

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA
ENERGIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PROJEÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE
CARBONO (CO₂) DA MATRIZ ENERGÉTICA DO
ESTADO DE MINAS GERAIS – 2005 - 2030**

Autor: Rodrigo Raphul Azevedo Garcia

Orientador: Dr. Afonso Henriques Moreira Santos

Co-Orientador: Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira

Itajubá, Fevereiro de 2009

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Gerson e Cláudia, por toda sua luta para permitir mais esta conquista, sempre apoiando minhas decisões e se dedicando por minha formação e minha felicidade e realização.

Ao meu irmão Marco e minha cunhada Juliana, por sua amizade, conselhos e apoio.

À Carol, por estar ao meu lado durante todo este tempo, me apoiando em todos os momentos e acima de tudo com seu amor me ajudou superar as dificuldades e foi primordial para este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e, principalmente, amigo Prof. Afonso Henriques Moreira Santos, que ofereceu a minha primeira oportunidade profissional e me mostrou o caminho para se ter sucesso.

Aos meus grandes amigos, que sempre estiveram ao meu lado e me ajudaram em todos os sentidos para a concretização deste trabalho: Ricardinho e Ricardo Skisito.

Aos amigos Leopoldo, Pedro, Cassiano, Gabiru, Glaucielen, Kelly, Lucia, Adriana, Erick, Akira, Eduardo, Marcos Dias, por tantos anos de amizade e tão prazerosa convivência.

Ao Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira, por compartilhar seu conhecimento e auxiliar no desenvolvimento desta dissertação.

Aos colegas da COPPE, Roberto Schaeffer, Alexandre Sklo, André Frossard e Amaro Pereira pela parceria na elaboração da Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030.

À Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais e a CEMIG, que propuseram e financiaram o desenvolvimento da Matriz Energética de Minas Gerais.

À Secretaria de Pós-graduação, em especial à Maria Auta e Margarete, que muito auxiliaram para que fosse possível a defesa.

À Professora Maria Inês que teve paciência em me ouvir e me ajudar em um momento difícil.

Aos amigos Igor, Thiago, André, Paulo, Sergio, Vicente, Leandro, Adriana, Luciano, Cris, Caren, Léo, por sua amizade e oportunidades.

E finalmente ao Sport Club Corinthians Paulista, por ter me proporcionado tantas alegrias.

RESUMO

A Matriz Energética é uma importante ferramenta de planejamento, direcionando governos, órgãos públicos e privados na tomada de decisões a respeito da evolução da oferta de energia em longo prazo, a partir dos panoramas e cenários apresentados. Através desse instrumento ainda é possível contabilizar os impactos causados ao meio ambiente, por meio da análise das emissões de CO₂ associadas a esta matriz. Neste trabalho serão apresentados os principais resultados da elaboração da Matriz Energética do Estado de Minas Gerais para os anos de 2005 a 2030, e as emissões oriundas da oferta de combustíveis fósseis. Para a elaboração da Matriz foram utilizados os modelos MAED e MESSAGE da Agência Internacional de Energia Atômica, e também foram constituídos dois cenários de evolução econômica, tecnológica e de uso de combustíveis: o cenário de Referência, que se baseia na permanência das condições atuais e o cenário Alternativo, que apresenta um crescimento econômico superior e avanço tecnológico mais significativo, principalmente no que diz respeito à eficiência energética e uso de fontes renováveis. Os setores com maior demanda de energia no Estado são o industrial e de transportes, que juntos representam mais de 80% da demanda de energia, tendo como principais combustíveis consumidos, o óleo diesel, o carvão metalúrgico e o coque de carvão mineral. No cálculo das emissões de CO₂ foi utilizada a abordagem *top-down*, proposta pelo IPCC, que estima as emissões a partir da oferta dos combustíveis. Minas Gerais foi responsável pela emissão de cerca de 45.000 Gg de CO₂ em 2005, o que representa mais de 12% das emissões totais do Brasil. Em 2030, as emissões estaduais devem chegar a 210.000 Gg de CO₂ no cenário Referência e 167.000 Gg de CO₂ no cenário Alternativo.

Palavras-chave: Matriz Energética de Minas Gerais, Emissões de CO₂, Modelos de Planejamento Energético

ABSTRACT

The Energy Matrix is an important planning tool, directing governments, private and public institutions in the decision making process towards the evolution of energy supply in an extended time frame, based on the panoramas and scenarios presented. Also using this instrument lays the possibility of accounting for the impacts generated towards the environment by the analysis of CO₂ emissions associated to the Matrix. In this paper, results will be shown from the creation of the Energy Matrix from the State of Minas Gerais, Brazil, for the years ranging from 2005 to 2030, as well as the emissions derived from the supply of fossil fuels. For the Matrix creation, the MAED and MESSAGE models from the International Agency of Atomic Energy were used, generating two possible scenarios for the economic and technological evolution, as well as fuel usage: the Reference Scenario, based on the permanence of the present conditions (status quo), and the Alternative Scenario, which presents an improvement in technological and economic advances, specially towards energy efficiency and the use of renewable sources.

The sectors with the largest energy demand in this State were the industrial and transport sectors, together representing 80% of energy demand, having as main consumed fuels; diesel oil, metallurgic charcoal and mineral charcoal. In the CO₂ calculations, a top-down approach was used, proposed by IPCC, which estimates the emissions from the fuel supply. Minas Gerais was responsible for the emission of approx. 45,000 Gg of CO₂ in 2005, representing more than 12% of Brazil's total emissions. In 2030, state emissions should arrive to 210,000 Gg of CO₂ in the Reference Scenario and 167,000 Gg of CO₂ in the Alternative Scenario.

Keywords: Minas Gerais Energy Matrix, CO₂ Emissions, Emissions Calculation, Energy Planning Models

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Será apresentado neste trabalho o seguinte conteúdo:

- Revisão Bibliográfica
 - Matriz energética no Brasil e no mundo;
 - O aquecimento global e as emissões de CO₂;
 - Os modelos tradicionalmente utilizados para previsão de demanda e oferta de energia.
- Metodologia e Resultados
 - Matriz Energética de Minas Gerais;
 - Emissões de CO₂ associadas.
- Conclusões e Recomendações

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	4
3.1	Introdução.....	4
3.2	Efeito Estufa	4
3.3	Questões Climáticas	5
3.4	Emissões de GEE no Brasil e no Mundo.....	8
3.5	Energia x Emissões no Brasil e no mundo	11
3.6	Mitigação das Emissões	18
3.7	Matriz Energética Nacional	21
3.8	Modelos de planejamento energético	25
3.8.1	Modelos Econométricos	25
3.8.2	Modelos de Usos-finais	25
3.8.3	Modelos Integrados Oferta/Demanda	26
3.8.4	Modelos Consagrados.....	26
4	EXPERIÊNCIA NA ELABORAÇÃO DO ANO-BASE DO MAED.....	33
4.1	Preparação do Ano-Base	34
4.2	Balanco Energético de Minas Gerais	35
4.3	PIB.....	37
4.4	Demografia	38
4.5	Estilo de Vida.....	39
4.6	Balanco energético na indústria.....	39
4.7	Eficiência e penetração da energia útil na Agricultura, Construção e Mineração (A-C-M)	40
4.8	Penetração da energia final na manufatura	41
4.9	Eficiência da energia útil na manufatura	41

4.10	Penetração da energia útil na manufatura	43
4.11	Uso térmico na manufatura.....	44
4.12	Setor de Serviços	44
4.13	MAED	45
4.14	Críticas ao MAED.....	45
5	Inventário Emissões de Gases do Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais	46
6	Matriz Energética de Minas Gerais – 2007-2030.....	50
6.1	Cenários Macro Econômicos de Minas Gerais	51
6.1.1	Premissas Utilizadas	52
6.2	Setor Industrial e Agropecuário.....	56
6.2.1	Evolução da Matriz Energética do Setor Agroindustrial.....	58
6.3	Setor de Transportes.....	62
6.3.1	Projeção da Demanda do Setor de Transportes	63
6.3.2	Evolução da Matriz Energética do Setor de Transportes.....	64
6.4	Setor de Serviços	66
6.4.1	Consumo de Energia no Setor Serviços	67
6.4.2	Evolução do Consumo Total de Energia no Setor Serviços.....	68
6.5	Setor de Residencial	69
6.5.1	Consumo de Energia no Setor Residencial.....	70
6.6	Oferta de Energia Elétrica no Estado de Minas Gerais.....	72
6.6.1	Expansão da Oferta de Energia Elétrica	74
7	EMISSIONES DE CO₂ ASSOCIADAS À MATRIZ ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS	80
7.1.1	Descrição da Metodologia do IPCC	81
7.1.2	Resultados dos Cálculos das Emissões da Matriz Energética de Minas Gerais	85
8	CONCLUSÕES E RECOMENSAÇÕES	93
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de GEE's (em CO ₂ e) entre 1970 e 2004.....	10
Figura 2 - Emissões de CO ₂ oriundas de combustíveis fósseis no setor energético.....	13
Figura 3 - Relação entre Oferta Interna Bruta de energia/emissão de CO ₂ e PIB.....	15
Figura 4 - Relação entre Oferta Interna Bruta de energia/emissão de CO ₂ e PIB/capita.....	15
Figura 5 – Consumo de energia Primária per capita.....	16
Figura 6 – Consumo de energia primária de diversas fontes e projeções até 2030.....	16
Figura 7 – Evolução das emissões específicas de CO ₂ no Brasil – 2007 - 2030 – em tCO ₂ /tep, com base na oferta interna de energia.....	18
Figura 8 – Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico no Brasil entre 1970-2030.....	22
Figura 9 – Evolução da estrutura da oferta de energia.....	23
Figura 10 – Matriz Energética Brasileira.....	24
Figura 11 - Participação dos Setores nas Emissões Totais de Gases de Efeito Estufa em Minas Gerais	46
Figura 12 - Participação dos setores socioeconômicos nas emissões totais do Setor Energia.....	47
Figura 13- Participação dos setores socioeconômicos nas emissões totais do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos.....	48
Figura 14 – Lógica de integração entre os modelos MAED e MESSAGE.....	51
Figura 15 - Participação dos setores no consumo final energético em 2004.....	57
Figura 16 - Evolução do consumo final energético nos sub-setores do setor industrial no período 1985/2004 (mil tep).....	57
Figura 17 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial - Cenário referência (mil tEP).....	59
Figura 18 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial - Cenário alternativo (mil tEP).....	62
Figura 19 – Estrutura do Uso de Energia Final no Setor Transporte Mineiro.....	63
Figura 20 - Projeções de Uso de Energia pelo Setor Transportes no Cenário Referência (mil tEP), 2010-2030.....	65
Figura 21 – Projeções de uso de energia pelo setor transportes no cenário Alternativo (mil tep), 2010-2030.....	66
Figura 22 – Evolução do consumo final energético do setor comercial (%).....	67
Figura 23 – Evolução do consumo energético total do setor residencial nos dois cenários projetados – Minas Gerais: 2005/2030 (10 ³ tEP).....	71
Figura 24 - Energia Elétrica Faturada, Segundo Classes de Atividade.....	73
Figura 25 – Demanda de Energia Elétrica por Setor – Cenário Referência.....	74
Figura 26 – Evolução da geração de energia elétrica a partir de PCH e UHE média - Cenário referência.....	75
Figura 27 – Demanda de Energia Elétrica por Setor – Cenário Alternativo.....	76
Figura 28 - Evolução da geração de energia elétrica a partir de PCH e UHE média - Cenário alternativo.....	78
Figura 29 – Fluxograma simplificado da metodologia top-down para cálculo das emissões de CO ₂ para o sistema energético.....	82
Figura 30 – Variação de aumento das emissões em relação a 2005 (Combustíveis Fósseis) – Cenário de Referência.....	87
Figura 31 - Variação de aumento das emissões em relação a 2005 (Combustíveis Fósseis) – Cenário Alternativo.....	88
Figura 32 – Emissões de CO ₂ de combustíveis fosseis para os dois cenários (Gg CO ₂).....	89
Figura 33 - Emissões de CO ₂ (Gg) - Fósseis - Cenário Referência.....	90
Figura 34 - Emissões de CO ₂ (Gg) - Fósseis - Cenário Alternativo.....	90
Figura 35 - Variação percentual entre os dados da Matriz e do Inventario de MG.....	91
Figura 36 – Emissões per capita em MG para o cenário de Referência e Alternativo.....	92
Figura 37 – Quantidade de emissões de CO ₂ em relação ao PIB de Minas Gerais.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Emissões mundiais de gases de efeito estufa em 2000.....	9
Tabela 2 - Emissões e remoções de dióxido de carbono.....	11
Tabela 3 – Consumo de energia <i>per capita</i> (em kcal/dia).....	12
Tabela 4 – Indicadores de energia para o Brasil	14
Tabela 5 - Principais tecnologias e práticas de mitigação por setor.....	20
Tabela 6 – Subdivisão do setor industrial no MAED e no BEEMG	35
Tabela 7 - Country Balance of Final Energy Consumption by Sectors and Fuels for Base Year (1000 tEP).....	36
Tabela 8 - Fontes de energia e combustíveis que as compõem	36
Tabela 9 – Balanço energético para o setor de manufaturas.....	37
Tabela 10 – Balanço energético para o setor de serviços	37
Tabela 11 – PIB desagregado setorialmente	38
Tabela 12 – Demografia	38
Tabela 13 – Estilo de vida.....	39
Tabela 14 – Estrutura do consumo de energia final na indústria (1000 tEP)	39
Tabela 15- Consumo da energia final no setor de (1000 tEP)	40
Tabela 16- Eficiência dos combustíveis e energia final por setor	41
Tabela 17 – Estrutura do Uso térmico da Energia Final no Setor de Manufatura por fontes (1000 tEP).....	41
Tabela 18 - Eficiência das fontes energéticas para Uso térmico na Manufatura (%).....	43
Tabela 19 – Estrutura do Uso térmico da Energia Útil no Setor de Manufatura por fontes (1000 tEP).....	43
Tabela 20 – Consumo de energia final e útil para Uso térmico na Manufatura (1000 tEP).....	44
Tabela 21 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial Cenário Referência (mil tEP).....	58
Tabela 22 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial - Cenário alternativo (mil tEP).....	60
Tabela 23 – Consumo Final de Energia do Setor de Transportes no Cenário Referência (10 ³ tEP).....	64
Tabela 24 – Consumo Final de Energia do Setor de Transportes no Cenário Alternativo (10 ³ tEP).....	64
Tabela 25 – Evolução do consumo final energético no setor comercial (mil tEP).....	67
Tabela 26 – Consumo total de energia no setor serviços para o cenário referência (mil tEP).	68
Tabela 27 – Consumo total de energia no setor serviços para o cenário alternativo (mil tEP).	68
Tabela 28 – População e domicílios em Minas Gerais – 1995 e 2004	69
Tabela 29 – Evolução do consumo final de energia no setor residencial por fonte – MG (10 ³ tEP).....	69
Tabela 30 – Participação das fontes no consumo final do setor residencial – MG (%).....	70
Tabela 31 – Consumo de Energia por Fonte no Setor Residencial (10 ³ tEP)	70
Tabela 32 – Evolução do consumo energético total do setor residencial nos dois cenários projetados – Minas Gerais: 2005/2030 (10 ³ tEP).....	71
Tabela 33 – Evolução do consumo energético do setor residencial mineiro por fonte – Cenário Referência: 2005/2030 (10 ³ tEP)	72
Tabela 34 – Evolução do consumo energético do setor residencial mineiro por fonte – Cenário Alternativo: 2005/2030 (10 ³ tEP).....	72
Tabela 35 – Capacidade Instalada no Estado de Minas Gerais em 2007: Resumo	73
Tabela 36 – Evolução da Capacidade Instalada em Minas Gerais (MW) – Cenário Referência	75
Tabela 37 – Evolução da Capacidade Instalada em Minas Gerais (MW) – Cenário Alternativo	77
Tabela 38 - Fatores de emissão de carbono empregados (tC/TJ)	84

