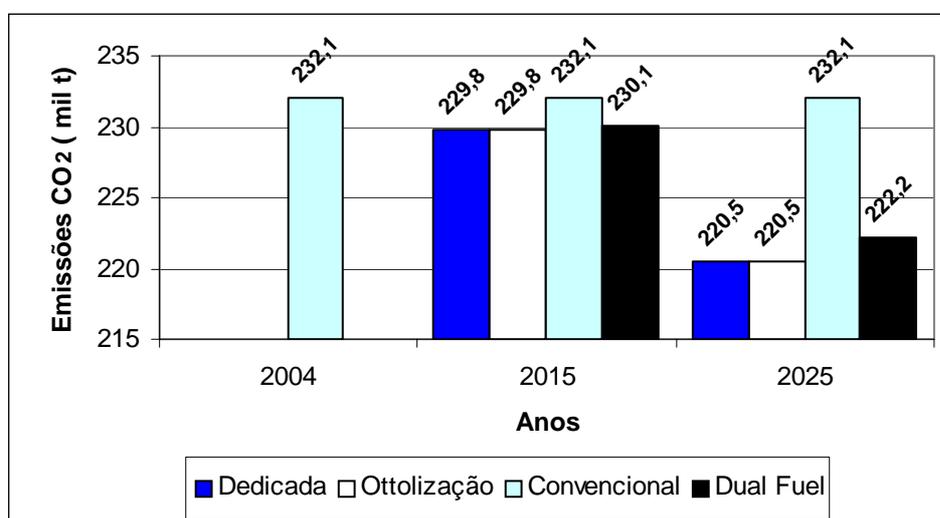


Figura 4.10 Comparação entre tecnologias para emissões de CO₂ no setor de transporte coletivo urbano - Cenário Básico

Considerando que a utilização do biogás como combustível produz emissões nulas para tal poluente, espera-se que ao longo do tempo as emissões para o setor sejam reduzidas, como pode ser visto no ano de 2025.

A Figura 4.10 mostra, em 2015, uma desprezível redução na emissão de dióxido de carbono para os casos da Tecnologia Dedicada, “Ottolização” e “Dual Fuel”, em comparação com o sistema convencional. Para o ano de 2025, as emissões devido as Tecnologias Dedicada e “Ottolização” deverão reduzir a 11,6 mil t de CO₂ em comparação com o sistema convencional.

Uma das vantagens de se substituir o diesel por biogás é a redução das emissões de material particulado (PM₁₀). No ano-base, o setor de transporte emitia 37,6 t PM₁₀ (seção 3.2.4) e com a penetração de 1% a.a. de ônibus que utilizam biogás, as emissões desse poluente sofrem uma redução (Figura 4.11).

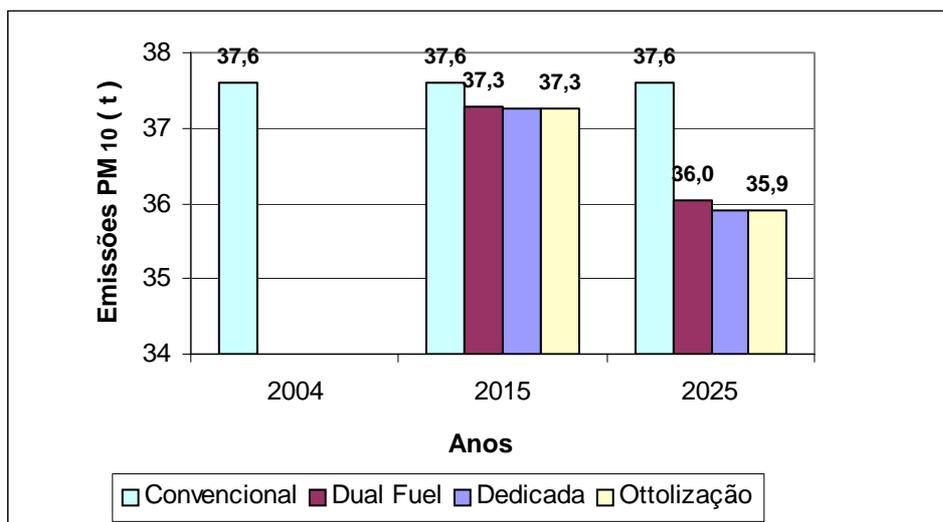


Figura 4.11 Comparação entre tecnologias para as emissões de PM₁₀ no setor de transporte coletivo urbano – Cenário Básico

Em 2025, os ônibus utilizando as Tecnologias Dedicada, “Dual Fuel” e “Ottolização” deverão reduzir em cerca de 1,7 t as emissões de material particulado (PM₁₀) em comparação com os ônibus convencionais.

Baseado nos resultados do setor de transporte coletivo urbano percebe-se que as tecnologias que utilizam o biogás como combustível podem reduzir o custo do quilômetro rodado. Também se pode dizer que o uso do biogás em ônibus reduz bastante as emissões de CO₂ e PM₁₀, já que substitui o diesel por biogás e evita que este gás seja apenas lançado na atmosfera, queimado-o no processo de combustão.

Entre as três tecnologias avaliadas neste estudo, as Tecnologias “Dual Fuel” e “Ottolização” se apresentam mais atrativas do ponto de vista econômico para o empresário do setor de transporte coletivo urbano, pois, estas rotas, possibilitam revender o ônibus usado que pode ser re-convertido para o ciclo Diesel e usado em outras cidades que não disponham de rede de gás natural. O mesmo não poderia ser feito com a Tecnologia Dedicada porque esse ônibus possui motor do ciclo Otto original de fábrica e não permite trabalhar com diesel.

4.2 Resultados para os Cenários Alternativos (Ideal e Demo)

Os resultados para o aquecimento de água, para geração de eletricidade com biogás e para as tecnologias alternativa as do motor Diesel convencional, no Cenário Ideal e no Cenário Demo, são apresentados nesta seção e comparados com os resultados do Cenário Básico.

4.2.1 Determinação do consumo de eletricidade e do consumo de GLP para o aquecimento de água

Como foi dito na seção 2.2.1, as instalações de aquecedores solares de pequeno porte, para imóveis unifamiliares, possuem “backup” elétrico. Considerando que os imóveis unifamiliares correspondiam a 63.990 residências em 2004, a Figura 4.12 mostra o consumo de energia elétrica nestas residências devido ao aquecimento de água e apresenta os resultados das projeções para os três cenários.

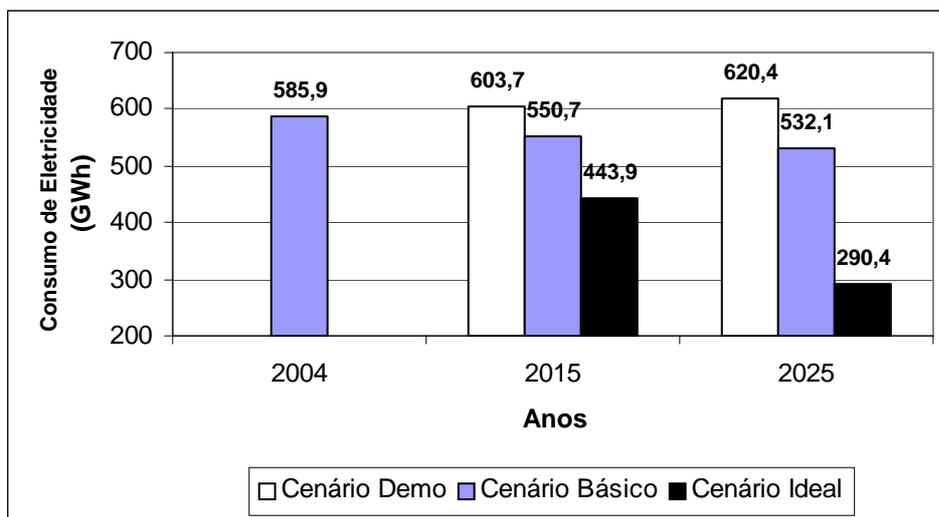


Figura 4.12 Consumo de eletricidade usado para aquecimento de água para os três cenários.

Em 2025, percebe-se que, no Cenário Ideal, é estimado um consumo de 290,4 GWh de energia elétrica, no Cenário Demo, consumo de 620,4 GWh e no Cenário Básico um consumo de 532,1 GWh. No ano-base, o consumo foi de 585,9 GWh. Isto significa que, com a penetração do aquecedor solar, no Cenário Ideal deverá haver uma redução de 50,4% no consumo de energia elétrica, no ano de 2025 em comparação com o ano-base. No caso do Cenário Básico, a redução deverá ser de 9,2% e no Cenário Demo, deverá haver um aumento no consumo de energia elétrica de 5,9%.

Para os aquecedores solares com 20 m² de placas instaladas, foi considerado o uso do aquecedor a gás como “backup”. A Figura 4.13 mostra o consumo em domicílios multifamiliares de GLP para os três cenários avaliados no ano-base, em 2015 e em 2025.