Tabela 39 – Frações de carbono oxidado empregadas.....	84
Tabela 40 – Emissões de CO₂ para o ano de 2005 (Gg CO₂).....	86
Tabela 41 – Emissões de CO₂ – 2010 a 2030 – no cenário de Referência (Gg CO₂).....	86
Tabela 42 - Emissões de CO₂ – 2010 a 2030 – no cenário Alternativo (Gg CO₂)	88
Tabela 43 – Diferença encontrada nas emissões estimadas pelo Inventário Mineiro e neste Trabalho baseado nos dados da Matriz.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

BDMG – Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais

BEEMG – Balanço Energético do Estado de Minas Gerais

BEN – Balanço Energético Nacional

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CO₂ – Dióxido de Carbono

GEE – Gases de Efeito Estufa

Gg – Giga grama

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GNL – Gás Natural Liquefeito

GNV – Gás Natural Veicular

GW – Giga watt

IAEA – International Atomic Energy Agency (Agencia Internadional de Energia Atomica)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – International Energy Agency (Agencia Internadional de Energia)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima)

MAED – Model for Analysis of Energy Demand (Modelo para Analise de Demanda de Energia)

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

MESSAGE – Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts (Modelo de Estrategia de Oferta de Energia e Impactos Ambientais)

MIPE – Modelo Integrado de Planejamento Energético

OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development (Organização para Cooperaçãõ Economica e Desenvolvimento)

OIE – Oferta Interna de Energia

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PIB – Produto Interno Bruto

PPM – Parte por Milhão

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas)

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

WEO – World Energy Outlook

1 INTRODUÇÃO

As últimas décadas têm marcado o mundo pela grande preocupação com o meio ambiente, principalmente no que se refere ao tema das mudanças climáticas, graças aos dados apresentados, indicando a elevação da temperatura média global. Esse aumento é causado, principalmente, pela utilização de combustíveis fósseis nas mais diversas atividades do homem, principalmente no setor de transporte, na indústria e na geração de energia. Essas atividades acarretam a emissão, para a atmosfera, de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2), antes retidos no interior da Terra na forma de petróleo e carvão mineral.

O Brasil, por possuir um parque gerador de energia baseado principalmente na geração hidrelétrica (75%), as emissões neste setor não eram muito significativas até algumas décadas atrás (ANEEL, 2009). Mas, a partir da década de 1970, com o aumento da demanda, foi necessária a entrada de termelétricas a óleo diesel, óleo combustível e gás natural, e com isso as emissões de CO_2 no setor energético se tornaram mais intensas. O setor de transportes é outro responsável pela quantidade de emissões no país, principalmente por ser um modelo essencialmente rodoviário, demandando uma grande quantidade de diesel e gasolina para alimentar os motores.

O estado de Minas Gerais segue a característica nacional, com predominância do transporte rodoviário, sendo de sua posse a maior malha rodoviária do país. E no setor de geração de energia elétrica também prevalecem as hidrelétricas. No estado mineiro, o setor industrial se destaca no consumo de energia e também nas emissões de CO_2 , especialmente pela siderurgia de aço, que utiliza grandes quantidades de carvão mineral no processo produtivo.

A grande importância do Estado de Minas Gerais na economia do país mostra a necessidade de se prever como será estruturada a matriz energética do Estado para os próximos anos, sendo importante para a tomada de decisões políticas, econômicas e ambientais.

Esta dissertação é resultado de um trabalho, do qual este autor fez parte, realizado nos anos de 2006 e 2007 por uma parceria da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e o Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ (PPE), contratadas pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais (SEDE) e financiadas pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). O objetivo dessa parceria era elaborar, pela primeira vez, a matriz energética do Estado, para o período de 2005 a 2030. Assim, este trabalho irá apresentar os resultados da

simulação da Matriz Energética de Minas Gerais em dois cenários distintos para os anos de 2005 a 2030 e as emissões de CO₂ associadas a ela.

A equipe da UNIFEI e da COPPE/UFRJ utilizou na elaboração da Matriz dois *softwares* da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) para estimar a demanda e a oferta de energia: o MAED e o MESSAGE. Foram feitas as devidas adaptações dos *softwares* para a realidade do Estado de Minas Gerais, possibilitando elaborar a matriz energética a partir dois cenários distintos. O primeiro cenário, o de Referência, procura manter as características econômicas e tecnológicas atuais, e o outro cenário, o Alternativo, procura apresentar características econômicas acima da média, com avanços tecnológicos mais intensos, principalmente no que se refere à eficiência energética e à introdução mais acentuada de fontes renováveis de energia.

Através dos resultados obtidos nos estudos da Matriz Energética de Minas Gerais foi possível estimar as emissões de CO₂ em ambos os cenários, através da metodologia *top-down*, definida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC – e aprovada pelo Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT.

Embora seja difícil estimar com precisão como será a matriz energética em um período de 25 anos, este é um instrumento muito importante para nortear a tomada de decisões nos próximos anos, auxiliando o planejamento do Estado no que diz respeito a utilização da energia, do meio ambiente, especialmente ao controle das emissões de dióxido de carbono, permitindo uma qualidade de vida próxima aos níveis atuais para as gerações futuras.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é a estimativa das emissões de CO₂ ocasionados pela utilização de combustíveis fósseis na Matriz Energética de Minas Gerais no período de 2005 a 2030 utilizando a metodologia *top-down*, proposta pelo IPCC, que também será apresentada neste trabalho.

Para tanto foram utilizados os principais resultados de demanda e oferta de energia, obtidos na elaboração da Matriz Energética do Estado de Minas Gerais, no período de 2005 a 2030, através da equipe da UNIFEI, da qual este autor integrava, e da COPPE/UFRJ, responsáveis pelo desenvolvimento da Matriz mineira, na qual foram utilizados os Modelos MAED e MESSAGE da Agência Internacional de Energia Atômica, para dois cenários distintos de evolução econômica e tecnológica, o de Referência e o Alternativo. Estes resultados também serão apresentados ao longo deste trabalho.

Nos inventários nacionais, somente as emissões de GEE's provenientes da queima de combustíveis fósseis são contabilizados, mas são feitas as estimativas das emissões decorrentes do uso de biomassa. Assim, seguindo esta recomendação, também serão apresentadas as emissões ocasionadas pela utilização de fontes renováveis, como lenha, carvão vegetal, etanol, etc.

De forma mais específica, serão considerados dois cenários de evolução da Matriz Energética mineira, e para estes dois cenários serão calculadas as emissões de dióxido de carbono no período de 2005 a 2030, com resultados intermediários quinquenais.

Também será possível apresentar os resultados obtidos no primeiro Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Minas Gerais, elaborado pelo Governo Estadual. Através destes dados, os resultados obtidos nesta dissertação poderão ser comparados com os obtidos em fontes oficiais.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Introdução

A ação antropogênica sobre o meio ambiente vem degradando-o numa escala acelerada, gerando várias discussões nacionais e internacionais em relação aos impactos atuais e futuros, caso não sejam tomadas medidas eficazes para conter esse processo.

Neste primeiro capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica, contendo informações sobre os aspectos relacionados às Questões Climáticas, onde serão abordados o clima e mudanças ocasionadas pela ação do homem, os principais gases causadores do efeito estufa e convenções realizadas para acompanhar e estudar as mudanças climáticas.

Também serão apresentadas neste capítulo, as Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil e no Mundo, indicando a evolução destas emissões e os principais setores responsáveis por elas. Terá destaque ainda a relação entre o Setor Energético e as Emissões no Brasil e no Mundo e as formas de Mitigação do aumento das emissões e Adaptação às suas conseqüências.

Por fim, serão abordados a Matriz Energética Nacional, os Modelos de Planejamento Energético e os Resultados do Primeiro Inventário Mineiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa.

3.2 Efeito Estufa

Um local rodeado por paredes ou teto que permite a entrada de energia na forma de radiação no espectro visível e impede, parcialmente, a saída da energia na forma de radiação no espectro infravermelho é chamado de estufa. Elas são usadas principalmente na agricultura, especialmente locais cujo clima é mais frio, para permitir estender o período agrícola: as mudas são criadas em estufas até que a temperatura externa seja suficiente para permiti-lo ao ar livre.

Os gases presentes na atmosfera fazem da Terra uma estufa natural, esquentando pela absorção da energia de radiação do Sol no espectro visível e esfria pela emissão de energia própria no espectro infravermelho. Se não fosse o efeito estufa natural, a temperatura média da superfície da Terra seria cerca de 33 graus Celsius mais fria do que realmente é (CGEE, 2008).

Para que ocorra essa absorção, as moléculas devem ter um dipolo elétrico, no caso dos gases raros (hélio, neônio, argônio, etc.) e no caso do nitrogênio e oxigênio moleculares (N_2 e O_2 , respectivamente), a absorção não ocorre. Logo, os gases que não causam o efeito estufa representam cerca de 99% da atmosfera da Terra (CGEE, 2008).

Todos os outros gases da atmosfera são gases de efeito estufa. Alguns não são importantes para a mudança do clima. Em consequência, o efeito estufa é causado por gases minoritários e que – não fosse o efeito estufa – não seriam muito relevantes para a composição química da atmosfera.

Dentre esses gases, o vapor d'água merece uma atenção especial, pois é o principal GEE na atmosfera, devido a sua grande quantidade – se comparada a outros gases de efeito estufa – em conjunto com a sua alta capacidade de absorção da radiação infravermelha. Como a concentração do vapor d'água na atmosfera não é determinada pelo homem, mas pelo balanço entre a evaporação e transpiração, por um lado, e pela precipitação, por outro não é levado em consideração na análise da mudança do clima.

Os principais gases de efeito estufa que causam mudanças climáticas são: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o perfluorcarbono (PFC), hidrofluorcarbono (HFC), hexafluoreto de enxofre (SF_6), monóxido de carbono (CO), clorofluorcarbonos (CFC's), halocarbonos. O Protocolo de Kyoto trata, principalmente, das emissões dos seis primeiros.

O efeito estufa, causado pela ação humana, é um dos principais riscos ambientais que o nosso planeta enfrenta, está intimamente associado à elevação do consumo de energia. Adquire, portanto, importância fundamental, o estudo e a análise da futura utilização das fontes de energia e sua relação com as emissões de GEE, ou seja, uma análise comparativa das projeções de consumo de energia e emissões (MENDONÇA, 2000).

3.3 Questões Climáticas

A mudança do clima não pode ser observada diretamente e sim como um todo. É importante mencionar a definição de mudança antrópica do clima adotada no Artigo 1º da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima (1992): “uma mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana

que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis”.

Como mostra o Manual de Capacitação sobre Mudança do Clima e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (CGEE, 2008): o clima observado inclui o efeito do aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) pela ação do homem, mas inclui também muitos outros efeitos, alguns naturais e outros devidos a interferência humana. Esses outros efeitos, entre outros, são os seguintes

- O efeito de erupções vulcânicas;
- O efeito da variabilidade da radiação solar;
- O efeito de material particulado (aerossóis) colocados na atmosfera pela ação do homem;
- As mudanças no ozônio estratosférico devido a ação do homem;
- Variações do clima como resultado das instabilidades decorrentes da não linearidade do sistema climático e que produzem oscilações com periodicidade não definida, como aquelas que constituem o efeito do fenômeno El Niño.

“Desde o começo do Século 20, o ser humano tem influenciado o sistema climático, mas principalmente após os anos 50 os cientistas têm coletado evidências e publicado artigos relacionando o aumento das concentrações dos GEE na atmosfera com o aumento das temperaturas médias globais, em outras palavras, o aquecimento global e outras alterações climáticas. Entretanto, apenas nos anos 80, o tema “mudanças climáticas” tomou a atenção de um número maior e mais significativo de cientistas da comunidade nacional e internacional” (GEO, 2002).

Em novembro de 1988 o Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente e a Organização Mundial de Meteorologia criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que é um grupo de trabalho encarregado de subsidiar, técnica e cientificamente, as negociações deste assunto no âmbito da ONU.

Entre fevereiro de 1991 e maio de 1992, representantes de mais de 150 países se reuniram para negociar o texto da convenção. No mês de maio deste ano o texto foi aprovado em Nova Iorque, na sede das Nações Unidas e alguns dias depois, na conferência conhecida com Rio-92, 154 países e a União Européia assinaram a convenção, que teve o Brasil como primeiro signatário.

A Conferência das Partes (COP), a agência suprema da Convenção do Clima, composta por todos os países signatários, teve sua primeira sessão em 1995, em Berlim. Na terceira reunião da Conferência das Partes, realizada em Kyoto em Dezembro de 1997, o texto do Protocolo de Kyoto foi acordado. Nesta ocasião, os países desenvolvidos em comum acordo decidiram reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 5,2% em média no período de 2008 a 2012, com relação às emissões de 1990.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC) o aumento da temperatura média global do planeta será ainda maior no futuro e as análises demonstram que esse aquecimento é causado pelas emissões antrópicas acumuladas de gases do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), oriundo da queima de combustíveis fósseis, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), sobretudo proveniente das atividades agropecuárias. Prevê-se um aumento das temperaturas medias globais entre 2 e 4,5 °C até o final do século (CGEE, 2008).

No Brasil, a vulnerabilidade climática pode se manifestar em diversas áreas: aumento da frequência e intensidade de enchentes e secas; perdas na agricultura e ameaças a biodiversidade; mudança do regime hidrológico, com impactos sobre a capacidade de geração hidrelétrica.

Segundo o Relatório de Clima número 6 elaborado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE –, o aquecimento na Amazônia poderia chegar até 5-8°C em 2100 com reduções de chuva em até 20%. E como este é um ecossistema extremamente sensível, a variação de temperatura e de chuvas provavelmente faria com que grandes porções da floresta se tornassem área de cerrado, vegetação predominante na área central do país, processo conhecido como “savanização”. Outros ecossistemas, como o Pantanal, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga poderiam ser comprometidos devido ao aumento das temperaturas e mudanças nos regimes de chuva, tanto em volume como na distribuição (eventos extremos de chuva). A Mata Atlântica brasileira poderia perder uma enorme área e, no sul do Brasil, o aquecimento poderia levar à perda da floresta de araucária. Na Caatinga, o clima poderia mudar de semi-árido para árido e a caatinga seria substituída por um semi-deserto com vegetação do tipo cactácea. Isto teria conseqüências negativas neste que é um dos biomas mais ameaçados do Brasil pelas atividades humanas e único, exclusivamente brasileiro, que abriga flora e fauna únicas, com muitas espécies endêmicas (CEMAD-MG, 2007).

3.4 Emissões de GEE no Brasil e no Mundo

Com o advento da era industrial, abastecida primeiro pelo carvão e em seguida pelo petróleo, deu-se início a uma elevação crescente das emissões gasosas, que tem levado a atmosfera a reter mais calor que em qualquer período nos últimos 160 mil anos (Carra, 2003).

As principais atividades humanas que geram emissões de GEE são: geração de energia pela queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) e desmatamento, que produzem emissões de dióxido de carbono; decomposição anaeróbica de matéria orgânica, que produz emissões de metano em aterros sanitários e na pecuária; uso de fertilizantes nitrogenados, que produz emissões de óxido nitroso; e processos industriais que produzem emissões de perfluorocarbonos, hidrofluorocarbonos e hexafluoreto de enxofre.

Segundo o estudo “GEO-2000 Global Environmental Outlook” desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a questão do aquecimento global será uma das maiores preocupações do século XXI, tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento. Isso porque o aquecimento global é um problema em escala mundial, onde todos os países podem sofrer as conseqüências de seus efeitos. A discussão do problema do aquecimento global engloba suas possíveis causas e conseqüências, quem são os responsáveis pelo aquecimento e quais são as medidas que devem ser tomadas pelas diferentes nações para evitar ou diminuir os possíveis efeitos negativos desse fenômeno. Esta discussão envolve, entre outras questões, o estudo do comportamento do sistema climático e as variáveis que o influenciam, e ainda, discussões das incertezas e dúvidas a respeito do aquecimento global devido às emissões antrópicas de gases de efeito estufa (MATTOS, 2001).

A relação entre o desenvolvimento dos países, seja no nível econômico, tecnológico ou social, e a conservação e sustentabilidade do meio ambiente, são pontos a serem discutidos e enfrentados pela humanidade nas próximas décadas. A produção de energia tem grande influência sobre o meio ambiente por dois fatores: desmatamento (alto consumo de lenha nos países em desenvolvimento); e, emissão de poluentes, produtos da combustão de combustíveis fósseis (SCHIMIDT, 2004).

Entre 1970 e 2004, as emissões de CO₂, CH₄, N₂O, HFC's, PFC's e SF₆, ponderadas pelo seu potencial de aquecimento global, aumentaram em 70% (24% entre 1990 e 2004), passando de 28,7 para 49 giga toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (GtCO₂-eq). As emissões de CO₂ aumentaram em cerca de 80% entre 1970 e

2004 (28% entre 1990 e 2004) e representaram 77% do total das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em 2004 (MCT, 2004).

O maior aumento das emissões globais de gases de efeito estufa entre 1970 e 2004 se deu no setor de oferta de energia (um aumento de 145%). O aumento, nesse período, das emissões diretas dos transportes foi de 120%, da indústria, 65%, e do uso da terra, mudança no uso da terra e florestas, 40% (Figura 1). Entre 1970 e 1990, as emissões diretas da agricultura aumentaram em 27% e as das edificações, em 26%, as últimas se mantiveram aproximadamente nos níveis de 1990 desde então.

O uso de energia pós-revolução industrial pela queima de combustíveis fósseis é a principal causa do aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa (GEE). Hoje o setor energético global é o maior responsável por esse aumento com 61,3% das emissões mundiais de GEE (Tabela 1)

Tabela 1 – Emissões mundiais de gases de efeito estufa em 2000

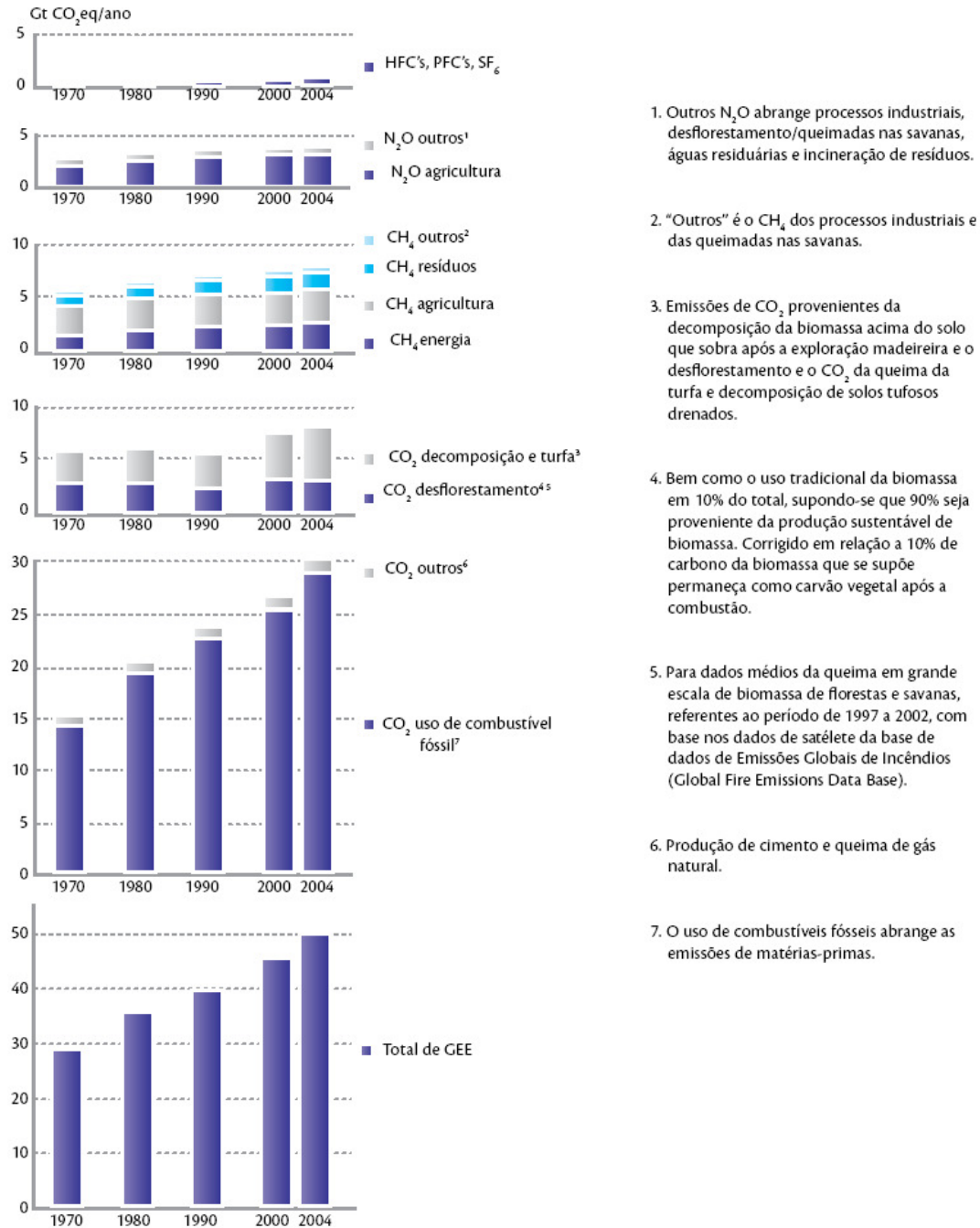
Setor	MtCO₂e	%
Energia	20.929	61,3
Transporte	4.536	13,5
Calor e Eletricidade	8.265	24,6
Combustão de outros combustíveis	3.024	9,0
Indústrias	3.494	10,4
Emissões Fugitivas	1.310	3,9
Processos Industriais	1.142	3,4
Mudança do uso da terra	6.115	18,2
Agricultura	4.536	13,5
Resíduos	1.210	3,6
Total	33.631	100

Fonte: CGEE, 2008 apud BAUMERT et al., 2005

Apesar dos esforços iniciados com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, as emissões de dióxido de carbono fóssil aumentaram de 23,5 GtCO₂ na década de 1990 para 26,4 GtCO₂ no período 2000-2005 (IPCC, 2007). Os cenários mais recentes estimam um crescimento da demanda mundial de energia primária da ordem de 1,8% ao ano entre 2005 e 2030 (total de 55% de crescimento no período), com 84% de participação dos combustíveis fósseis (IEA, 2007).

Enquanto esses dados apontam o setor energético como aquele em que há maiores oportunidades e desafios relativos à mitigação da mudança do clima, no Brasil a situação é diferente, com cerca de três quartos das emissões de GEE relacionados a mudança do uso da terra e florestas enquanto que o setor energético é responsável por apenas 23% do total (Tabela 2). Isso se deve a elevadas taxas de desmatamento resultantes da expansão da fronteira agrícola e a matriz energética relativamente limpa

do Brasil, com cerca de 45% de oferta interna de energia renovável, em comparação com o resto do mundo, com aproximadamente 13,2%. É pouco provável, entretanto, que o cenário brasileiro mantenha-se dessa forma (CGEE, 2008).



1. Outros N₂O abrange processos industriais, desflorestamento/queimadas nas savanas, águas residuárias e incineração de resíduos.
2. "Outros" é o CH₄ dos processos industriais e das queimadas nas savanas.
3. Emissões de CO₂ provenientes da decomposição da biomassa acima do solo que sobra após a exploração madeireira e o desflorestamento e o CO₂ da queima da turfa e decomposição de solos tufosos drenados.
4. Bem como o uso tradicional da biomassa em 10% do total, supondo-se que 90% seja proveniente da produção sustentável de biomassa. Corrigido em relação a 10% de carbono da biomassa que se supõe permaneça como carvão vegetal após a combustão.
5. Para dados médios da queima em grande escala de biomassa de florestas e savanas, referentes ao período de 1997 a 2002, com base nos dados de satélite da base de dados de Emissões Globais de Incêndios (Global Fire Emissions Data Base).
6. Produção de cimento e queima de gás natural.
7. O uso de combustíveis fósseis abrange as emissões de matérias-primas.

Figura 1 - Emissões de GEE's (em CO₂e) entre 1970 e 2004
 Fonte:CGEE, 2008 apud IPCC, 2007a

Tabela 2 - Emissões e remoções de dióxido de carbono

Setor	1990		1994		Variação 90/94
	10 ³ tCO ₂	%	10 ³ tCO ₂	%	
Energia	203.353	20,8%	236.505	23,0%	16,3%
Queima de combustíveis fósseis	197.972	20,2%	231.408	22,5%	16,9%
Subsetor Energético	22.914	2,3%	25.602	2,5%	11,7%
Subsetor Industrial	61.260	6,3%	74.066	7,2%	20,9%
Siderurgia	28.744	2,9%	37.887	3,7%	31,8%
Química	8.552	0,9%	9.038	0,9%	5,7%
Outros	23.964	2,4%	27.141	2,3%	13,3%
Subsetor transporte	82.020	8,4%	94.394	9,2%	15,0%
Aéreo	5.818	0,6%	6.204	0,6%	6,6%
Rodoviário	71.150	7,3%	83.302	8,1%	17,7%
Outros	5.051	0,5%	4.818	0,5%	-4,6%
Residual	13.750	1,4%	15.176	1,5%	10,4%
Agricultura	9.998	1,0%	12.516	1,2%	25,2%
Outros	8.030	0,8%	9.723	0,9%	21,1%
Emissões Fugitivas	5.381	0,5%	5.096	0,5%	-5,3%
Mineração de Carvão	1.653	0,2%	1.355	0,1%	-18,0%
Extração e transporte de petróleo e gás natural	3.728	0,4%	3.741	0,4%	0,3%
Processos industriais	16.949	1,7%	16.870	1,6%	-0,5%
Cimento	10.220	1,0%	9.340	0,9%	-8,6%
Cal	3.740	0,4%	4.150	0,4%	11,0%
Amônia	1.297	0,1%	1.301	0,1%	0,3%
Alumínio	1.510	0,2%	1.892	0,2%	25,3%
Outros	182	0,0%	187	0,0%	2,7%
Mudança no uso da terra e florestas	758.281	77,5%	776.331	75,4%	2,4%
Mudanças nos estoques de biomassa em florestas e outras formações lenhosas	-45.051	-4,6%	-46.885	-4,6%	4,1%
Conversão de florestas para outros usos	882.477	90,2%	951.873	92,4%	7,9%
Abandono de terras cultivadas	-189.378	-19,4%	-204.270	-19,8%	7,9%
Emissões e remoções pelos solos	110.233	11,3%	75.613	7,3%	-31,4%
Total	978.583	100,0%	1.029.706	100,0%	5,2%

Fonte: CGEE, 2008 apud MCT, 2004

3.5 Energia x Emissões no Brasil e no mundo

No passado, a energia utilizada era principalmente das fontes de trabalho humano, depois se passou a usar o trabalho animal. A partir da Revolução Industrial, o homem passou a usar máquinas em grande escala, tanto em fábricas como no transporte de pessoas e carga, aumentando bastante o consumo *per capita* de energia. Na

Tabela 3, pode-se observar a evolução do consumo *per capita* desde o homem primitivo até um americano médio no início da década de 90.

Tabela 3 – Consumo de energia *per capita* (em kcal/dia)

	Alimentação	Uso doméstico	Indústria e agricultura	Transporte	Total
Homem primitivo (1.000.000 a. C.)	2.000	-	-	-	2.000
Homem nômade (100.000a. C.)	3.000	2.000	-	-	5.000
Agricultura primitiva (6.000a. C.)	4.000	4.000	4.000	-	12.000
Agricultura avançada (1.400d. C.)	6.000	12.000	7.000	1.000	26.000
Homem industrial (1.875d. C.)	7.000	32.000	24.000	14.000	77.000
Atualidade (EUA)	10.000	68.000	91.000	63.000	232.000

Fonte: GOLDEMBERG (1991).

A energia tem impactos locais, nacionais e até globais. Poluição pela queima de combustíveis fósseis e seus efeitos associados à chuva ácida têm sido um problema nas florestas, lagos e solos da Europa e América do Norte. O uso de centrais térmicas e nucleares resulta em problemas de disposição final dos resíduos, assim como as células fotovoltaicas, que podem resultar em contaminação do solo por metais pesados. Desertificação no Sahel e também na África subsaariana está ligada em parte à demanda de biomassa como combustível (Goldemberg, 2004).