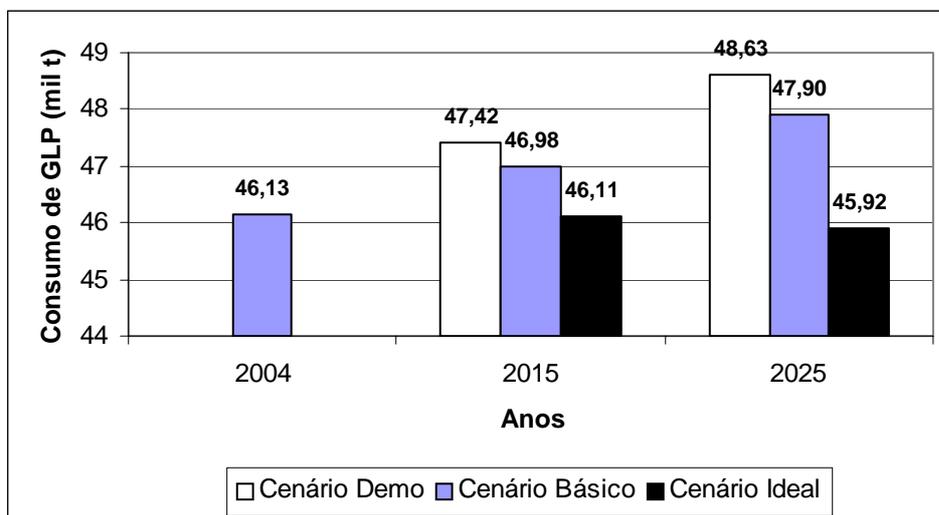


Figura 4.13 Consumo de GLP usado para aquecimento de água para os três cenários.

A figura mostra que o uso do GLP para o aquecimento de água no setor residencial deverá implicar uma pequena redução no Cenário Ideal com relação ao ano-base. Para o Cenário Básico, é esperado, em 2025, um consumo de 47,9 mil t, quase 4% maior comparado com o ano-base e 1,5% menor quando comparado com o Cenário Demo, enquanto, para o Cenário

Ideal o consumo deverá chegar a 45,9 mil t GLP, uma redução pequena em comparação com o ano-base, mas de 5,6% em comparação ao Cenário Demo. Para o Cenário Demo é esperado o consumo de 48,6 mil t GLP, um aumento de 5,4% comparado com o ano-base.

4.2.2 A geração de energia elétrica a partir da queima do biogás

A geração de energia elétrica a partir da queima do biogás na estação de tratamento de esgoto (ETE Onça) foi explorada nos Cenários Básico e Ideal. No Cenário Básico, o uso do potencial do biogás foi usado parcialmente para suprir a demanda de eletricidade da estação de tratamento de esgoto. Em 2015, no Cenário Básico, é esperado que a estação esteja funcionando com sua capacidade máxima e demandará 1,66 GWh/ano de eletricidade.

No caso do Cenário Ideal, todo o potencial de biogás da estação de tratamento será utilizado para geração de energia elétrica (Figura 4.14).

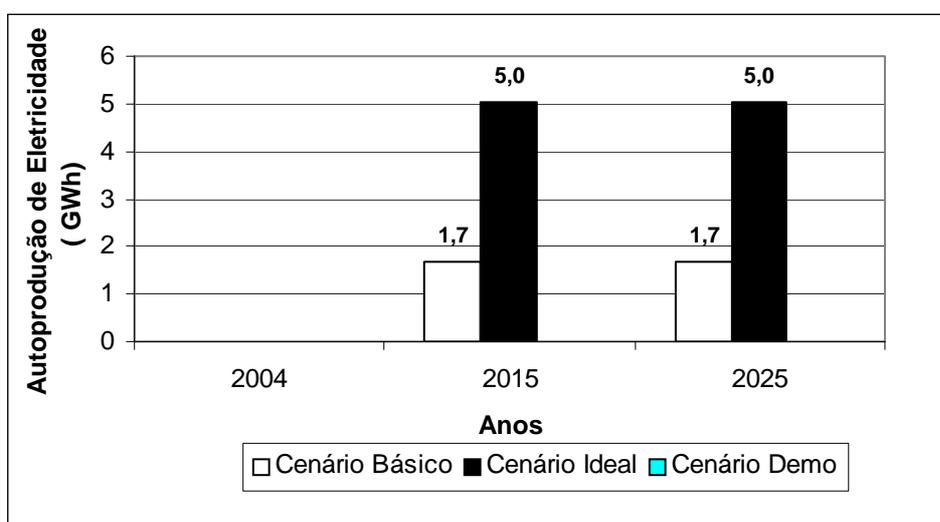


Figura 4.14 Geração de energia elétrica com biogás em Belo Horizonte para os três cenários

Como pode ser visto na Figura 4.14, no Cenário Demo não há geração de energia elétrica. No Cenário Básico, a geração de eletricidade está sendo na quantidade da demanda necessária para atender à estação de tratamento. No Cenário Ideal, representado pela maior coluna, é esperada a autoprodução de 5,0 GWh/ano de energia elétrica.

Portanto, é esperado que a energia elétrica disponível para venda, a partir do biogás, seja nula, para os Cenários Básico e Demo e para o Cenário Ideal deverá ser da ordem de 3,34 GWh/ano, a partir de 2015.

4.2.3 O custo do quilômetro rodado no setor de transporte coletivo urbano para os Cenários Ideal e Demo.

O custo do quilômetro percorrido no setor de transporte coletivo urbano é dado pela soma dos gastos com combustível, com operação e manutenção, impostos, amortização de investimentos e outros custos contabilizados anualmente, e esta soma é dividida pela quantidade de quilômetros percorridos naquele período. A Figura 4.15 mostra o custo do quilômetro percorrido para os três cenários. Para compor o custo do Cenário Básico foi

considerada a utilização da Tecnologia de “Ottolização” para comparar com o Cenário Ideal, que utiliza a mesma tecnologia.

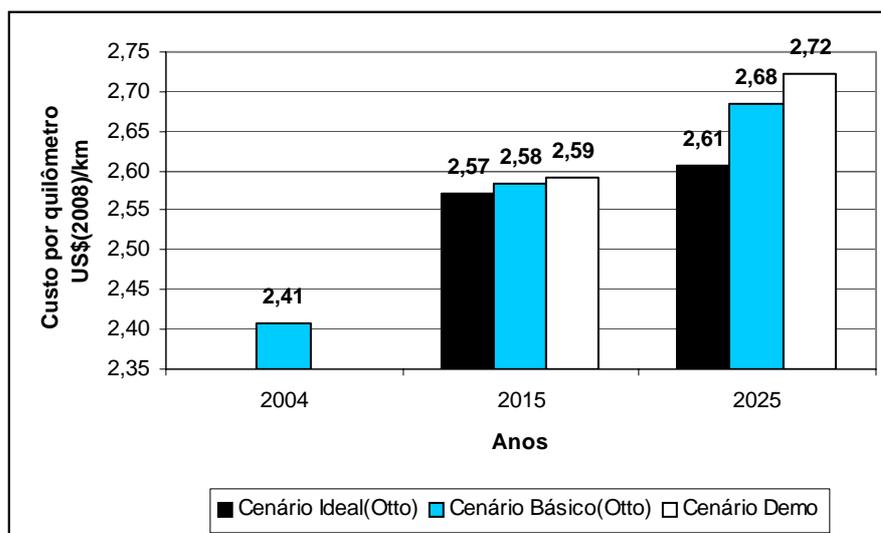


Figura 4.15 Custo por quilômetro percorrido no setor de transporte coletivo em Belo Horizonte para os três cenários

Conforme a Figura 4.15, o custo do quilômetro percorrido no ano-base foi de US\$ 2,41/km; já, em 2025, para o Cenário Básico é estimado o custo de US\$ 2,68/km, para o Cenário Ideal o custo de US\$ 2,61/km e para o Cenário Demo de US\$ 2,72/km.

A principal diferença no custo do quilômetro percorrido nestes três cenários é a quantidade de ônibus com a Tecnologia de “Ottolização”. No Cenário Ideal, em 2015, 3% da frota total está “Ottolizada”, enquanto no Cenário Básico apenas 1%. Outro fator que poderia influenciar significativamente no custo final do quilômetro percorrido é o custo de operação e manutenção, porém, este foi considerado igual para os três cenários.

A Figura 4.16 mostra a evolução do custo do quilômetro percorrido na cidade de Belo Horizonte. Pode-se observar, que, enquanto a frota de ônibus convencional está sendo trocada, o custo do quilômetro percorrido nos cenários Ideal e Básico tende a se reduzir.

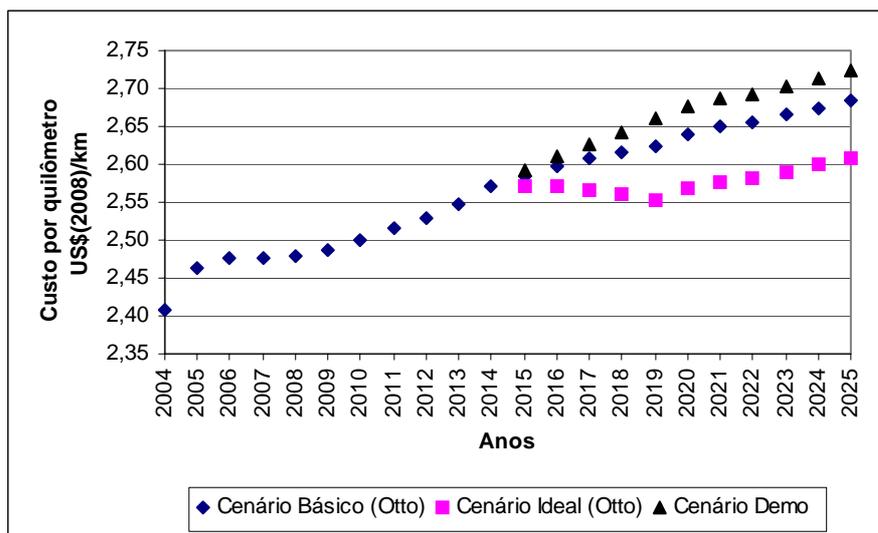


Figura 4.16 Evolução do custo por quilômetro percorrido no setor de transporte coletivo em Belo Horizonte para os três cenários

Para comparar com dados da literatura, segundo a Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano (NTU, 2007), o custo médio do quilômetro percorrido nas principais capitais do Brasil, em 2006, foi de US\$ 2,18/km e, o custo para Belo Horizonte, no mesmo ano, foi estimado em US\$ 2,47/km.