Na organização mundial atual, a energia pode ser considerada como um bem básico para a integração do ser humano ao desenvolvimento. Sem uma fonte de energia de custo viável e de credibilidade garantida, a economia de uma região não pode se desenvolver plenamente. Ela proporciona ao indivíduo acesso adequado a diversos serviços essenciais ao aumento da qualidade de vida, como a educação, saneamento e saúde. (SCHIMIDT, 2004).

As emissões *per capita* no Brasil eram de 1,8 toneladas em 2004 (WEO, 2006), a menor do mundo comparada aos países da OECD que emitem 11 toneladas *per capita*. O uso de hidroeletricidade e etanol explica isso.

A Figura 2 mostra a participação de combustíveis fósseis nas emissões de CO₂ no setor de energia, entre 1990 e 1994, no Brasil.

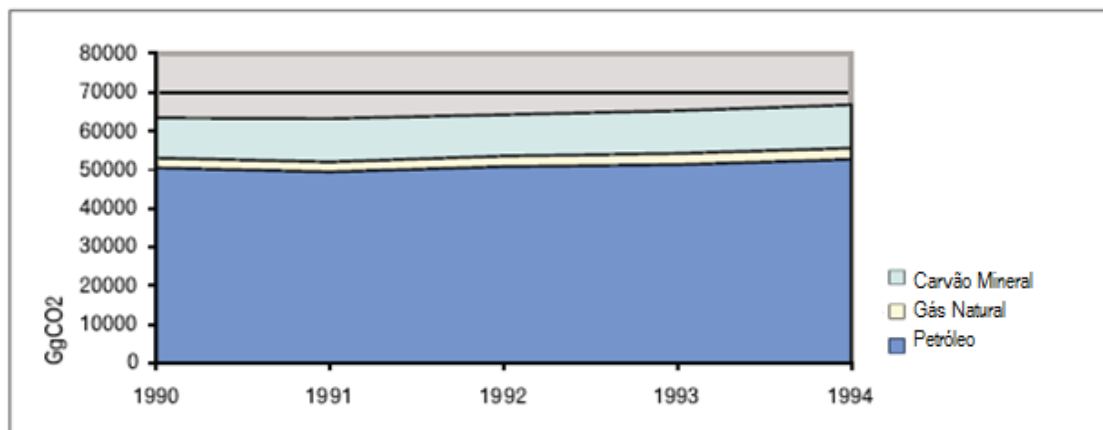


Figura 2 - Emissões de CO₂ oriundas de combustíveis fósseis no setor energético

Fonte: GEO, 2002

Entre 1970 e 2000 o uso energético no Brasil quase triplicou, enquanto as emissões de CO₂ associadas ao uso de energia mais que duplicaram. Essa evolução foi causada principalmente pelo crescimento do uso de energia dos setores produtivos, ou seja, pelo aumento da energia necessária na produção dos bens e serviços que serão fornecidos à demanda final da economia brasileira. Enquanto isso, o uso de energia pelas residências se apresentou relativamente constante ao longo dos 30 anos (Wachsmann, 2005).

No Brasil, entre 1970 e 2000, o consumo energético tem acompanhado o crescimento econômico de uma forma bastante paralela, mesmo assim, a evolução do consumo energético e, conseqüentemente, das emissões de CO₂ associadas é sujeita a uma variedade de determinantes, como: desenvolvimento econômico, crescimento populacional, mudanças tecnológicas, modificações nas preferências dos consumidores finais, medidas políticas para inserir o país no mercado internacional, etc., fatores estes que influenciam diretamente os padrões de consumo energético (Wachsmann, 2005).

Normalmente, um aumento do consumo energético demanda uma maior quantidade de fontes energéticas primárias, o que no caso das fontes fósseis pode levar a um esgotamento de recursos no futuro. Por outro lado, o maior uso de energia causa uma degradação ambiental, tanto pela poluição atmosférica (principalmente pela queima dos combustíveis fósseis) quanto pela destruição de áreas naturais necessárias para a construção de usinas hidrelétricas ou pelo desmatamento devido à demanda de lenha. Além do problema ambiental existe a preocupação pela segurança do abastecimento energético futuro do país, o que requer um planejamento energético da oferta de energia para os consumidores da economia brasileira.

O mix de energia primária do Brasil é dominado pelo petróleo, responsável por 42% da oferta total, hidrelétrica (14%) e outras fontes renováveis (27%). A intensidade energética calculada pela razão entre a demanda de energia e o PIB tem diminuído nas últimas três décadas. Mas a participação de combustíveis fósseis no mix de energia primária tem aumentado e as emissões de CO₂ caminham lado a lado com o crescimento da demanda de energia. Na Tabela 4 são apresentados os indicadores de energia no Brasil.

Tabela 4 – Indicadores de energia para o Brasil

	1980	2004	1980-2004*
Demanda de energia primária total(Mtep)	111	200	2,5%
Demanda de energia primária per capita total (tep)	0,9	1,1	0,8%
Participação do petróleo no total da demanda de energia primária (%)	50	42	-0,7%
Participação de hidrelétricas no total da demanda de energia primária (%)	81	65	-0,9%
Emissões de CO ₂ (Mt)	178	323	2,5%

*Taxa média de crescimento anual

Fonte: WEO, 2006

Como se pode observar na Tabela 4, o consumo de energia no Brasil e as emissões de CO₂ associadas, acompanham de uma forma bem “paralela” o crescimento do PIB entre 1970 e 2000. Verifica-se, que, em geral, o consumo de energia acompanha o crescimento do PIB a menores taxas de crescimento. A primeira exceção é o período de 1980-85, quando entre 1981-83 o Brasil passou por uma fase de recessão, que ao mesmo tempo estava caracterizada por um aumento de exportações, principalmente de produtos manufaturados intensivos em energia e recursos naturais, aproveitando as vantagens comparativas do Brasil. A segunda exceção é o período de 1995-2000. Observa-se que nos anos 90 a taxa de crescimento das emissões de CO₂ recomeça a aumentar. Este fato se dá principalmente pelo processo de liberalização da economia brasileira que incentivou investimento em usinas termelétricas, cujo custo de investimento é menor do que o de hidrelétricas. Por outro lado, neste período, houve uma substituição de carvão vegetal por carvão mineral no setor siderúrgico. Portanto, no último período, a taxa de crescimento das emissões de CO₂ chega a superar a taxa de crescimento econômico. (Wachsmann, 2005)

A Figura 3 apresenta a relação entre o consumo de energia (oferta interna de energia - OIE) e o PIB que mostra uma relação aproximadamente linear entre os dois fatores. A Figura 4 demonstra a relação entre OIE e PIB per capita. Neste caso a OIE cresce com tendência exponencial em relação ao PIB per capita, que significa que quanto mais aumenta a taxa de crescimento de renda per capita no Brasil mais aumenta a

taxa de crescimento de OIE. A mesma convergência pode ser observada para as emissões de CO₂ em relação ao PIB e ao PIB per capita.

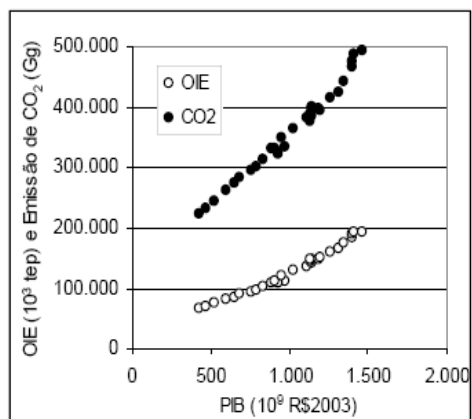


Figura 3 - Relação entre Oferta Interna Bruta de energia/emissão de CO₂ e PIB
Fonte: Wachsmann, 2005

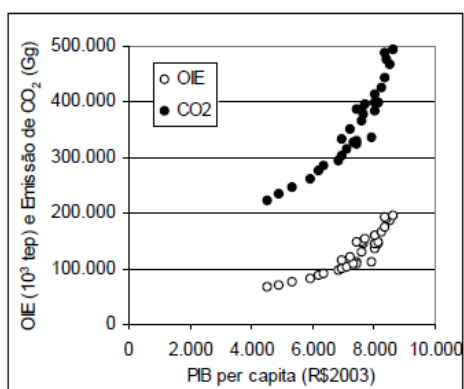


Figura 4 - Relação entre Oferta Interna Bruta de energia/emissão de CO₂ e PIB/capita
Fonte: Wachsmann, 2005

O mundo está encarando duas ameaças simultâneas: suprimento inseguro e inadequado de energia a preços razoáveis e danos ambientais causados pelo consumo excessivo de energia (IEA, 2006a). A demanda mundial por energia continua crescendo e sobrecarregando os recursos naturais e o meio ambiente. Por cerca de três décadas, a demanda primária mundial de energia cresceu 2,1% anualmente, de 5.566 milhões de toneladas de petróleo equivalente (Mtoe) em 1971 para 11.204 Mtoe em 2004 (IEA, 2006b). Mais de dois terços deste crescimento é oriundo dos países em desenvolvimento, mas os países da OECD ainda representam mais de 50% da demanda mundial de energia. Em 2004, o uso primário de energia per capita dos países da OECD era dez vezes maior que a África subsaariana. A Figura 5 apresenta o consumo de energia primária per capita.

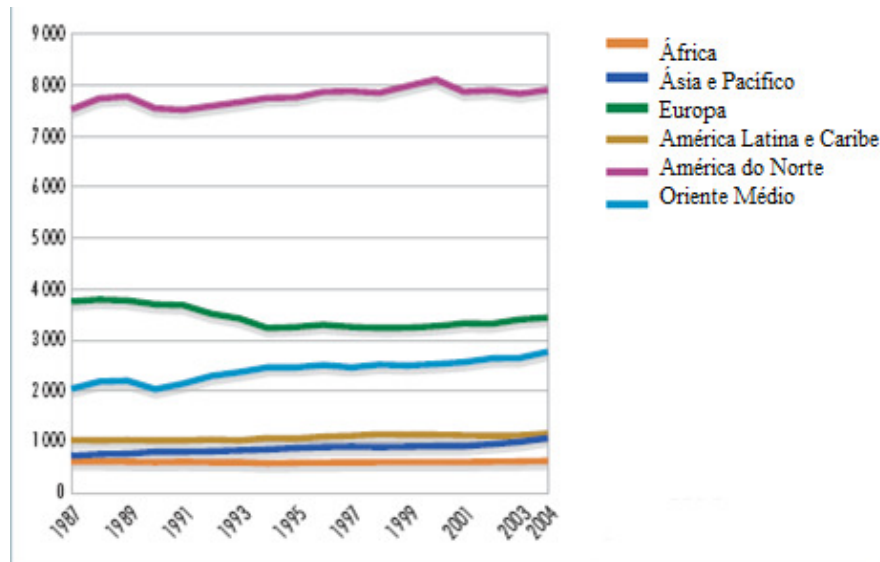


Figura 5 – Consumo de energia Primária per capita

Fonte: IEA, 2006a

Segundo o IPCC, 2007, os combustíveis fósseis representaram 82% da demanda mundial de energia em 2004. A biomassa tradicional (lenha e resíduos animais) representa uma importante fonte de energia em países em desenvolvimento, onde 2,1 bilhões de pessoas utilizam para aquecimento e cozimento (IEA, 2002). O uso de energias limpas, como a solar e a eólica, ainda tem pouca participação, como pode ser observado na Figura 6. A necessidade de aumentar a demanda de energia incrementa a diversidade de fontes de combustíveis e a mitigação das mudanças climáticas é mais urgente do que nunca (IEA 2006a).

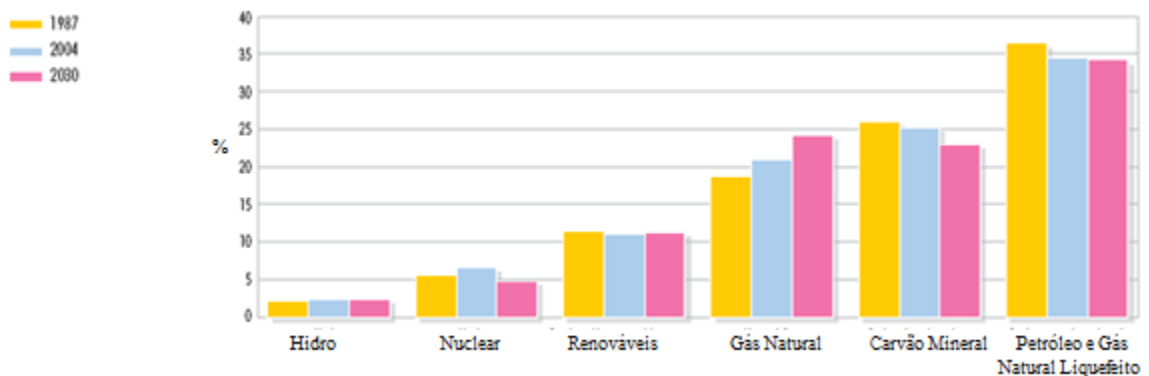


Figura 6 – Consumo de energia primária de diversas fontes e projeções até 2030

Fonte: IEA, 2007

A demanda de energia é projetada para crescer 53% até 2030 (IEA 2006). Energia proveniente da biomassa e resíduos é projetada para suprir cerca de 10% da demanda de energia global até 2030. Entretanto estas projeções assumem que os combustíveis fósseis estarão disponíveis para atender o aumento da demanda e para alguns estudiosos, isso não será realidade (Campbell 2005). As emissões de dióxido

de carbono relacionado à energia devem ter um aumento um pouco maior do que o uso da energia até 2030.

Segundo TOLMASQUIM (2000), em comparação com o resto do mundo, o Brasil tem se destacado por apresentar reduzidos índices de emissão de gases em sua produção de energia, o que se deve basicamente à elevada participação de fontes renováveis na oferta interna de energia. No horizonte de longo prazo, fatores como o ritmo de crescimento da economia e a estrutura da expansão do consumo de energia terão papel fundamental no volume das emissões de gás carbônico (CO₂). Mesmo levando-se em conta o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, o nível de emissões deverá se ampliar nos próximos 25 anos. Nessas condições, projetam-se emissões de cerca de 970 milhões de toneladas de CO₂ em 2030.

A evolução do perfil de consumo de energia primária implica distintos níveis de crescimento das emissões de CO₂. Assim, projeta-se que em 2030, os derivados de petróleo (óleo diesel, gasolina, Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e querosene responderão pela maior parte das emissões, com participação de cerca de 50%. O gás natural, embora apresente fatores de emissão menores que os dos demais combustíveis fósseis, aumentaria sua participação para aproximadamente 17%, em consequência do maior emprego na indústria e na geração elétrica. Com a expansão da atividade siderúrgica e a difusão de plantas termelétricas a carvão, que levam a um aumento do consumo do carvão mineral e derivados, essa fonte energética passaria a responder por cerca de 16% das emissões. Note-se ainda que a geração elétrica poderá apresentar a maior taxa de crescimento de emissões nos próximos 25 anos, cerca de 7% ao ano, fazendo com que a participação desse segmento nas emissões aumente de 6% em 2005 para mais de 10% em 2030 (TOLMASQUIM et al, 2007).

Quanto às emissões específicas (por unidade de energia consumida), admite-se que possam crescer em curto prazo. Em longo prazo, porém, passados os efeitos das condições iniciais e dos fatores inerciais que condicionam o comportamento da economia e da demanda de energia, essas emissões passariam a apresentar tendência declinante em função do aumento da participação de fontes renováveis (TOLMASQUIM et al, 2007). No período em projeção, o índice das emissões específicas de gás carbônico seria de 1,62 tCO₂/tep em 2005, atingiria um valor máximo de 1,79 no início dos anos 2010 e declinaria para 1,74 em 2030 (Figura 7).

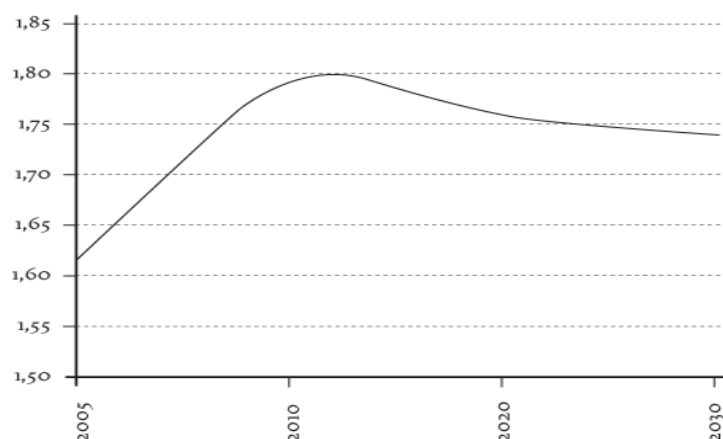


Figura 7 – Evolução das emissões específicas de CO₂ no Brasil – 2007 - 2030 – em tCO₂/tep, com base na oferta interna de energia

Fonte: TOLMASQUIM et al, 2007

3.6 Mitigação das Emissões

Atualmente a possibilidade de substituição de combustíveis é uma das alternativas para a redução das emissões, principalmente nos grandes centros urbanos. O uso do gás natural em deslocamento do óleo diesel na geração de energia elétrica, diferente de outras tantas possibilidades, é real e factível com benefícios econômicos e ambientais. Neste momento discute-se a necessidade da diversificação da matriz energética e integração de fontes, a geração distribuída e a co-geração, os problemas dos sistemas de transportes baseados em combustíveis poluente e a degradação da qualidade do ar em grandes cidades (Medeiros, 2002).

O mundo enfrenta atualmente uma dupla ameaça no setor da energia: a inexistência de uma oferta segura e adequada de energia a preços acessíveis, e os danos impostos ao ambiente pelo excessivo consumo de energia (WEO, 2006). A ascensão rápida dos preços da energia e os recentes eventos geopolíticos servem para comprovar a importância da energia a preços acessíveis para o crescimento econômico e o desenvolvimento humano, bem como a vulnerabilidade do sistema energético global às crises da oferta. Contudo, o atual padrão de exploração de energia atual é acompanhado pela ameaça de danos graves e irreversíveis ao meio ambiente, incluindo as alterações climáticas globais. A conciliação entre os objetivos da segurança energética e da proteção ambiental exige um esforço de todos os setores da sociedade.

Um modo de mitigar as emissões de CO₂ é a produção de energia de maneira mais eficiente. Nos países em desenvolvimento, existem muitas oportunidades para melhorar a produção, conversão e uso final de energia. Por exemplo, no setor elétrico desses países as perdas por transmissão e distribuição são duas a quatro vezes

maiores que os “bons níveis” de eficiência que ocorrem nos países desenvolvidos. Isso tem gerado uma perda freqüentemente acima de 20% do total de energia produzido (WORLD BANK, 1993).

Com as atuais políticas de mitigação da mudança do clima e práticas relacionadas de desenvolvimento sustentável, as emissões globais de gases de efeito estufa continuarão aumentando nas próximas décadas. Na Tabela 5 seguem as principais tecnologias e práticas de mitigação atuais e futuras

Tabela 5 - Principais tecnologias e práticas de mitigação por setor.

Setor	Principais tecnologias e práticas de mitigação disponíveis comercialmente na atualidade.	Principais tecnologias e práticas de mitigação projetadas para serem comercializadas antes de 2030.
Oferta de energia	Melhoria da eficiência da oferta e da distribuição; troca de combustível: carvão mineral por gás; energia nuclear; calor e energia renováveis (hidrelétrica, energia solar, eólica, geotérmica e bioenergia); calor e energia combinados; aplicações antecipadas de captação e armazenamento de carbono (por exemplo, armazenamento do CO ₂ removido do gás natural)	Captação e armazenamento de carbono para usinas geradoras de eletricidade a base de gás, biomassa e carvão mineral; energia nuclear avançada; energia renovável avançada, inclusive energia de ondas e marés, solar concentrada e solar fotovoltaica
Transporte	Veículos com combustíveis mais eficientes; veículos híbridos; veículos a diesel mais limpos; biocombustíveis; mudança do transporte rodoviário para o ferroviário e sistemas de transporte público; transporte não-motorizado (andar de bicicleta, caminhar); planejamento do uso da terra e do transporte	Biocombustíveis de segunda geração; aeronaves mais eficientes; veículos elétricos e híbridos avançados com baterias mais potentes e confiáveis
Edificações	Iluminação mais eficiente, inclusive durante o dia; aparelhos elétricos e de aquecimento e refrigeração mais eficientes; melhoria de fogões e da insulação; energia solar passiva e ativa para aquecimento e refrigeração; fluidos alternativos de refrigeração, recuperação e reciclagem de gases fluorados	Planejamento integrado de edificações comerciais, inclusive com tecnologias, como medidores inteligentes que forneçam informações e controle; energia solar fotovoltaica integrada nas edificações
Indústria	Equipamento elétrico mais eficiente de uso final; recuperação de calor e energia; reciclagem e substituição de material; controle das emissões de gases não-CO ₂ ; e uma ampla faixa de tecnologias específicas de processos	Eficiência energética avançada; captação e armazenamento de carbono na fabricação de cimento, amônia e ferro; eletrodos inertes na fabricação de alumínio
Agricultura	Melhoria do manejo do solo na agropecuária de modo a aumentar o armazenamento de carbono no solo; melhoria das técnicas de cultivo de arroz e manejo da pecuária e do esterco para reduzir as emissões de CH ₄ ; melhoria das técnicas de aplicação de fertilizante nitrogenado para reduzir as emissões de N ₂ O; culturas com fins exclusivamente energéticos para substituir o uso de combustíveis fósseis; melhoria da eficiência energética	Melhorias das safras
Florestamento	Florestamento; reflorestamento; manejo florestal; redução do desflorestamento; manejo da exploração de produtos madeireiros; uso de produtos florestais para a geração de bioenergia em substituição ao uso de combustíveis fósseis	Melhoria das espécies de árvore para aumentar a produtividade da biomassa e o seqüestro de carbono.
Resíduos	Recuperação de metano dos aterros sanitários; incineração de resíduos com recuperação energética; compostagem dos resíduos orgânicos; tratamento controlado das águas residuárias; reciclagem e minimização dos resíduos	Biocoberturas e biofiltros para otimizar a oxidação do CH ₄

Fonte: MCT, 2004

3.7 Matriz Energética Nacional

Ao longo do século XX, o Brasil experimentou intenso desenvolvimento econômico, que se refletiu numa crescente demanda de energia primária. Entre os fatores que determinaram tal crescimento alinham-se um expressivo processo de industrialização, com a instalação de plantas energo-intensivas, e uma notável expansão demográfica, acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização. Considerando-se apenas o período a partir de 1970, a série histórica da evolução do consumo de energia e do crescimento populacional indica que naquele ano a demanda de energia primária era inferior a 70 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) enquanto a população atingia 93 milhões de habitantes. Em 2000 a demanda de energia quase triplicou, alcançando 190 milhões de tep, e a população ultrapassava 170 milhões de habitantes (TOLMASQUIM et al, 2007).

Note-se que o crescimento econômico não foi uniforme durante o período. A taxa média anual, de 3,5%, oscilou de 5,5% em 1970-80 a 2,2% e 3% nas décadas seguintes, quando o crescimento apresentou volatilidade em razão de crises macroeconômicas. No entanto, mesmo nos períodos de taxas menores — como aqueles que se seguiram aos planos Cruzado e Real — sempre se verificou significativa expansão do consumo de energia nos intervalos em que houve uma expansão mais vigorosa da economia. Isso indica que em um ambiente de maior crescimento econômico deve se esperar maior crescimento da demanda de energia (TOLMASQUIM et al, 2007).

Estima-se que a oferta interna de energia crescerá a 5% ao ano no período 2005-10 e que nos anos subseqüentes haverá um crescimento menor — de 3,6% e 3,4% ao ano nos períodos 2010-20 e 2020-30, respectivamente —, devido, sobretudo a uma maior eficiência energética tanto do lado da demanda como da oferta. No entanto, esse crescimento deve ser qualitativamente diferente. Além de um crescimento sustentado, pode-se esperar um aumento muito mais intenso da renda *per capita* e também uma melhor distribuição de renda (TOLMASQUIM et al, 2007). Esses fatores, aos quais se soma o consumo de energia *per capita*, atualmente muito baixo para os padrões mundiais (de 1.190 tep/10³ hab.), justificam o crescimento da demanda nacional de energia para 3,8% ao ano em 2030, superando 550 milhões de tep (Figura 8).

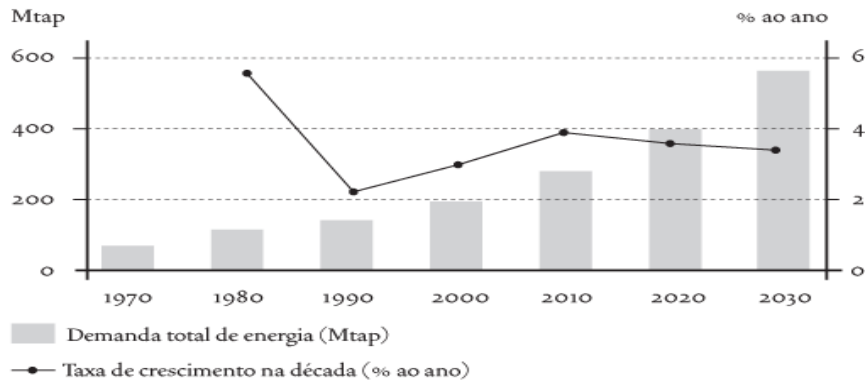


Figura 8 – Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico no Brasil entre 1970-2030

Fonte: TOLMASQUIM et al, 2007

Cabe ressaltar uma clara tendência de diversificação da matriz energética brasileira. Como se pode observar na Figura 9, em 1970 apenas duas fontes de energia, petróleo e lenha, respondiam por 78% do consumo, enquanto em 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo: além de petróleo e lenha, a energia hidráulica.

Observa-se ainda a reversão da tendência de redução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Em 1970 essa participação era superior a 63%, pela predominância da lenha. Em 2000, a participação das fontes renováveis caiu para 42%. Essa tendência deve se manter nos próximos anos, mas projeta-se que este cenário será revertido novamente até 2030.

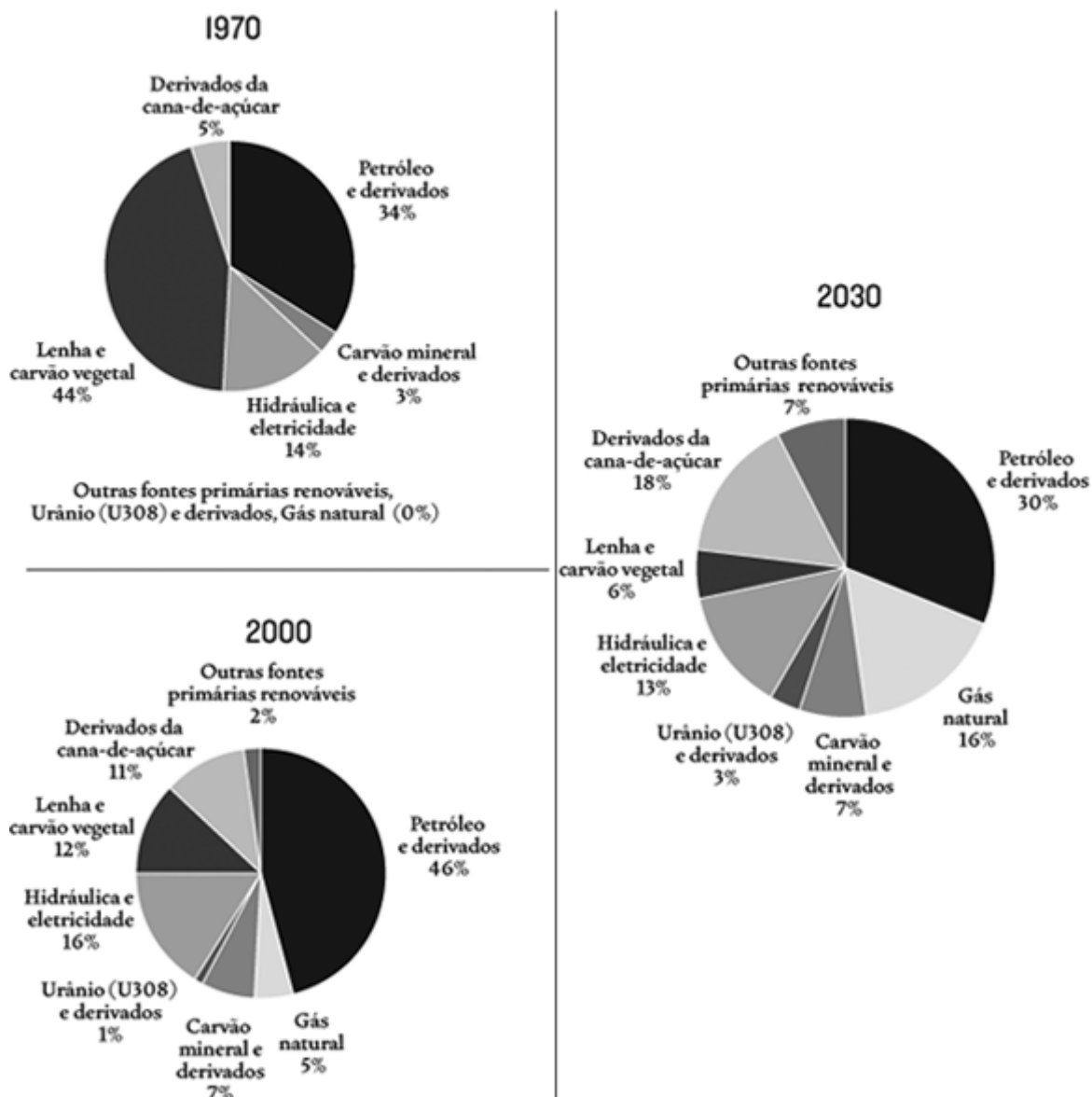


Figura 9 – Evolução da estrutura da oferta de energia

Fonte: TOLMASQUIM et al, 2007

A Matriz Energética é uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região. A análise da matriz energética de um país, ao longo do tempo, é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético, que tem de garantir a produção e o uso adequado da energia produzida, permitindo, inclusive, as projeções futuras. Através do instrumento da Matriz Energética pode-se avaliar o comportamento das quantidades dos energéticos atuais e que poderão vir a serem consumidas no futuro, assim como a forma e a eficiência com que estes energéticos serão consumidos. Podem-se avaliar também as condições de atendimento relativas à oferta futura dos diversos energéticos ou até mesmo as conseqüências, sob o ponto de vista

econômico e sócio-ambiental de sua escassez ou excesso de uso (SÃO PAULO, 2005).