4.2.4 Comparação das emissões totais de poluentes para os três cenários

As emissões totais são aquelas emissões dos sistemas energéticos consideradas neste estudo. Na Figura 4.17, são mostradas as emissões totais para o dióxido de carbono (CO₂) em três instantes distintos. Para o Cenário Básico, no setor de transporte, foi escolhida a Tecnologia de “Ottolização” para ser comparada com os outros cenários.

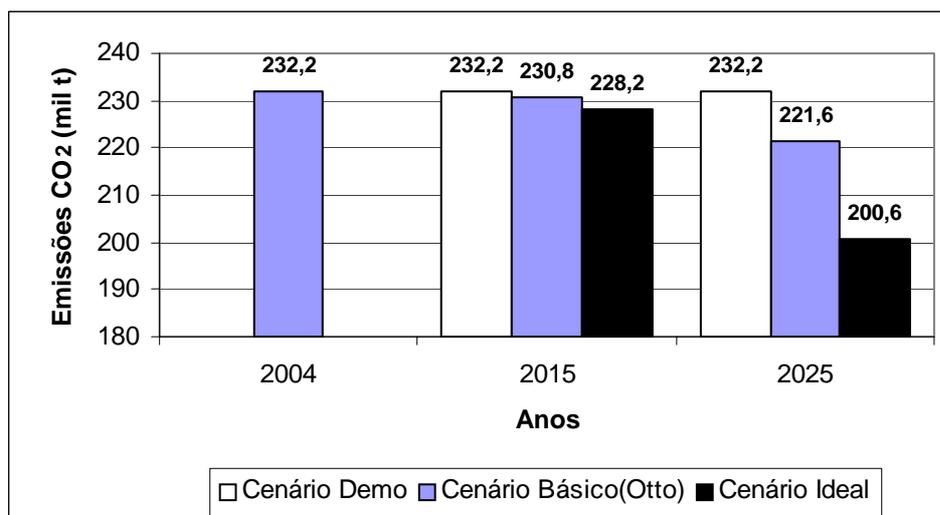


Figura 4.17 Comparação de emissões totais de CO₂ para os três cenários

Como pode ser visto na figura, em 2004, eram emitidos em Belo Horizonte 232,2 mil t de CO₂; já em 2025, são previstos para os Cenários Básico, Ideal e Demo 221,6 mil t, 200,6 mil t e 232,2 mil t, respectivamente. Estes resultados mostram que, em 2025, nos Cenários Básico e Ideal, poderá haver uma redução de 4,6% e 13,6%, respectivamente, em comparação com o Cenário Demo.

No caso das emissões de metano (CH₄), eram emitidos, em 2004, 222,5 t de gás metano na atmosfera, Figura 4.18, e no ano de 2025, no Cenário Básico é prevista a emissão de 211,3 t; no Cenário Ideal é prevista a emissão de 189,1 t e no Cenário Démodé 222,5 t. Estes valores representam uma redução de 5% para o Cenário Básico e de 15% para o Cenário Ideal em comparação com o Cenário Demo.

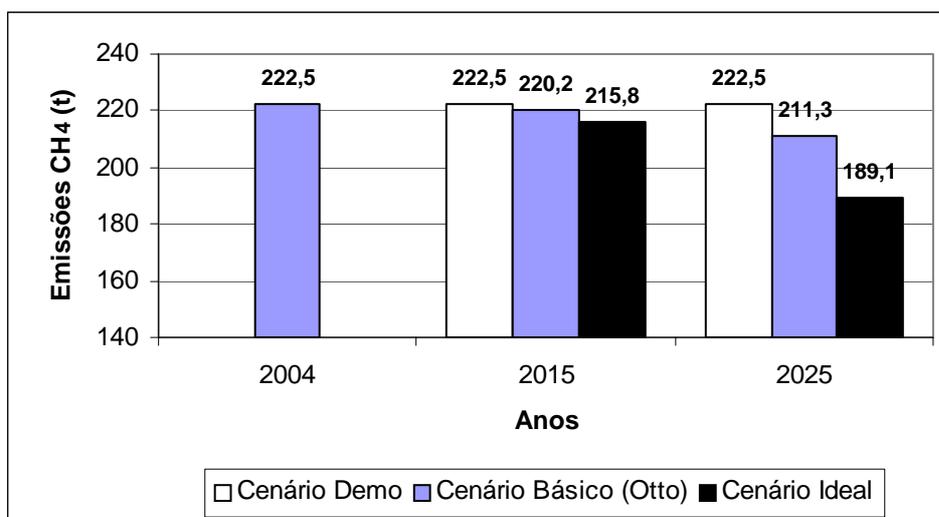


Figura 4.18 Comparação de emissões totais de CH₄ para os três cenários

Na Figura 4.19 são apresentadas as emissões de monóxido de carbono (CO). Como pode ser visto, no Cenário Ideal, tem-se as menores quantidades de emissões deste gás.

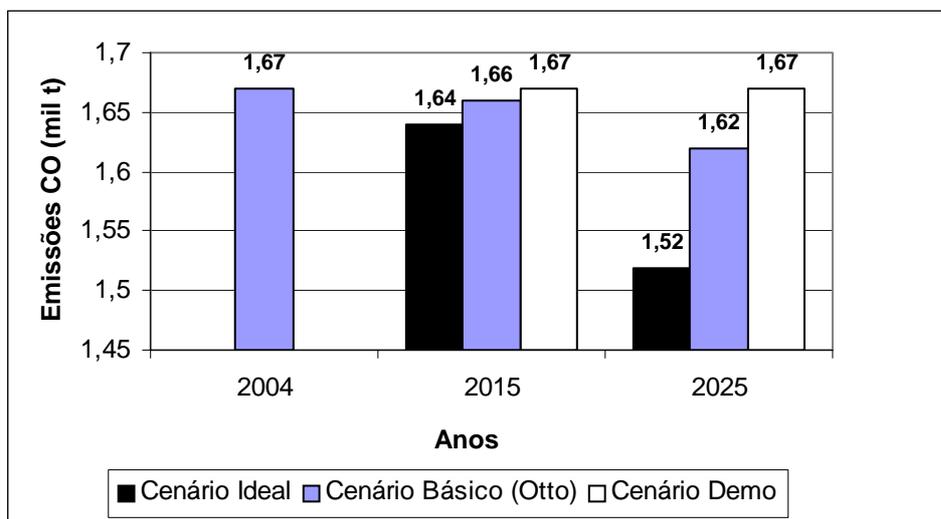


Figura 4.19 Comparação de emissões totais de CO para os três cenários

Observando as emissões de CO nos três cenários é possível dizer que, em 2025, nos Cenários Básico e Ideal deverão ser emitidos 1,62 mil t e 1,52 mil t, respectivamente, enquanto no ano de 2004 foram emitidas 1,67 mil t. No Cenário Demo, não deverá ocorrer redução de emissão de monóxido de carbono, e portanto, em comparação com este cenário deverá haver uma redução de 3% no Cenário Básico e de 9% no Cenário Ideal.

Semelhantemente ao monóxido de carbono, as emissões de material particulado (PM_{10}) deverão ser menores no Cenário Ideal. Figura 4.20.

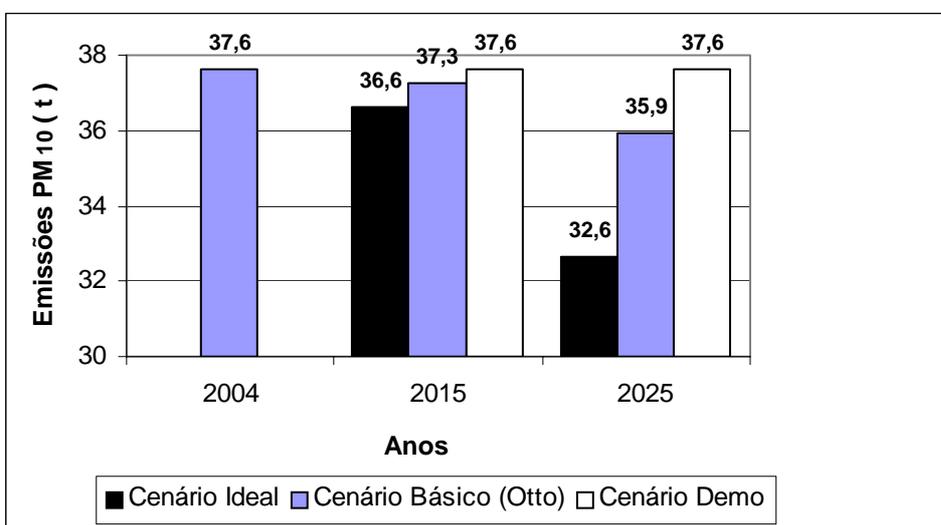


Figura 4.20 Comparação de emissões totais de PM_{10} para os três cenários

Enquanto, no ano-base foram emitidos 37,6 t de PM_{10} , são esperados, em 2025, para os Cenários Básico, Ideal e Demo emissões de 35,9 t, 32,6 t e 37,6 t, respectivamente, de

material particulado na atmosfera, em Belo Horizonte: redução cerca de 4,5% no Cenário Básico, de 13,3% no Ideal e variação nula no Cenário Demo em comparação com as emissões do ano de 2004.

A Figura 4.21 apresenta as emissões dos hidrocarbonetos (HC), com exceção do metano, para os três cenários e para três momentos diferentes do horizonte de estudo.

No ano-base foram emitidas 184,9 t de HC, enquanto em 2025, no Cenário Básico, é estimada emissão de 182,4 t, no Cenário Ideal de 177,4 t, e no Cenário Demo as emissões de HC deverão ser praticamente iguais às do ano-base. As emissões em 2025 de HC no Cenário Básico deverão ser reduzidas em 1,4% e reduzir 4% no Ideal, em comparação com o Cenário Demo.