É possível ainda, fomentar políticas públicas no sentido de estimular o crescimento econômico de maneira menos intensiva em energia, pautado por programas de conservação, e o desenvolvimento e a penetração de tecnologias mais eficientes.

Nesse sentido o instrumento Matriz Energética visa atender a essa necessidade dentro da sistemática de planejamento econômico e energético. Através dele pode-se avaliar o comportamento das quantidades dos energéticos que poderão vir a serem consumidas no futuro, assim como a forma e a eficiência com que estes energéticos serão consumidos. Podem-se avaliar também, problemas relativos à oferta futura dos diversos energéticos ou até mesmo as conseqüências danosas, sob o ponto de vista econômico e sócio-ambiental de sua escassez ou excesso de uso (CARRA, 2003).

Uma informação importante, obtida a partir da análise de uma matriz energética, é a quantidade de recursos naturais que está sendo utilizada. Dispor desta informação nos permite avaliar se a utilização desses recursos está sendo feita de forma racional. É bom observar que, dentre os recursos renováveis, encontram-se a lenha, o carvão vegetal e o álcool. A Figura 10 mostra a participação de cada fonte na Matriz Energética nacional no ano de 2005.

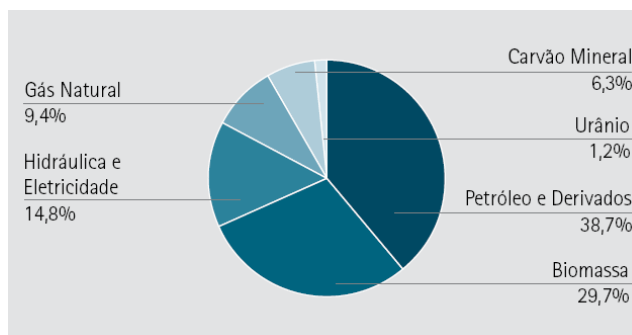


Figura 10 – Matriz Energética Brasileira

Fonte: BEN, 2006

3.8 Modelos de planejamento energético

3.8.1 Modelos Econométricos

Os modelos econométricos tentam representar o consumo de energia através de uma equação e não leva em conta a estrutura tecnológica e de uso final de energia. Este modelo requer uma quantidade menor de dados e possui uma boa base teórica estatística. Utiliza dados do passado para estimar estatisticamente, através de regressão linear, por exemplo, os parâmetros da equação (JANUZZI, 1997).

$$E=aY^{\alpha}P^{-\beta}$$

Onde:

E é a demanda de energia

Y=renda

P=preço da energia-renda

α =elasticidade energia-renda

β =elasticidade energia-preço

Estes modelos foram largamente utilizados até a década de 1970 para se projetar a demanda de energia e permitem compreender a agregação entre a demanda e dois de seus determinantes: preço e renda (JANUZZI, 1997).

Os modelos puramente econométricos são mais adequados para a projeção a curto e médio prazos da demanda energética e, em geral, não são adequados para representar possíveis rupturas futuras em padrões tecnológicos ou econômicos consolidados.

3.8.2 Modelos de Usos-finais

Os modelos de projeção de usos-finais ou técnico-econômicos, como também são conhecidos, são muito mais detalhados, apesar de terem formulações analíticas muito simples. Este modelo considera as mudanças nos níveis de serviço e tecnologia. A demanda de energia para cada atividade é considerada como o produto do nível da atividade e a intensidade de energia (o uso de energia por unidade de serviço). Neste modelo é necessário classificar as diferentes atividades que formam a estrutura da demanda de energia em categorias homogêneas quanto às atividades econômicas e usos finais de energia. Requer dados detalhados, diferentemente do modelo econométrico (JANUZZI, 1997).

Os modelos técnico-econômicos se baseiam na identificação e representação numérica dos principais mecanismos que explicam os fundamentos do desenvolvimento da demanda de energia. Eles procuram expor as necessidades de energia útil de maneira mais desagregada possível, selecionadas por usos mais importantes, e, incorporam na previsão da demanda de energia, mediante auxílio de cenários econômicos previamente elaborados por especialistas em planejamento, o elemento da incerteza quanto ao futuro (BERMANN, 1998).

Estas técnicas visam associar os requisitos de energia útil a indicadores físicos de atividades consumidoras de energia, o que permite isolar a influência da substituição de energéticos que possuam diferentes graus de eficiência e preços, além de referenciar os indicadores econômicos e o peso tecnológico no crescimento da demanda de energia.

3.8.3 Modelos Integrados Oferta/Demanda

Foram desenvolvidos modelos mistos de projeção, para minimizar as restrições aos modelos exclusivamente econométricos e aos modelos técnico-econômicos, que utilizam relações econométricas para estabelecer cenários tendenciais ou de referência e para explicar a evolução de algumas variáveis dos modelos. Este é o tipo de modelo mais empregado atualmente no mundo pelas instituições que realizam projeções da demanda energética a médio e longo prazo.

Os modelos integrados demanda/oferta contemplam a importante família dos modelos de equilíbrio, que podem ser aplicados a determinados segmentos da indústria de energia, como tem sido o caso dos modelos empregados nos exercícios de planejamento integrado de recursos nos setores elétrico e de gás canalizado (BAJAY et al, 1996), ou ao setor energético como um todo, assim como os modelos corporativos, que simulam os impactos financeiros de um plano de expansão de uma empresa, de um segmento, como o elétrico (FARIA & BAJAY, 1996), ou de todo o setor energético.

3.8.4 Modelos Consagrados

3.8.4.1 MEDEE

O *Modele d'Évolution de la Demande Énergétique (MEDEE)*, desenvolvido na França, normalmente é aplicado para os horizontes de médio e longo prazo. Esse método caracteriza-se pela análise técnico-econômica, do tipo contábil, tendo como principal foco, os usos de energia aplicados a técnicas de cenários (BERMANN, 1998).

O modelo baseia-se na identificação dos determinantes econômicos, demográficos, sociais e técnicos da demanda de energia final. Tudo isso separado por setores e tendo como base as estatísticas disponíveis. A partir disso torna-se possível simular as tendências, podendo ser incluídos variáveis exógenas e cenários econômicos. A metodologia permite desagregar a demanda até os múltiplos usos finais, obtendo-se alguns módulos energéticos. Porém, a maior dificuldade deste modelo encontra-se na definição da evolução do comportamento socioeconômico e, além disso, na complexidade de manter a coerência das relações entre os diversos setores (TRIGOSO, 2004)

O grande mérito desta metodologia é a transparência do processo, que permite explorar ações sobre a estrutura da demanda. As maiores dificuldades que recaem sobre o uso deste modelo, é a de definir as evoluções e comportamentos sócio-econômicos e, também, a complexidade de manter a coerência das relações entre os vários setores.

3.8.4.2 MARKAL

O exemplo do modelo MESSAGE, o *Market Allocation Model* (MARKAL), também é caracterizado pelo sistema linear dinâmico, que representa os fluxos de energia desde a extração de fontes primárias, até a utilização da energia em cada uso final. A diferença substancial, é que o primeiro integra ao processo de otimização, a seleção do tipo de equipamento dos consumidores, desagregado por uso e tipo de fonte utilizada (BERMANN, 1998).

O modelo MARKAL requer como dado exógeno, os consumos de energia útil para todos os usos em cada um dos setores do consumo em análise. O modelo também admite diversas funções objetivas baseadas em alguns critérios, tais como o mínimo custo total atualizado, a máxima segurança e a sinalização dos impactos ambientais (TRIGOSO, 2004). Enquanto o modelo MESSAGE inclui o cálculo dos efeitos ambientais de cada tecnologia, no MARKAL, se estende ao usuário final. Os efeitos ambientais não são somente mensurados, mas também selecionados entre as tecnologias disponíveis, com base nos limites admitidos de contaminação.

O modelo tem sido aplicado para estudar o impacto de novas tecnologias a partir da demanda de energia útil.

As limitações à aplicação do modelo MARKAL se referem à qualidade de sua aplicabilidade. Porém, essa metodologia define matematicamente as várias restrições aos processos tecnológicos na área de petróleo, carvão, biomassas, nuclear,

eletricidade (segregando os processos termoelétricos), inclusive energia eólica e solar (células fotovoltaicas), além de outras fontes não convencionais.

3.8.4.3 MAED

O MAED (*Model for Analysis of Energy Demand*), desenvolvido pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) é um clássico modelo de simulação. Sua função é projetar as demandas de energia por usos finais nos vários setores da economia, a partir da definição de um banco de dados sobre população, renda, produção, intensidades energéticas, consumos energéticos específicos, rendimentos de conversão, etc. Em um ano base, e hipóteses sobre a evolução destes parâmetros ao longo do horizonte de projeção.

O modelo MAED é um modelo de simulação para avaliar as implicações da evolução da demanda de energia (a médio e longo prazo) de um cenário que descreve uma evolução hipotética das atividades econômicas e das características populacionais. Trata-se de um modelo que relaciona a demanda de energia a um conjunto de fatores sociais, econômicos e tecnológicos que a influenciam. A demanda de energia é desagregada em categorias de usos finais, cada uma correspondendo a um determinado serviço ou para a produção de certo bem. A natureza e nível da demanda para bens e serviços dependem de fatores sociais (por exemplo, a densidade demográfica regional, tipo e quantidade de eletrodomésticos por residência); fatores sócio-econômicos (prioridade em desenvolvimento de certas indústrias ou setores econômicos, a política do país para transporte público); fatores puramente econômicos (por exemplo, a influência da mudança de preços de combustível); ou fatores puramente tecnológicos, como a evolução das eficiências de certos tipos de equipamento, penetração no mercado de novas tecnologias ou formas de energia (SCHAEFFER et al, 2004).

O modelo MAED obtém como resultado final, a demanda por energia útil para diferentes usos finais, salvo para o caso da demanda por eletricidade para os usos cativos desta fonte energética. As variáveis-chaves de simulação do modelo MAED são os rendimentos dos equipamentos de consumo e os níveis de atividade econômica ou atividade física, conforme o setor de consumo (UFRJ, 2007b).

Evidentemente, os rendimentos dos equipamentos de consumo de energia final não estão desvinculados da energia final consumida. No entanto, não é o modelo MAED, mas sim o modelo MESSAGE, que será descrito adiante, que seleciona as fontes energéticas consumidas para atendimento da demanda por energia útil, através de

uma minimização de custo global (considerando-se os preços-relativos das fontes energéticas).

3.8.4.4 MESSAGE

O MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts*), também desenvolvido pela IAEA, tem como objetivo eleger os meios de produção energética que permitam abastecer uma demanda de fontes secundárias (exógena à metodologia). Dessa forma, acarretará a minimização dos custos de operação e manutenção, ao longo do período observado. Por sua formulação, o modelo analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas nos diferentes centros de transformação, através do nível de consumo final (SCHAEFFER et al, 2004).

O modelo considera uma série de fontes primárias (petróleo, carvão, gás natural, urânio hidroeletricidade, solar, geotérmica e outras), e os centros de transformação que permitem obter as energias secundárias demandadas (eletricidade, combustíveis líquidos e gasosos, carvão, solar e calor distribuído).

Essas demandas podem ser subdivididas regionalmente e, no caso da energia elétrica, é possível representar a curva monótona de duração das cargas. Cada fonte de energia primária (exceto a solar e a hidroeletricidade) pode ser dividida em um número opcional de classes, tendo em conta, o preço de extração, a qualidade da fonte e a localização dos depósitos (BERMANN, 1998).

Essa estratificação permite representar no modelo, relações não lineares entre os custos de extração e a quantidade disponível de recursos. Em seguida, essas fontes primárias são transformadas, direta ou indiretamente, em fontes secundárias que satisfazem a demanda.

Logo, o modelo MESSAGE seleciona os meios de produção de energia, para abastecer a demanda de energia útil, de forma a minimizar os custos de operação e manutenção ao longo do período observado, para todo o sistema energético. Trata-se, portanto, de um modelo de Programação Linear que abrange o sistema energético como um todo. Por sua formulação, o modelo analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas nos diferentes centros de transformação, através do nível de consumo final, sob restrições de potencial disponível (reservas e capacidade de geração e transmissão elétrica) e níveis de impacto ambiental (padrões máximos de emissões atmosféricas, por exemplo) (SCHAEFFER et al, 2004).

3.8.4.5 MIPE

O MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético), desenvolvido pela COPPE/UFRJ e atualmente de uso exclusivo da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), é um modelo técnico-econômico de previsão, que esquadrinha a dinâmica real da energia no país. Esse modelo possibilita levantar as variáveis independentes – variáveis de entrada – para cada segmento de consumo e oferta de energia, simulações de cenários bastante diversificados (TOLMASQUIM, 2000).

De um modo geral, para os setores de consumo de energia, consideram-se como variáveis independentes:

- indicadores físicos para a projeção, Euj/P: baseados na energia útil por forma de destinação j e na produção física do segmento para um ano determinado;
- participação de cada fonte em uma destinação específica;
- rendimentos de conversão de energia final em energia útil e/ou consumos específicos de equipamentos;
- participação de cada tecnologia na produção de determinado produto;
- participação do segmento na composição dos produtos industriais e serviços.

Assim, o módulo de demanda constitui a base de projeção do modelo, pois, nele, se mostram presentes as hipóteses tanto referentes ao modo de desenvolvimento da economia quanto referentes às questões técnico-econômicas de cada segmento de consumo. A partir deste módulo e das opções de oferta de energia do módulo de oferta, implementa-se a previsão (TOLMASQUIM, 2000).

3.8.4.6 LEAP

O LEAP, Long range Energy Alternatives Planning System, é uma ferramenta largamente utilizada para análise de políticas energéticas e auxílio para mitigação das mudanças climáticas, desenvolvido pelo Stockholm Environment Institute.