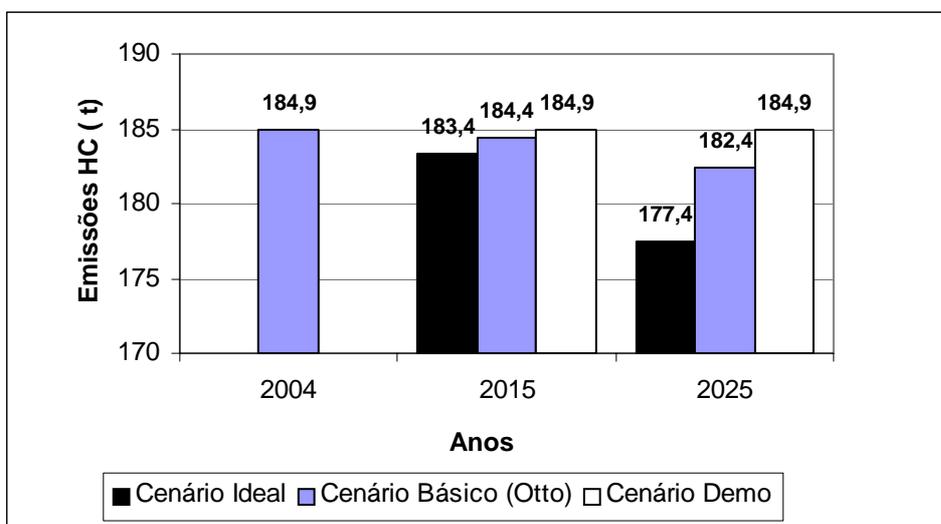


Figura 4.21 Comparação de emissões totais de HC para os três cenários

Para as emissões dos óxidos de nitrogênio (NO_x), a Figura 4.22, mostra a quantidade deste gás lançado na cidade e faz projeções para os três cenários.

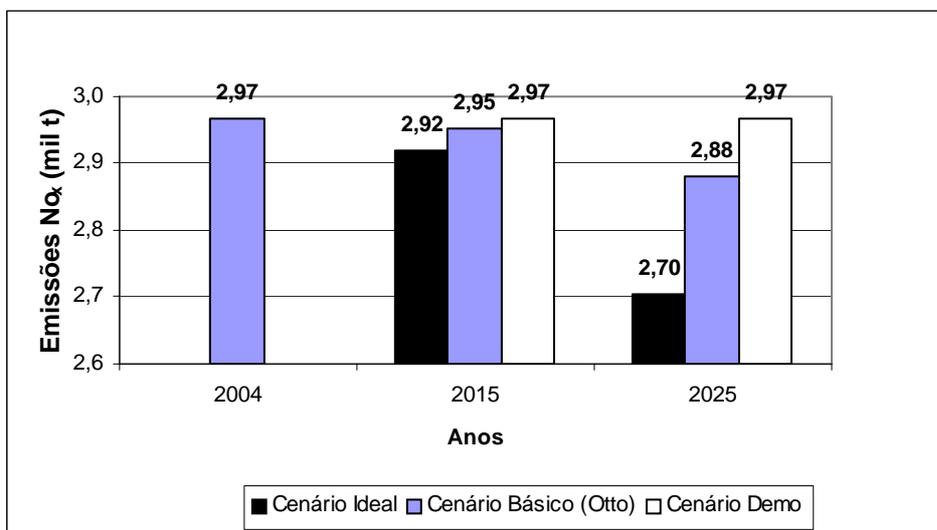


Figura 4.22 Comparação de emissões totais de NO_x para os três cenários

Considerando que as emissões dos óxidos de nitrogênio (NO_x) foram de 2,97 mil t no ano-base, as emissões deste gás nos Cenários Ideal e Básico, no ano de 2025, foram menores. Para o Cenário Básico é estimada uma redução de 3% em comparação ao ano-base e para o Cenário Ideal é estimada uma redução de 9%. No Cenário Demo não deverá haver mudanças nas emissões.

Finalmente, para os óxidos de enxofre (SO_x), as emissões deste gás são estimadas serem menores que as emissões do ano de 2004, nos cenários Básico e Ideal, Figura 4.23.

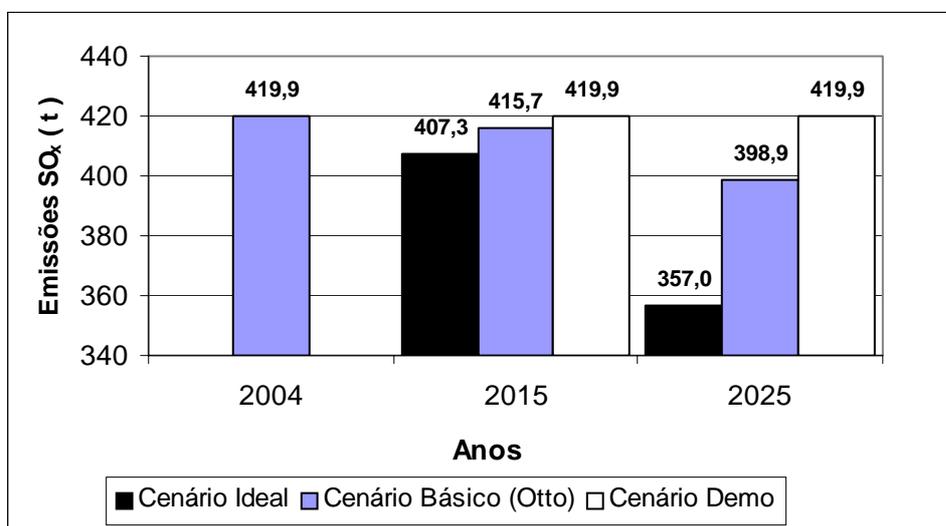


Figura 4.23 Comparação de emissões totais de SO_x para os três cenários

Enquanto no ano-base as emissões de SO_x foram de 419,9 t, está sendo previsto para 2025, nos Cenários Básico e Ideal, emissões de 398,9 t e 357,0 t, respectivamente; redução de 5% no Cenário Básico e de 15% no Cenário Ideal em comparação com o ano-base.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao concluir, deve-se lembrar que um estudo de planejamento energético deve ser dinâmico, no sentido de ser necessário refazê-lo com informações mais recentes; portanto, é importante saber que os resultados de um tal estudo refletem as hipóteses feitas em um momento específico, em uma situação particular e, portanto, são válidas unicamente para tais condições.

Este trabalho, dentre outros propósitos, buscou avaliar a possibilidade de ampliar e/ou utilizar o potencial energético dos recursos domésticos e também de alternativas que possam contribuir com a melhoria do meio ambiente, em Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais.

Para tanto, foram apresentadas algumas alternativas de projetos que poderiam ser desenvolvidos em grandes cidades. Dentre as alternativas, foram focalizados projetos que privilegiam o aproveitamento de recursos domésticos. As alternativas tecnológicas avaliadas nestes estudos foram: o aproveitamento energético do biogás gerado na estação de tratamento de esgoto (ETE Onça) para geração de energia elétrica; o aproveitamento energético do biogás gerado no aterro sanitário de Belo Horizonte para ser usado como combustível veicular e a substituição de ônibus convencionais por ônibus com tecnologias que utilizam biogás; e a ampliação do uso de sistemas de aquecedores solares planos para o aquecimento de água no setor residencial.

Foi feito um estudo de planejamento energético, no longo prazo (2004-2025), utilizando o modelo computacional ENPEP, módulo BALANCE, que faz o balanço entre a oferta e demanda de energia, privilegiando a penetração das alternativas energéticas acima selecionadas.

Os objetivos deste trabalho, avaliando a ampliação e ou utilização do potencial energético de recursos disponíveis em Belo Horizonte, serve também para gerar dados e produzir informações para tomadores de decisões e/ou para realização de outros trabalhos.

Os resultados do o trabalho mostram que é possível aproveitar o biogás produzido na estação de tratamento de esgoto para gerar energia elétrica com custo acessível e inferior ao preço do mercado.

Mostram também, que o biogás proveniente no aterro sanitário é suficiente para substituir cerca de 15% do consumo de diesel no transporte coletivo urbano (ônibus), trazendo benefícios ambientais, com reduções na emissão de poluentes e benefícios econômicos, desonerando o custo do sistema de transporte.

No setor de aquecimento de água, os resultados confirmam as vantagens que um sistema de aquecimento solar utilizando aquecedores de placas planas pode proporcionar, reduzindo o custo com energia elétrica e GLP e desafogando o sistema energético.

Especificamente, no setor de aquecimento de água (residencial), a substituição dos sistemas convencionais de aquecimento de água (chuveiro elétrico, aquecedor a gás) por sistemas que utilizam coletores solares, reduz o consumo de energia elétrica e GLP (backups). Para este sistema espera-se, em 2025, uma redução no consumo de energia elétrica para aquecimento de

água de 9,2% no Cenário Básico, 50,4% no Cenário Ideal e um aumento de 5,9% no Cenário Demo, quando comparado com o ano-base. No caso do consumo de GLP, é esperado um aumento de quase 4% no Cenário Básico, uma redução desprezível no Cenário Ideal e um aumento de 5,4% no Cenário Demo.

O Cenário Básico é um cenário moderado em que há ampliação de tecnologias já existentes e a utilização de novas tecnologias são incentivadas moderadamente; o Cenário Ideal é um cenário otimista com relação ao Cenário Básico e o Cenário Demo é um cenário pessimista, não explorando o aproveitamento energético dos recursos domésticos e qualquer esforço nesta área ficará apenas no campo da demonstração.

A substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar poderá economizar, no Cenário Básico, 88,3 GWh de energia elétrica, em 2025, quando comparado com o Cenário Demo; no Cenário Ideal a economia poderá ser de 330 GWh; correspondendo a reduções de 14% e 53%, respectivamente.

Estimou-se que a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar com “backup” elétrico poderá reduzir o custo de aquecimento de água em 66%, em 2025. A substituição do aquecedor a gás pelo aquecedor solar deverá reduzir o custo de aquecimento de água em 68%, em 2025. Finalmente, a substituição do chuveiro pelo aquecedor solar utilizando “backup” a GLP poderá reduzir o custo de aquecimento de água em 80%, também em 2025. É importante lembrar que o custo de aquecimento de água foi considerado o mesmo para os três cenários.

A partir destes resultados, percebe-se que o uso do aquecedor solar é vantajoso do ponto de vista econômico, como era de se esperar, principalmente porque reduz o consumo de energia elétrica e de GLP para o aquecimento de água. Portanto, o uso dessa tecnologia deve ser mais incentivado em Belo Horizonte e no Brasil.

A geração de energia elétrica com biogás produzido do esgoto urbano deverá ser de 1,66 GWh/ano de 2015 a 2025, no Cenário Básico. Esta energia deverá ser utilizada para consumo próprio da estação de tratamento de esgoto. Poderá chegar a 5,0 GWh/ano, no mesmo período, para o Cenário Ideal, com possibilidade de venda do excedente. Não haverá geração de energia elétrica no Cenário Demo, por hipótese.

Baseado nas projeções de preços da energia elétrica (setor de serviço público), estimou-se que o preço da eletricidade, em 2015, chegará a US\$ 125,55/MWh (em valores constantes de 2008), enquanto o custo da geração de energia elétrica proveniente do biogás na estação de tratamento de esgoto deverá ser de US\$ 86,35/MWh, no mesmo ano. Para o ano de 2025, o preço da eletricidade deverá ser de US\$ 167,10/MWh e o custo de geração na estação de tratamento de esgoto é estimado ser os mesmos US\$ 86,35/MWh, 48% mais barato que o preço médio oferecido pelas concessionárias. O custo da energia elétrica produzida na estação de tratamento de esgoto foi mantido constante, porque no cálculo de custo é considerado que não haverá variações no custo de O&M e foi desprezado o efeito da inflação.

Baseado neste estudo, pode-se dizer que a geração de energia elétrica na estação de tratamento de esgoto ETE (Onça) é uma rota tecnológica que deve ser explorada. Como mostram os resultados, o custo da energia gerada na estação sempre está abaixo do preço da energia elétrica praticado pela concessionária de energia elétrica. Contudo, segundo Costa (2006), o custo da geração de energia elétrica em uma estação de tratamento de esgoto utilizando grupo geradores (30 kW) é cerca de US\$ 116/MWh, portanto, acima do preço

praticado pela concessionária. Todavia, o custo estimado por Costa (2006) refere-se a uma pequena termelétrica que chega a ser quase vinte vezes menor do que a termelétrica proposta para a ETE (Onça) e esta diferença de escala parece ser fundamental para a composição do custo final.

Do ponto de vista de emissões, o biogás liberado pela estação de tratamento é queimado liberando, principalmente, CO₂. Com a instalação da termelétrica, o biogás continuará sendo queimado liberando CO₂, entretanto, produzindo energia elétrica.

De qualquer maneira, independentemente de fatores econômicos e ambientais, o aproveitamento energético do biogás na estação de tratamento de esgoto representa uma maior eficiência no uso dos recursos energéticos locais de uma região, além de ser uma alternativa estratégica do ponto de vista do aumento do conhecimento da geração distribuída.

No setor de transporte coletivo urbano, rotas tecnológicas, como a Tecnologia Dedicada, de “Ottolização” e “Dual Fuel”, que possibilitam a utilização de biogás do aterro sanitário seriam capazes de substituir cerca de 15% do consumo de diesel, a partir de 2019, nos Cenários Ideal e 5% no Básico. No Cenário Demo não haveria redução no consumo de diesel.

Entre as tecnologias avaliadas, a Tecnologia de “Ottolização” é a mais barata, chegando a custar o quilômetro percorrido, em 2025, US\$ 1,95/km, enquanto a Tecnologia Convencional deverá custar US\$ 2,72/km, custo de 39% mais alto.

No ano-base, o custo do quilômetro percorrido é de US\$ 2,41/km. Para o ano de 2025, as rotas tecnológicas que utilizam biogás, deverão produzir um custo no quilômetro percorrido de US\$ 2,68/km no Cenário Básico, de US\$ 2,61/km no Cenário Ideal e para o Cenário Demo que não haverá penetração do biogás o custo deverá ser de US\$ 2,72/km.

No que se refere às emissões de poluentes no setor de transporte coletivo urbano (ônibus), para a cidade de Belo Horizonte, as três tecnologias que utilizam biogás são capazes de reduzir bastante as quantidades de poluentes emitidos na atmosfera, em comparação com a tecnologia convencional (ciclo Diesel). Principalmente, deve-se destacar que o uso do biogás no lugar do diesel reduz as emissões de dióxido de carbono (CO₂) por ser o biogás um combustível gerado a partir da biomassa (resíduo sólido urbano). No Cenário Básico, em 2025, é estimada uma redução de 5% de CO₂, quando comparado com o Cenário Demo; isto representa 11,6 mil t deste gás.

Pode-se dizer que o uso do biogás em ônibus reduz bastante as emissões de material particulado e outros gases, melhorando a qualidade do ar na área urbana e também podem reduzir o custo do quilômetro rodado.

Entre as três tecnologias avaliadas neste estudo, as Tecnologias “Dual Fuel” e de “Ottolização” apresentam-se como mais atrativas do ponto de vista econômico para o empresário do setor de transporte coletivo urbano, pois, estas rotas, possibilitam a revenda do ônibus usado, que pode ser re-convertido para ciclo Diesel e usado em outras cidades que não dispunham de rede de gás natural. O mesmo não poderia ser feito com a Tecnologia Dedicada, pois esta tecnologia utiliza motor do ciclo Otto original de fábrica e não permite utilizar o diesel.

Em todos os resultados de emissões totais, o Cenário Ideal apresentou expressivas reduções de poluentes; já no caso do Cenário Básico, as reduções de poluentes ocorreu moderadamente. No Cenário Demo, por considerar que suas características são iguais às do ano-base, não há variações significativas nas emissões totais.

Para as emissões totais de CO₂, no Cenário Básico, a redução é estimada em 4,6%, em 2025, comparada com o Cenário Demo, enquanto para o Cenário Ideal é esperada uma redução de 13,6% com relação ao Cenário Demo. Para as emissões de CH₄, eram emitidos, em 2004, 222,5 t de gás metano na atmosfera e no, ano de 2025, no Cenário Básico é prevista a emissão de 211,3 t, no Cenário Ideal de 189,1 t e para o Cenário Demo é prevista a emissão de 222,5 t deste gás. Estes valores representam uma redução de 5% para o Cenário Básico e de 15% para o Cenário Ideal em comparação com o Cenário Demo. Para as emissões de PM₁₀, na comparação entre 2004 e 2025, percebe-se que, no Cenário Básico, há uma redução da ordem de 4,5%, e no Cenário Ideal, uma redução de 13,3%.

Recomenda-se, que um trabalho futuro seja dividido em dois. Sendo assim, poderão ser feitos estudos mais detalhados, obtendo-se resultados melhores, tanto quantitativos quanto qualitativos. Estes dois trabalhos poderiam ser:

- O estudo do aquecimento de água, abordando todas as possíveis tecnologias existentes e outras que virão, e também, fazer projeções da penetração de uma ou outra tecnologia que poderá ganhar espaço no mercado de aquecimento de água, por exemplo, bombas de calor (Duarte,2008).
- O estudo do setor de transporte coletivo urbano (ônibus), avaliando rotas tecnológicas que utilizem combustíveis como gás natural, gás natural-diesel, energia elétrica, hidrogênio, energia solar e álcool.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA, Mercado residencial em foco. In: Revista ABRAVA nº 209, ano27, 2003.

ABRAVA, O Mercado Brasileiro de Aquecedores Solares: importância, panorama e linhas gerais, 2006.

ABRAVA, Os números do aquecimento solar no Brasil e no Mundo. In: Revista Solbrasil nº1, 2005. Disponível em: www.abrava.com.br. Acessado em: 19/10/ 2005.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, DF, 2007. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>. Acessado em: 16/09/2006

ANEEL, decreto nº 5163, art. 14, de 30 de julho de 2004.

BANCO CENTRAL, taxa de câmbio, 2008. Disponível em <http://www.bcb.gov.br/>. Acessado em 28/05/2008.

BHTRANS, Câmara de Compensação Tarifária. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://www.bhtrans.pbh.gov.br/bhtrans/transporte/cct.asp>. Acessado em: 10/12/2007

BHTRANS, Utilização de Biodiesel no Transporte Coletivo. Intenção de projeto de redução de emissões de gases de efeito estufa, 2004.

CARVALHO, C. B. de Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil, com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo. Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, 314 p, 2005.

CATAPRETA, C. A. A.; BATISTA, H. P.; SIMÕES, G. F.; SILVA, A. L. da. Geração De biogás no aterro sanitário de Belo Horizonte - monitoramento e resultados. In: Seminário Internacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, São Paulo, SP, 2006.

CCPE ,Plano Decenal de Expansão 2007-2016 – Sumário Executivo (versão preliminar). Secretaria de Energia, Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF,2007b.

CCPE,Plano Nacional de Energia (PNE-2030), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Secretaria de Energia, Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 2007a.