Este modelo já foi adotado por centenas de organizações em mais de 150 países, incluindo agências, universidades, ONG's e empresas de energia. Tem sido utilizado em diferentes escalas, desde cidades e estados, até aplicações nacionais, regionais e globais.

LEAP é um modelo integrado que pode ser utilizado para traçar o consumo e produção de energia em todos os setores da economia. Além disso ele também pode ser utilizado para estimar as emissões de GEE no setor de energia. O planejamento energético é baseado em cenários socioeconômicos, energéticos e ambientais de médio e longo prazo (www.energycommunity.org).

Inicialmente o modelo faz uma análise da demanda por meio de um modelo técnico-econômico do tipo contábil. Estes determinantes refletem o nível de satisfação das necessidades dos indivíduos, os níveis de atividade econômica, as mudanças tecnológicas e os processos de substituição entre os diferentes energéticos. A análise da demanda do LEAP pode ser resumida da seguinte forma (SEDEC,2006):

- na primeira etapa, a demanda é desagregada em grandes setores com funções econômicas e necessidades de energia semelhantes (indústria, transporte, residencial, comercial, público e agropecuário). Estes setores são, então, divididos em módulos energéticos homogêneos (subsetores), cuja evolução é descrita a partir de um número restrito de parâmetros técnicos e variáveis explicativas.
- numa segunda etapa, identifica-se, para cada um dos diversos módulos homogêneos, inicialmente, a energia útil para as diversas necessidades, nas quais competem as várias formas energéticas. Nos casos em que, em condições normais, as necessidades correspondam a usos específicos, nos quais só pode ser empregado um único energético (e.g. iluminação com eletricidade). Ou no caso de setores nos quais ainda existem incertezas sobre como identificar ou mensurar adequadamente as necessidades de energia útil (e.g. setor transporte, cujo uso final é a força motriz), utiliza-se a energia final na competição entre os energéticos.
- □na terceira etapa, a projeção da demanda de energia é embasada em um quadro global de desenvolvimento econômico e social. É feita a análise dos determinantes sociais, econômicos e tecnológicos que afetam a demanda no longo prazo, assim como a identificação das inter-relações existentes. As simulações das necessidades de energia são executadas por meio de um conjunto de hipóteses que exprimem a evolução dos contextos demográficos, sócio-econômicos, regulatórios, ambientais e tecnológicos no período estudado.

Neste capítulo foi possível identificar os principais causadores das mudanças climáticas, no Brasil e no Mundo. Observa-se que a queima de combustíveis fósseis

no setor energético é um dos principais responsáveis pelas emissões de Gases de Efeito Estufa, em especial o dióxido de carbono (CO₂). No mundo, as emissões de CO₂ foram de 33.631 milhões de toneladas em 2000, sendo 61% deste total proveniente do setor de energia. No Brasil, segundo o MCT no inventário de emissões referentes ao ano de 1994, as emissões de CO₂ foram da ordem de 1.030 milhões de toneladas, com o setor energético respondendo por 23% do total. Isto mostra a vantagem do país em relação ao restante do mundo, por ter baixas emissões de GEE's, principalmente pelo uso de fontes renováveis para geração de energia.

Pode-se observar aqui a evolução da Matriz Energética Nacional, que teve um forte incremento na demanda de energia (quase triplicou) entre 1970 e 2000, devido ao intenso desenvolvimento econômico no período. E neste período também houve a diversificação da matriz, com a redução da oferta de energia proveniente da lenha e aumento de fontes como cana-de-açúcar e a entrada do gás natural.

Foram destacados também os principais modelos de Planejamento Energéticos e suas aplicações. Em especial o MAED e o MESSAGE, que foram utilizados pela UNIFEI e COPPE/UFRJ para a elaboração da Matriz Energética de Minas Gerais – 2006/2030 – da qual serão utilizados os resultados nesta dissertação.

4 EXPERIÊNCIA NA ELABORAÇÃO DO ANO-BASE DO MAED

A Matriz Energética de Minas Gerais foi um projeto proposto pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDE) do Estado de Minas Gerais para ser desenvolvido pela COPPE/UFRJ e pela Universidade Federal de Itajubá no ano de 2006.

Minas Gerais tem importância fundamental no desenvolvimento do país, pois concentra mais de 10% da população do país, tem grande participação na economia nacional, respondendo por cerca de 10% do Produto Interno Bruto do Brasil e no setor de energia, o Estado representa 14% da demanda de energia do Brasil e é responsável por 18% de toda a capacidade instalada de geração.

Por se tratar de um Estado de dimensões nacionais, com grande influência no Brasil, existe a necessidade de o conhecer detalhadamente e a possibilidade de projetar o setor energético no Estado de Minas, motivando, assim este projeto.

As duas universidades foram escolhidas para realizar a Matriz, devido sua grande experiência na área; a COPPE por já ter elaborado a Matriz energética nacional e outros projetos na área e a UNIFEI por toda sua contribuição no setor energético.

A Matriz de Minas Gerais tinha por objetivo projetar a oferta de energia no Estado de 2007 a 2030, utilizando para isto dois cenários distintos. E como ferramentas para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dois softwares desenvolvidos pela Agência Internacional de Energia Atômica, utilizados por diversos países para se projetar a oferta e a demanda de energia, o MAED e o MESSAGE.

Apesar de difundidos mundialmente, os dois programas não foram criados baseados na realidade brasileira, necessitando de adaptações e ajustes para que pudessem representar de maneira fiel as características do país e especialmente de Minas Gerais. Assim, de maneira inédita na Universidade Federal de Itajubá, foi possível conhecer e utilizar o modelo de planejamento energético MAED.

A equipe da UNIFEI, da qual este autor fez parte, foi responsável pela preparação e simulação do MAED englobando o setor Agropecuário e Industrial e de Serviços, preparando o modelo e realizando as simulações para os dois cenários propostos. Mas para se chegar ao resultado final foram necessárias diversas horas de trabalho para de entender toda a lógica e funcionalidades do modelo.

Como este é um software baseado em Excel foi possível realizar uma auditoria por todas as fórmulas e cálculos. Dessa forma, foi possível conhecer os fluxos de dados e

quais destes seriam necessários, pois diversas informações requeridas não se aplicavam ao setor energético de Minas, como a participação de “bombas de calor” no setor de Manufatura. Outros dados necessários deveriam ser calculados de maneira exógena para compor o ano-base do modelo, a partir do qual seriam feitas as projeções.

Então, conhecidos os dados de entrada requisitados no modelo, estes foram pesquisados e consolidados para estruturar o ano de 2005 no MAED. A seguir será apresentada descrição dos procedimentos adotados para a preparação do ano-base

4.1 Preparação do Ano-Base

Para a elaboração da Matriz Energética de Minas Gerais, a demanda de energia útil é projetada a partir de um modelo chamado MAED (Model for Analysis of Energy Demand), desenvolvido pela Agência Internacional de Energia Atômica.

As variáveis necessárias para a simulação são os rendimentos dos equipamentos de consumo e os níveis de atividade econômica ou atividade física, conforme o setor de consumo.

Foi necessária inicialmente a preparação do ano-base do modelo, com dados macroeconômicos e energéticos dos setores residencial, de serviços, industrial e de transportes. Assim, preparado o ano-base é possível simular a demanda de energia útil de MG para os cenários desejados.

A simulação da matriz energética de MG foi proposta para os anos de 2007 até 2030, mas os dados disponíveis para a preparação do MAED ficavam limitados aos anos de 2004, 2005 e 2006. Optou-se então pela escolha do ano-base como sendo de 2005, tanto pela maior quantidade de dados a ser utilizados pelas equipes quanto por esses dados já terem sido revisados e consolidados, o que ainda não havia acontecido com os dados de 2006.

Escolhido o ano em que seriam obtidas as informações, partiu-se então para a coleta de dados. Os dados de energia para os diversos setores foram obtidos a partir do Balanço Energético do Estado de Minas Gerais, elaborado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG – do ano de 2005 (que tem 2004 como ano de referência).

O setor industrial subdivide-se em 4 segmentos, a saber:

- agricultura;
- construção;
- mineração;

- manufatura.

O segmento de construção é composto pelo setor de cimento, cerâmica e cal, já que são muito intensivos em energia e representativos em Minas Gerais, e o setor de construção civil em si, compõe o subsetor “máquinas e equipamentos” do segmento de manufaturas.

O setor de manufaturas engloba: materiais básicos, bens não duráveis, máquinas e equipamentos e outras indústrias. A Tabela 6 apresenta as categorias existentes no MAED e quais as correspondentes no BEEMG para este segmento.

Tabela 6 – Subdivisão do setor industrial no MAED e no BEEMG

Categorias no MAED	Setores Correspondentes
<i>Agriculture</i>	Agropecuária
<i>Construction</i>	Minerais não metálicos
<i>Mining</i>	Indústria Extrativa mineral
<i>Transportation</i>	Transportes e Armazenagem
<i>Household</i>	Residencial
<i>Services</i>	Serviços
	Comercial
	Público
<i>Manufacturing</i>	
<i>Basic Materials</i>	Ferro gusa e aço integrado
	Ferro gusa não integrado
	Não ferrosos e outros da metalurgia
	Ferroligas
	Papel e Celulose
<i>Non-Durables</i>	Alimentos e bebidas
	Têxtil
<i>Machinery & Equipment</i>	Construção
	Outros
<i>Chemicals</i>	Química

Assim pode-se correlacionar a divisão feita no MAED com a separação mais detalhado do BEEMG.

4.2 Balanço Energético de Minas Gerais

Do balanço energético estadual são retiradas as informações de energia primária (petróleo, carvão mineral, gás natural, lenha etc.), secundária (GLP, óleo diesel, eletricidade, álcool etílico, etc.) e total das diferentes fontes para todos os setores da indústria e serviços abordados no balanço.

Esses valores então são agrupados segundo o tipo de energia, por exemplo, fóssil, eletricidade, não comercial, como mostrado na Tabela 7

Tabela 7 - Country Balance of Final Energy Consumption by Sectors and Fuels for Base Year (1000 tEP)

Setor da Economia	Fóssil	Combust. motores	Coque de carvão	Total	Eletricidade	Solar	Total Comercial	Não-Comercial	Total
Manufatura	2.210	26	6.258	8.494	1.991	-	10.485	1.750	12.235
Agricultura	5	509	-	514	171	-	685	38	723
Construção	805	1	12	818	103	-	921	688	1.609
Mineração	52	155	-	207	277	-	484	6	490
Transporte	-	5.636	-	5.636	3	-	5.639	-	5.639
Residencial	767	-	-	767	599	-	1.366	2.014	3.380
Serviços	31	-	-	31	556	-	587	14	601
Total	3.870	6.327	6.270	16.467	3.700	-	20.167	4.510	24.677

São considerados os combustíveis fósseis, combustíveis para motores, eletricidade, coque de carvão (mineral e vegetal) e fontes não comerciais. A Tabela 8 apresenta quais combustíveis compõem cada uma das fontes de energia que são utilizadas no modelo.

Tabela 8 - Fontes de energia e combustíveis que as compõem

Fóssil	Combustíveis motores	Eletricidade	Coque de carvão	Não-Comercial
Gás natural Carvão energético Carvão metalúrgico Óleo combustível GLP Gás de coqueria Outras fontes secundárias ¹	Óleo Diesel	Eletricidade	Coque de carvão mineral Carvão vegetal	Lenha Bagaço de cana Carvão vegetal ² Outras fontes primárias ³

¹ Outras fontes secundárias como combustível fóssil é composta basicamente por coque de petróleo e óleos combustíveis residuais.

² Parcela do carvão vegetal que não é consumida na indústria siderúrgica e metalúrgica.

³ As outras fontes primárias foram alocadas em *Não-Comercial*, pois é composta por resíduos de fabricação de celulose, licor negro, que representam 77,3 % desta fonte, segundo o BEEMG-2004.

A parcela de carvão vegetal consumida pelo setor de construção foi alocada dentro de "*Não-Comercial*" e não em "*Coque de carvão*", como ocorre na siderurgia, para que durante a simulação de oferta, o modelo *MESSAGE* não crie uma demanda em coqueria, em vez da demanda ser de carvoarias.

Abaixo, são descritos tais fontes de energia:

- *fóssil*: composto por fontes de energia de origem fóssil, sendo elas primárias ou secundárias.
- *combustíveis motores*: combustíveis que embora sejam fósseis, têm seu uso em motores de combustão.

- *eletricidade*: uso cativo de eletricidade. A conversão da eletricidade em tEP foi feita pelo equivalente físico 0,086 tEP/MWh, mantendo a compatibilidade com o balanço energético nacional.
- *coque de carvão*: coque de carvão mineral e carvão vegetal utilizado como energético no setor siderúrgico (ferro gusa, aço e ferroligas) sendo este setor responsável por 89% do consumo total de carvão vegetal. Por esta razão o consumo de carvão vegetal destes setores estão alocados em Coque de carvão e não em Não-comercial como os demais setores.
- *não-comercial*: energéticos provindos de resíduos de biomassa, carvão vegetal que não é utilizado em uso siderúrgico (ferro gusa e aço integrado, não integrado e ferroligas)

Especificamente para o setor de manufaturas, esta discriminação dos valores é feita também para os subsetores, como pode se observar na Tabela 9.

Tabela 9 – Balanço energético para o setor de manufaturas

Setor de manufaturas	Combustíveis fósseis	Combustíveis motores	Eletricidade	Solar	Coque de carvão mineral	Feedstock	Não-comercial	Total
Materiais básicos	1.788	16	1.255	-	6.256	-	912	10.227
Máquinas e Equipamentos	68	1	230	-			16	315
Não duráveis	242	4	240	-			743	1.229
Outros	112	5	266	-	2		79	464
Total Manufatura	2.210	26	1.991	-	6.258	-	1.750	12.235

Para o setor de serviços também é feita a agregação dos valores de acordo com o tipo e use de energia, como mostra a Tabela 10

Tabela 10 – Balanço energético para o setor de serviços

Setor	Combustíveis fósseis	Eletricidade	Solar	Total Comercial	Não-Comercial	Grande Total
Serviços	31	556	-	587,0	14	601,0
Aquecimento	-	-	-	-	-	-
Cozimento	4,34	-	-	4	1,96	6
Água quente	27	-	-	27	12,04	39
Iluminação	-	244,64	-	245	-	245
Uso cativo de eletricidade	-	200	-	-	-	-
Ar condicionado	-	111,20	-	111	-	111

4.3 PIB

Nesta fase preliminar, onde estão sendo preparados os dados do ano-base, ainda são necessários os valores do Produto Interno Bruto (PIB), para os setores estudados de

Minas Gerais, que posteriormente serão utilizados para o cálculo do valor agregado de cada setor. A Tabela 11 apresenta os dados do PIB de Minas Gerais para o ano de 2004 obtidos da Fundação João Pinheiro e do IBGE.