CEMIG, Balanço Energético do Estado de Minas Gerais, ano base 2005,BH, 2006

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; PECORA, V.; ABREU, F. C.de. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: Congresso Brasileiro De Energia, 11, Rio de Janeiro, RJ, 2006. Anais, v.2. COPPE/ RJ, Rio de Janeiro, p. 759- 771.

CONCEIÇÃO, G. W. A viabilidade técnica, econômica e ambiental da inserção do gás natural veicular em frotas do transporte coletivo urbano de passageiros. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, p.268, 2006.

CONPET, Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural. Ministério de Minas e Energia, <http://www.conpet.gov.br/>(acessado em 2006).

CONZELMANN, G., Dados em Planilha Excel, 2000.

COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto. Dissertação de mestrado, PIPGE/ USP, p.194, 2006.

COSTA, G. C. V. Metodologia para estudo da viabilidade técnica, econômica e ambiental de sistemas distritais para aquecimento de água no Brasil, dissertação, Departamento de Engenharia Nuclear,- UFMG, Belo Horizonte, 241 p, 2007

CUNHA, R. Agência Energia, Belo Horizonte , comunicação pessoal, 2006

DUARTE, T. M. Bombas de calor para aquecimento de água: uma análise do potencial de uso no setor residencial do Estado de Minas Gerais. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, 74 p, 2008.

EIA, Energy Information Administration, Projections: EIA, Annual Energy Outlook 2007, DOE/EIA, www.eia.doe.gov/iea, acessado em 23/05/07

ENPEP Energy Power Evaluation Program, User's guide for the Balance Model, Argonne National Laboratory, 2001

ENSINAS, A. V. Estudo da geração de biogás no aterro Delta em Campinas- SP, Dissertação de mestrado, UNICAMP/ Campinas, p.129, 2003.

FANTINELLI, J.T., Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar água para habitações populares- estudo de caso em Contagem/ MG, Tese de doutoramento, UNICAMP/Campinas, SP, 2006.

FERREIRA, O.C., Futurologia: Brincando com a logística. In: Economia e Energia, ano 1, nº 0. 1996. www.ecen.com/content/ee00/futurr.htm. Acessado em 13/07/2006.

FERREIRA, O.C., Promoção do uso da energia solar para aquecimento de água no setor residencial, In: Economia e Energia, 2006.

FGV, Fundação Getúlio Vargas, Cenários de impactos da elevação do preço de energia elétrica, 2006-2015, FGV Projetos, 2006.

FIEDLER, E. S.; UDAETA, M. E. M. Aspectos de geração distribuída e co-geração. In: Congresso Brasileiro De Energia, 11., Rio de Janeiro, RJ, 2006. Anais, v.1. COPPE/ RJ, Rio de Janeiro, p. 343-352.

IAEA, International Atomic Energy Agency, Expansion planning for electrical generating systems. A guide book. International Atomic Energy Agency, Viena, 1984, Technical Report Series N° 241.

IBGE, Estatística: Contagem da população, Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acessado em: 11/12/2006.

IEA, International Energy Agency, Solar Heat Worldwide – Markets and Contribution to the Energy Supply , 2005. Disponível em: <http://www.iea-shc.org>. Acessado em: 20/11/2007.

INMETRO, Programa Brasileiro de Etiquetagem: Tabelas de consumo de energia elétrica-Chuveiros elétricos, 2007. Disponível em: [//www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/PBE5.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/PBE5.pdf). Acessado em: 10/12/2007.

KNIGHT, V. M.; YOUNG, C. E. F. Análise custo benefício da substituição do diesel por gás natural veicular em ônibus na Região Metropolitana de São Paulo. In: Congresso Brasileiro De Energia, 11., Rio de Janeiro, RJ, 2006. Anais, v.3. COPPE/ RJ, Rio de Janeiro, p. 1307-1316.

LOBKOV, D.D. Análise econômica para a substituição do uso de combustível diesel por GNC no transporte público de passageiros. Dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, p.111, 2005.

LORA, E. E. S; HADAD, J. Geração distribuída: Aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p. 240.

LOURENÇO, S. R. Gás natural: perspectivas e utilização. Dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, p 106, 2003.

MARTINS, J. A. S. Uso do Gás Natural em Transporte Urbano Coletivo, Centro de tecnologias do gás, CTGAS, 2004.

MENDES, L. G. G. Proposta de um sistema para aproveitamento energético de um aterro sanitário regional na cidade de Guaratinguetá - Guaratinguetá , 2005.

MERCEDES-BENZ DO BRASIL, Daimler Chrysler - Ônibus Mercedes-Benz, 2000.

MME, Ministério de Minas e Energia, Balanço de Energia Útil, ano base 2005, Brasília, DF 2006b.

MME, Ministério de Minas e Energia, Balanço Energético Nacional, ano base 2005, Brasília, DF, 2006a.

MURADO, W. Disponibilidade de veículos movidos a gás natural :Aplicação em ônibus urbano - Daimler Chrysler. Apresentado do 5º Encontro dos Profissionais do Mercado de Gás Natural. São Paulo, 2004.

NTU (Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano). Utilização do gás natural no transporte público urbano. Relatório. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <http://www.ntu.org.br/publicacoes/gnv.pdf> acessado em 20/11/2007.

NTU Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Anuário, 2006. Disponível em: www.ntu.gov.br. Acessado em 16/09/2006.

OLIVEIRA, L. B. Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil. Tese de doutoramento, COPPE/ RJ, Rio de Janeiro, p. 247, 2004.

OLIVEIRA, L. B.; ROSA, L. P., Usinas termelétricas híbridas: Geração de energia com balanço nulo de emissões de gases do efeito estufa, usando combustível fóssil e biomassa residual, 2001. Disponível em: <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/docs.htm>. Acessado em: 05/12/2007.

OLIVEIRA, L., HENRIQUES, R., PEREIRA, A. “Coleta Seletiva, Reciclagem e Conservação de Energia”. In: Congresso Brasileiro De Energia, 9, Rio de Janeiro, RJ, 2006. Anais, v.1. COPPE/ RJ, Rio de Janeiro, p.1461.

PBH, Anuário Estatístico De Belo Horizonte, 2003. Disponível em: www.pbh.gov.br. Acessado em: 12/05/ 2006.

ROSA, R. P. Estudo da Geração de Energia Elétrica a Partir de Biogás Produzido do Esgoto Urbano para o Município de Belo Horizonte. Monografia, Departamento de Engenharia Nuclear- UFMG, Belo Horizonte, 2008.

SHELL, Exploring the future. Scenarios:An Explorer’s Guide, 2003. Disponível em: www.shell.com/cenários . Acessado em: 12/10/2006.

SOUZA, H. A.; ROESER, M. P.; MATOS, A. T., Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR-040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – MG. In: Revista Escola de Minas, vol. 55nº4, Ouro Preto,2002.

USEPA United States Environment Protection Agency. *A guide for methane mitigation projects – Gas to energy at landfills and open dumps*, Draft jan/96, USEPA- Office of air and radiation, editores: Mark Orlic e Tom Kerr, 1996, p.67.

APÊNDICES

APÊNDICE A - DADOS DE ENTRADA

Este apêndice traz um resumo dos dados de entrada para o programa ENPEP, utilizado neste trabalho.

Os investimentos e preços apresentados neste apêndice estão em valores de 2004 convertidos para valores de 2008.

A.1 Aquecimento solar

Para o aquecimento solar são apresentados os dados referentes ao grupo unifamiliar e multifamiliar.

Grupo unifamiliar:

Para o grupo unifamiliar são consideradas duas alternativas, a primeira delas é o sistema de aquecimento de água com chuveiro elétrico e a outra, com aquecedor solar de água e “backup” elétrico.

Chuveiro elétrico

Para o chuveiro elétrico é feita uma estimativa do consumo de energia elétrica a partir do consumo mensal de uma família com quatro pessoas, sendo que está sendo considerado que, cada uma delas toma banho por dia, com duração de 8 minutos, sendo que a vazão do chuveiro é de 5 litros por minuto. Portando os dados para estes sistemas deverá ser:

- Volume: 160 litros/ dia
- Energia útil: 86,4 kWh/ mês
- Eficiência: 100%
- Energia elétrica: 86,4 kWh/mês
- Vida útil: 2 anos
- Investimento: US\$30,00
- O&M: desprezível
- Energia útil/ volume: 0,018 kWh (térmicos)/litro

Aquecedor solar

Para o aquecedor solar é apresentado a estimativa da quantidade de residências com aquecimento solar em Belo Horizonte, a energia útil anual para este tipo de sistema, o custo de investimento e outros dados utilizados no programa ENPEP. Também é feita uma estimativa do preço da energia elétrica, em 2004, para Belo Horizonte. Os dados são:

- Instalações com aquecedor solar: 63.990 residências
- Energia útil total: 298.552 GJ/ ano
- Custo de investimento: US\$1.100,00/unidade
- O&M: US\$ 1,68/GJ
- Vida útil: 20 anos
- Taxa de juros: 5,0% a.a
- Preço da eletricidade (setor residencial): US\$ 99,80/MWh

Obs. Foi considerado que os reservatórios possuem perda específica de 0,15 kWh/mês/litro e 0,10 kWh/mês/litro para os cilindros de 400 e 4.000 litros respectivamente (especificação mínima do Inmetro (2007) para receber o selo Procel)

Grupo multifamiliar:

Para o grupo multifamiliar são consideradas duas possibilidades: a primeira delas é o sistema de aquecimento de água com aquecedor a gás e a outra, com aquecedor solar de água e “backup” elétrico.

Aquecedor a gás

Os dados apresentados para o aquecedor a gás são referentes a um sistema de aquecimento central de acumulação que poderia ser utilizado em um prédio de apartamentos com dez apartamentos. Os dados para este sistema são:

- Investimento: US\$ 5.748,00/unidade
- O&M : US\$ 8,90/GJ
- Eficiência: 80%
- Vida útil: 10 anos

- Preço do GLP : US\$ 35,77/GJ
- Taxa de juros: 5,0% a.a.
- Emissões no aquecedor: ver Tabela A1

De acordo com Costa (2007), o custo de O&M (exceto insumo) para um aquecedor a gás de acumulação é em torno de 3% a.a do valor do custo de investimento. Para o aquecedor a gás com as dimensões propostas neste caso, o investimento é em torno de US\$ 5.748,00

Aquecedor solar

Para o aquecedor solar para o grupo multifamiliar, espera-se que seja dez vezes maior do que o aquecedor solar para o grupo unifamiliar. Os dados apresentados para esta tecnologia são a quantidade estimada de aquecedores instalados, a energia útil anual, o custo de investimento, o custo de operação e manutenção e outros que são mostrados a seguir:

- Instalações de aquecedor solar: 316 instalações
- Energia útil total: 14.443 GJ/ano
- Custo investimento: US\$11.000,00/unidade (está sendo considerado que o custo de investimento seja proporcional à área do coletor solar)
- O&M: considerado o mesmo custo do sistema de pequeno porte
- Vida útil: 20 anos
- Taxa de juros: 5,0 % a.a

Obs. Foi considerado que o reservatório possui perda específica de 0,10kWh/mês/litro para os cilindros de 4.000 litros (especificação mínima do Inmetro para receber o selo Procel)

A.2 Transporte coletivo: diesel, gás e diesel-gás

São aqui apresentados os dados que foram utilizados como base de dados para o programa ENPEP para o setor de transporte coletivo urbano. Para este setor são exploradas as tecnologias: convencional (ciclo Diesel), “Dual Fuel” e de ciclo Otto (“Ottolização” e Dedicada)

Ônibus convencionais (Diesel)

Os ônibus convencionais são os ônibus que atualmente estão rodando na cidade e operam no ciclo Diesel. A energia útil apresentada para esta tecnologia é estimada a partir do consumo de diesel anual para os ônibus coletivos urbanos (BHTRANS, 2004). Os dados para esta tecnologia são:

- Energia útil: 1.365.680,00 GJ
- Número de ônibus: 2819
- Energia útil individual: 485 GJ
- Eficiência: 43%
- O&M: US\$ 217,00/ GJ ou US\$ 1,62/km
- Investimento (unidade): US\$ 131.731,00
- Vida útil: 10 anos (idade media da frota: 5 anos)
- Emissões: ver tabela A.1
- Preço do diesel: US\$ 29,90/GJ

“Dual Fuel”

Para esta tecnologia, os dados utilizados nesta base de dados foram basicamente encontrados em Lobkov (2005). Os custos de investimento para esta tecnologia é o custo de um ônibus do ciclo Diesel mais o custo do kit de conversão e instalação. A proporção da mistura do combustível será sempre constante. Os dados para este sistema são:

- Investimento (unidade): US\$ 135.928,00
- Custo de captação do biogás US\$1,86/GJ
- O&M: É assumido que é igual ao caso convencional.
- Eficiência: A eficiência neste caso é semelhante à do motor diesel.
- Vida útil: 10 anos
- A mistura tem as proporções de 15% diesel e 85% gás.
- Emissões: ver tabela A.2.

Ciclo Otto

Para as tecnologias do ciclo Otto (Dedicada e “Ottolização”), os dados para a Tecnologia “Ottolização” foram considerado os mesmos da Tecnologia Dedicada, porque não foram

encontrados dados que distinguíssem estas tecnologias; entretanto, foi possível de obter o custo de investimento para a Tecnologia “Ottolização”, e é o único dado diferente da Tecnologia Dedicada. Os dados para estas tecnologias são:

- Investimento (unidade) Tecnologia “Ottolização”: US\$ 144.910,00
- Investimento (unidade) Tecnologia Dedicada: US\$ 171.257,00
- O&M: assumido igual ao caso convencional.
- Eficiência: 34%
- Vida útil: 10 anos
- Emissões: ver tabela A.2

A.3 Autoprodução de energia elétrica

Os dados para a autoprodução de energia elétrica referem-se aos dados da ETE (Onça)

Estação de tratamento ETE Onça

Neste sistema foi considerado, a partir da capacidade de tratamento de esgoto, a quantidade de biogás produzido. Desta quantidade de biogás foi estimada a energia útil que poderia ser gerada. Os dados sobre investimento e custo de O&M são baseados em Mendes (2005). Os dados para este sistema são:

- Energia útil: 18.125,5 GJ/ano
- Fator de capacidade: 1,0
- Eficiência: 0,33
- Investimento: US\$ 1.758.294,00
- O&M: US\$ 14,64/GJ
- Vida útil: 15 anos
- Taxa juros: 5%

Tabela A.1: Fatores de emissão (kg/GJ)

| Poluente | Aquecimento de água | Autoprodução |
|------------------------|----------------------------|---------------------|
| CO₂ | 17,24 | 50,30 |
| PM₁₀ | 0,0020 | ? |
| NO_x | 0,065 | 0,094 |
| CH₄ | 0,0008 | ? |
| HC | 0,0016 | ? |
| CO | 0,0092 | ? |
| SO_x | 0,0027 | ? |

Fonte: Conzelmann (2000), Lora &Hadad (2006)

Tabela A.2: Fatores de emissão (kg/GJ)

| Poluente | Ônibus convencional | Ônibus Otto e Dedicada | Ônibus “Dual Fuel” |
|------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| CO₂ | 74,07 | 54,9 | 74,07 |
| PM₁₀ | 0,028 | 0,001 | 0,002 |
| NO_x | 0,947 | 0,295 | 0,315 |
| CH₄ | 0,071 | - | - |
| HC | 0,059 | 0,034 | 0,03 |
| CO | 0,533 | 0,168 | 0,179 |
| SO_x | 0,134 | - | 0,014 |

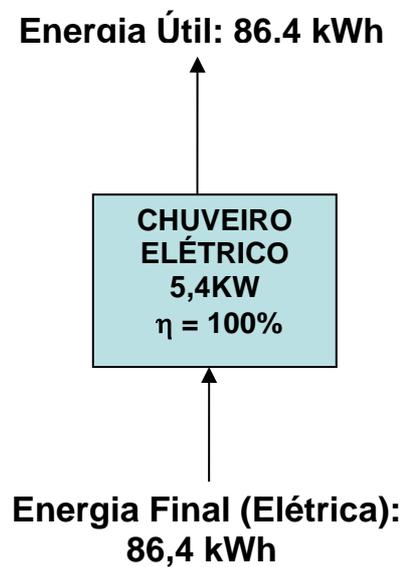
Fonte:Lobkov (2005), Lora &Hadad (2006)

APENDICE B – Esquemas para o setor de aquecimento de água

Neste apêndice são apresentados esquemas que representam os sistemas de aquecimento de água e seus fluxos de energia. Os fluxos de energia são baseados no consumo mensal de um sistema de aquecimento de água.

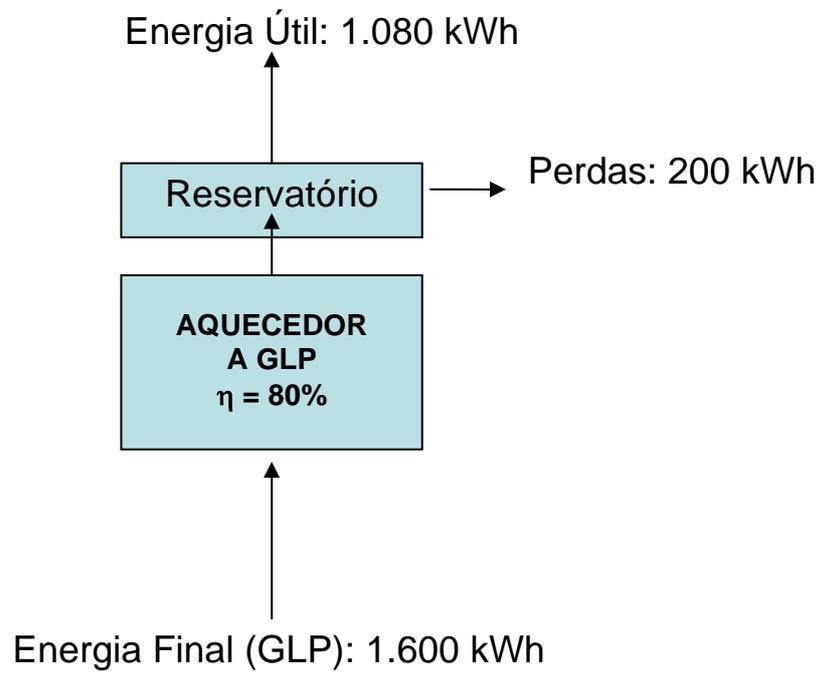
Chuveiro elétrico-grupo unifamiliar

Consumo mensal: 1 família de 4 pessoas. 1 banho de 8 min. vazão 5 l/min (160 l/dia)



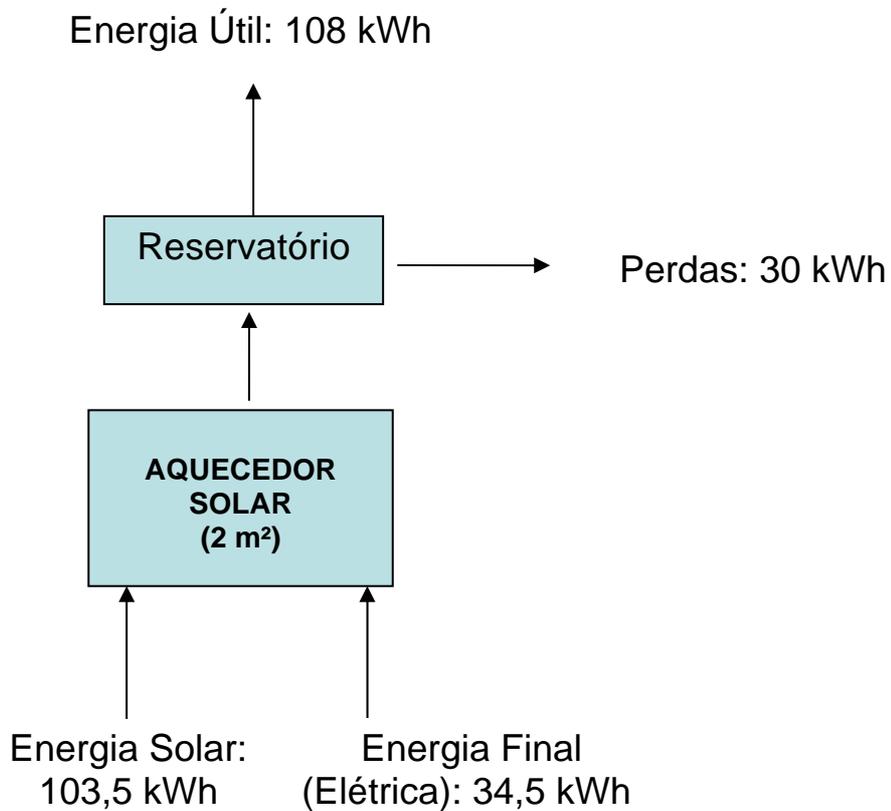
Aquecedor a gás- grupo multifamiliar

Consumo mensal: 10 famílias, 4 pessoas por família, 2.000 l/dia.



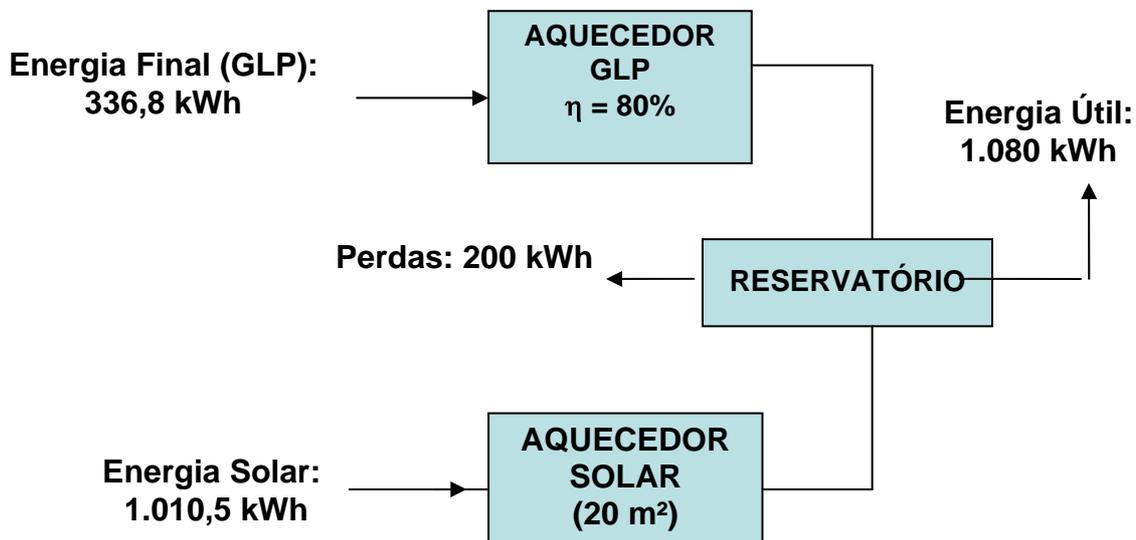
Aquecedor solar com “backup” elétrico - grupo unifamiliar

Consumo mensal: 1 família de 4 pessoas, 200 l/dia.



Aquecedor solar com backup a gás - grupo multifamiliar

Consumo mensal: 10 famílias, 4 pessoas por família, 2.000 l/dia



APÊNDICE C-Ajuste logístico para curva de penetração do aquecimento solar

Segundo Ferreira (1996), fenômenos como a penetração de novas tecnologias em um mercado propenso para elas, comportam-se segundo a função logística, que é uma curva em “S”. Inicialmente, a tecnologia possui taxas de penetração menores, depois essa penetração é mais agressiva e finalmente ocorre uma saturação dessa tecnologia no mercado.

A função logística é dada pela equação $F = 1/(1+\text{Exp}(-at-b))$ e pode ser representada por uma reta em escala logarítmica $\text{Ln}(F/(1-F))$.

A partir de dados da evolução da área instalada de aquecedores solares no Brasil, período de 1985-2004 foi, possível fazer um ajuste logístico desses dados e encontrar os coeficientes da função logística. De posse desses coeficientes foi feito uma projeção utilizando a função logística.

A figura C1, representa a projeção da penetração do sistema de aquecimento solar no Brasil, a partir do modelo logístico. Os dados iniciais foram retirados da Figura 2.2.

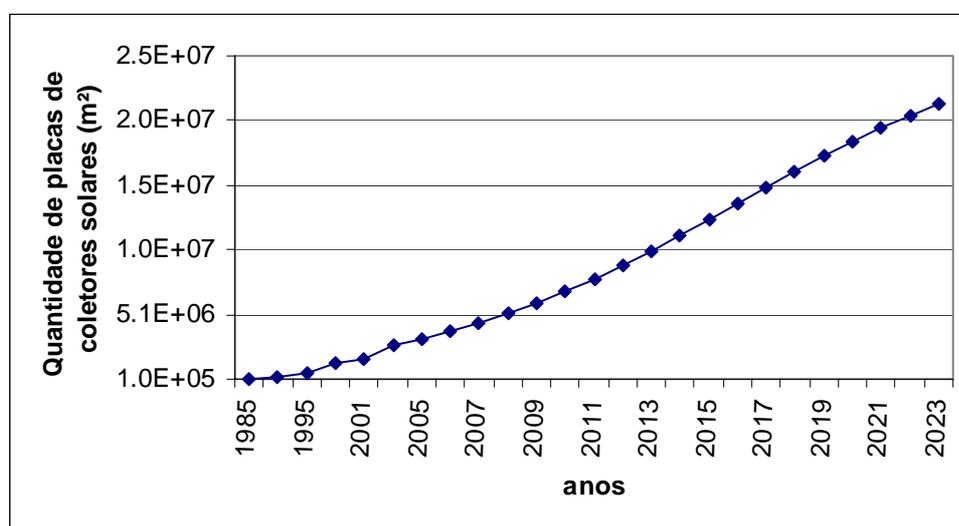


Figura C1 Projeção da penetração do sistema de aquecimento solar no Brasil

Conhecido cada valor da função logística é possível saber quais são as taxas para cada período de um ano. Para o caso de Belo Horizonte foram consideradas as mesmas taxas encontradas no ajuste logístico para o Brasil. Na Tabela C1 podem ser vistos as taxas de penetração

estimadas para Belo Horizonte. Observe que as taxas para o Cenário Básico são a metade do Cenário Ideal e para o Cenário Demo o valor da taxa é constante.

Tabela C1 Taxas de Penetração do Aquecedor Solar Em Belo Horizonte, Utilizando o Modelo Logístico

| Ano | Ideal | | Básico | | Demo | |
|------|-------|--------------------|--------|--------------------|-------|--------------------|
| | taxas | mil m ² | taxas | mil m ² | taxas | mil m ² |
| 2004 | | 134,3 | | 134,3 | | 134,3 |
| 2005 | 0,177 | 158,1 | 0,088 | 146,2 | 0,0 | 134,3 |
| 2006 | 0,173 | 185,4 | 0,086 | 158,8 | 0,0 | 134,3 |
| 2007 | 0,168 | 216,6 | 0,084 | 172,2 | 0,0 | 134,3 |
| 2008 | 0,163 | 251,9 | 0,081 | 186,2 | 0,0 | 134,3 |
| 2009 | 0,157 | 291,5 | 0,078 | 200,8 | 0,0 | 134,3 |
| 2010 | 0,150 | 335,3 | 0,075 | 215,9 | 0,0 | 134,3 |
| 2011 | 0,143 | 383,4 | 0,072 | 231,4 | 0,0 | 134,3 |
| 2012 | 0,135 | 435,4 | 0,067 | 247,1 | 0,0 | 134,3 |
| 2013 | 0,127 | 490,7 | 0,063 | 262,8 | 0,0 | 134,3 |
| 2014 | 0,118 | 548,9 | 0,059 | 278,4 | 0,0 | 134,3 |
| 2015 | 0,109 | 609,0 | 0,054 | 293,6 | 0,0 | 134,3 |
| 2016 | 0,100 | 670,2 | 0,050 | 308,4 | 0,0 | 134,3 |
| 2017 | 0,091 | 731,3 | 0,045 | 322,4 | 0,0 | 134,3 |
| 2018 | 0,082 | 791,4 | 0,041 | 335,7 | 0,0 | 134,3 |
| 2019 | 0,073 | 849,5 | 0,036 | 348,0 | 0,0 | 134,3 |
| 2020 | 0,065 | 904,9 | 0,032 | 359,4 | 0,0 | 134,3 |
| 2021 | 0,057 | 956,9 | 0,028 | 369,7 | 0,0 | 134,3 |
| 2022 | 0,050 | 1004,9 | 0,025 | 379,0 | 0,0 | 134,3 |
| 2023 | 0,044 | 1048,8 | 0,021 | 387,2 | 0,0 | 134,3 |
| 2024 | 0,038 | 1088,4 | 0,019 | 394,6 | 0,0 | 134,3 |
| 2025 | 0,032 | 1123,7 | 0,016 | 401,0 | 0,0 | 134,3 |

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)