Tabela 11 – PIB desagregado setorialmente

	2004
Agropecuária	14,61
Indústria Extrativa mineral	3,62
Indústria de transformação	59,10
Minerais não metálicos	2,50
Siderurgia	13,01
Não ferrosos e outros da metalurgia	1,72
Químicos	3,82
Papel e Celulose	1,14
Têxtil	1,24
Alimentos e Bebidas	6,92
Outros	28,74
Construção	15,81
Outros	12,93
Comercial + Serviços	50,63
Transportes e armazenagem	4,14
Setor Público + água	24,41
Setor Energético Final	10,08
Eletricidade	6,80
E&P+Refino	3,09
Gás	0,04
Álcool	0,15

4.4 Demografia

Outro importante dado que será utilizado na simulação do MAED é a Demografia, onde serão apontados os valores totais de população, número de trabalhadores, população nas cidades com transporte público, entre outros. A Tabela 12 apresenta todos estes dados.

Tabela 12 – Demografia

Parâmetro	Unidade	Quantidade
População Total	10 ⁶ pessoas	18,99
População na área urbana	10 ⁶ pessoas	
População em cidades com transporte público	10 ⁶ pessoas	
População em cidades com transporte público	%	
Força de trabalho potencial	10 ⁶ pessoas	81,10
Força de trabalho potencial	Fração	0,47
Atual Força de trabalho	10 ⁶ pessoas	73,52
Atual/Potencial Força de trabalho	Fração	0,91
Força de trabalho no Setor de Serviços	10 ⁶ pessoas	1,61
Percentual da força de trabalho no setor de serviços	Fração	0,02

4.5 Estilo de Vida

O Estilo de Vida é outro importante dado a ser inserido na preparação do ano-base, principalmente para os setores residencial, de transportes e o setor de serviços, pois apresentam dados de área do setor, área por número de empregados, área com ar condicionado e eletrificada. Dados estes que serão importantes posteriormente para o cálculo do uso térmico da energia no setor de serviços. A Tabela 13 mostra detalhadamente os dados de Estilo de Vida utilizados no MAED.

Para o cálculo da energia útil no setor de serviços são necessários dados de pessoal ocupado, da proporção de área por empregado e da intensidade energética. A população ocupada no setor de serviços foi obtida a partir do Perfil de Minas Gerais.

Tabela 13 – Estilo de vida

Parâmetro	Unidade	Quantidade
Área total do setor de serviços	10 ⁶ m ²	8,35
Área média por empregado no setor de serviços	m ² /empregado	5,20
Área eletrificada no setor de serviços	%	100
Área do setor de serviços com ar condicionado	%	4,41

4.6 Balanço energético na indústria

Para se obter a energia útil consumida no setor industrial é necessário entrar com os dados de energia final no modelo, e a partir desta energia e da eficiência do uso da mesma para cada setor, calcula-se a demanda de energia útil. Assim é apresentado na Tabela 14

Tabela 14 – Estrutura do consumo de energia final na indústria (1000 tEP)

Setores da Indústria	Combustíveis fósseis	Combustíveis motores	Eletricidade	Solar	Coque de carvão mineral	Não-comercial	Total
Agricultura	5,00	509,00	171,00	0,00		38,00	723,00
Construção	805,00	1,00	103,00	0,00	12,00	688,00	1609,00
Mineração	52,00	155,00	277,00	0,00		6,00	490,00
Total AGR-CON-MIN	862,00	665,00	551,00	0,00	12,00	732,00	2822,00
Manufatura	2210,00	26,00	1991,00	0,00	6258,00	1750,00	12235,00
Total Indústria	3072,00	691,00	2542,00	0,00	6270,00	2482,00	15057,00

Considera-se que a eletricidade utilizada no setor industrial destina-se para iluminação, partida de motores, outros usos cativos e usos térmicos; nos setores agricultura, construção (composto por cerâmica, cimento e cal) e mineração, considerara-se a utilização de 100% da eletricidade para usos cativos. Os subsetores de manufatura utilizam 76% da eletricidade para uso cativo e o restante é utilizado para fins térmicos.

Na Tabela 15 é apresentado o consumo final de energia dos subsetores da manufatura para o ano-base. Nesta tabela, assim como em todo o ano-base a parcela correspondente ao *feedstock* é considerada igual a zero, pois o MAED não se refere ao uso não energético de coque na siderurgia. Já no BEEMG o consumo final não energético não é discriminado dessa forma.

Tabela 15- Consumo da energia final no setor de (1000 tEP)

Sub-setor	Uso térmico*			Energia movida por Combust. motores	Eletricidade para uso cativo	Total	Uso direto do coque	Total
	Baixa Temp	Média Temp	Alta Temp					
Materiais básicos	0,00	1805,63	1360,63	16,00	313,75	3496,00	6731,00	10227,00
Máquinas e Equipamentos	0,00	93,12	46,08	1,00	174,80	315,00		315,00
Não duráveis	895,44	97,68	48,48	4,00	182,40	1228,00	1,00	1229,00
Outros	62,00	136,53	39,31	5,00	202,16	445,00	19,00	464,00
Total Manufatura	957,44	2132,95	1494,50	26,00	873,11	5484,00	6751,00	12235,00

*A coluna referente *Uso direto do coque* refere-se ao uso não energético do coque na siderurgia, sendo que este é utilizado no processo de fabricação do aço e do ferro gusa.

4.7 Eficiência e penetração da energia útil na Agricultura, Construção e Mineração (A-C-M)

Os dados de eficiência para *Não-Comercial* (lenha e produtos de cana) e *Combustíveis fósseis* (gasolina, óleo combustível, óleo diesel e GLP) da planilha “*Eff & Penetr Us in A-C-M*”, foram obtidos através da média ponderada dos dados de eficiência de aquecimento direto para agricultura, construção (cimento, cerâmica) e mineração, do Balanço de Energia Útil 2006 (BEU-2006). Os dados energéticos dos mesmos foram retirados do BEEMG-2006, os quais estão representados na Tabela 16. No caso de construção, a média das eficiências foi obtida a partir das eficiências de cimento e cerâmica, pois no BEU-2006 não disponibiliza dados específicos para o setor de cal. Os dados de eficiência da planilha “*Eff in Manuf*” (

Tabela 18) foram obtidos através de literatura especializada e informações técnicas de especialistas do setor.

Tabela 16- Eficiência dos combustíveis e energia final por setor

Combustível/Setor	Construção		Mineração	Agropecuário
	Cimento	Cerâmica		
Lenha	0.46	0.40	0.55	0.32
Fóssil	0.46	0.55	0.55	0.52
Energia final (mil tEP)	706	484	490	723

4.8 Penetração da energia final na manufatura

A penetração da energia final no setor de manufatura foi obtida a partir de dados do BEU-2006 e também da elaboração da Matriz Energética Nacional. Através dos dados de penetração para a Indústria, a média e a alta temperatura, é possível em seguida calcular a eficiência de cada fonte energética para o uso térmico. A Tabela 17 mostra a estrutura do uso térmico para a energia final.

Tabela 17 – Estrutura do Uso térmico da Energia Final no Setor de Manufatura por fontes (1000 tEP)

	Baixa Temp (Aquecimento de água)	Média Temp (Geração de vapor)	Alta Temp (Caldeiras)
Eletricidade incluindo bombas de calor	0,00	238,92	238,92
Bombas de calor sem eletricidade.	0	0	0
Central de distribuição de calor	0	0	0
Solar	0,00	0,00	0,00
Não-Comercial	676,13	685,16	388,71
Calor de cogeração	0	0	0
Combustíveis fósseis	220,22	1247,39	742,39
Total	896,4	2171,5	1370,0

4.9 Eficiência da energia útil na manufatura

Assim como os dados de penetração de energia final na manufatura, os dados de eficiência para este setor também são obtidos a partir do BEU-2006 e da Matriz Energética Nacional e são distribuídos para Indústria, média e alta temperatura. Estes valores estão na

Tabela 18

Tabela 18 - Eficiência das fontes energéticas para Uso térmico na Manufatura (%)

Faixa de temperatura	Baixa (0-120 C)		Média (120-800 C)		Alta (>800 C)	
Fonte de energia	Fração	Eficiência	Fração	Eficiência	Fração	Eficiência
Petróleo	0,76	0,87	0,811	0,69	0,7644	0,44
Gás	0,10	0,90	0,10	0,66	0,0035	0,43
Carvão mineral	0,14	0,65	0,09	0,50	0,2321	0,43
Combustíveis fósseis – Média ponderada	1	0,8422	1	0,67057	1	0,437644
Faixa de temperatura	Baixa (0-120 C)		Média (120-800 C)		Alta (>800 C)	
Fonte de energia	Penetração da energia final	Eficiência	Penetração da energia final	Eficiência	Penetração da energia final	Eficiência
Eletricidade incluindo bombas de calor	0,000	1	0,110	1	0,174	1
Bombas de calor sem eletricidade.	0,000	2	0,000	2	0,000	2
Central de distribuição de calor	0,000	1	0,000	1	0,000	1
Solar	0,000	0,8	0,000	0,8	0,000	0,8
Não-Comercial	0,754	0,75	0,316	0,54	0,284	0,43
Calor de cogeração	0,000	1	0,000	1	0,000	1
Combustíveis fósseis	0,246	0,8422	0,574	0,67057	0,542	0,437644
Média ponderada para Manufatura		0,773		0,666		0,534

4.10 Penetração da energia útil na manufatura

A partir dos dados de eficiência e penetração de energia final na manufatura, obteve-se estrutura do uso térmico da energia útil no setor de manufatura e em seguida a penetração de cada fonte, como é mostrado na Tabela 19. Estes valores serão utilizados pelo MAED para estimar a demanda de energia útil.

Tabela 19 – Estrutura do Uso térmico da Energia Útil no Setor de Manufatura por fontes (1000 tEP)

	Baixa Temp (Aquecimento de água)	Média Temp (Geração de vapor)	Alta Temp (Caldeiras)
Eletricidade incluindo bombas de calor	0,00	238,92	238,92
Bombas de calor sem eletricidade.	0	0	0
Central de distribuição de calor	0	0	0
Solar	0	0	0
Não-Comercial	507,10	369,99	167,15
Calor de cogeração	0	0	0
Combustíveis fósseis	185,47	836,4609712	324,9034044
Total	692,6	1445,4	731,0

4.11 Uso térmico na manufatura

Por último, calcula-se a intensidade energética dos subsetores da manufatura a partir dos dados de eficiência e dos dados de consumo de energia final, como esta apresentado na Tabela 20

Tabela 20 – Consumo de energia final e útil para Uso térmico na Manufatura (1000 tEP)

Manufatura Sub-setor	Parâmetro	Baixa Temp	Média Temp	Alta Temp	Valor Total	Intensidade da energia útil (10^3 tEP/ 10^9 MU ₉₅)
Media Ponderada da Eficiência do Uso térmico		0,77	0,67	0,53		
Materiais básicos	Energia Final	0,0	1770,6	1230,6	3001,2	
	Energia Útil	0,0	1178,5	656,6	1835,1	115,583
	Percentual da energia útil	0,00	0,64	0,36	1,00	
Maquinas e Equipamentos.	Energia Final	0,0	93,1	46,1	139,2	
	Energia Útil	0,0	62,0	24,6	86,6	3,012
	Percentual da energia útil	0,00	0,72	0,28	1,00	
Não duráveis	Energia Final	896,4	97,8	48,5	1042,6	
	Energia Útil	692,6	65,1	25,9	783,5	95,961
	Percentual da energia útil	0,88	0,08	0,03	1,00	
Outros	Energia Final	0,0	210,0	44,8	254,8	
	Energia Útil	0,0	139,8	23,9	163,7	42,902
	Percentual da energia útil	0,00	0,85	0,15	1,0	
Total de Energia Útil		692,6	1445,4	731,0	2868,9	

4.12 Setor de Serviços

Para o setor de serviços é feito o mesmo procedimento, entrando com dados de consumo de energia final, penetração das fontes de energia e eficiência.

É feito o balanço energético do setor para as diversas fontes, separando por uso da energia.

Neste setor, o uso de combustíveis fósseis e não-comerciais (lenha e carvão vegetal) é destinado exclusivamente para cozimento e aquecimento de água e a eletricidade usada para iluminação, em sua maior parte, usos cativos e ar condicionado. A eletricidade é a fonte energética de maior consumo neste setor. A eficiência das fontes energéticas foi tomada dos valores utilizados no Balanço de Energia Útil do ano de 2005 (MME, 2006).

4.13 MAED

Inseridos todos os dados nas planilhas de preparação do modelo, é constituído o ano-base no MAED, que busca estes dados. Através da simulação estima a demanda de energia útil para o ano-base e com a entrada dos dados de evolução do setor será feita a simulação da demanda de energia útil para os anos seguintes.

Anexo é apresentado o fluxograma da entrada de dados do MAED.

4.14 Críticas ao MAED

Apesar do MAED ser um modelo largamente utilizado por diversos países, precisam ser feitas algumas críticas e adaptações para a realidade do Brasil e em especial para a de Minas Gerais, objeto de estudo deste trabalho.

No MAED, o número de setores econômicos é menor do que o que consta no Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEMG), assim, os setores agropecuário, de mineração, de construção civil e de transformação são tratados como setores industriais, sendo que este último ainda é dividido em outros quatro, a indústria de materiais básicos, onde foram incluídos os setores de papel e celulose e o setor siderúrgico; a indústria de máquinas e equipamentos; a indústria de bens não duráveis; e a indústria química.

Como o setor de construção civil não é tratado no BEEMG, os dados de consumo de energia têm que ser calculados “por fora” do modelo. No entanto, o valor encontrado pode estar sendo superestimado, pois, apesar de o setor de construção não estar destacado no BEEMG, o seu consumo de energia está alocado no setor de cimento, cerâmica e de serviços. Desta forma, propõe-se que no setor de construção sejam alocados os dados correspondentes ao setor de cimento e cerâmica.

O setor residencial é desagregado nos seguintes serviços energéticos: aquecimento de ambientes, cozimento, aquecimento de água, iluminação, eletricidade para eletrodomésticos e condicionamento de ar. O arquivo “Input_Preparation.xls” apresenta uma detalhada estrutura para estimar o consumo de energia dos aquecedores de ambiente, onde são considerados dados como a temperatura média, algumas características de residências novas e antigas, taxa de demolição entre outros. Porém, essa estrutura não é muito útil, pois no Estado de Minas Gerais não há uma demanda significativa por esse tipo de serviço energético.

O mesmo ocorre com o setor de serviços. Deve-se ressaltar, entretanto, o fato de que não há a possibilidade de representar outras fontes de energia, além da eletricidade, para condicionamento de ar, o que é uma importante limitação do modelo.

5 Inventário Emissões de Gases do Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais

No ano de 2008, Governo do Estado de Minas Gerais, por meio da Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM, entidade da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD lançou o Primeiro Inventário Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) do Estado. Neste Inventário são contabilizadas as emissões de gases de efeito estufa gerados pelas atividades socioeconômicas no ano de 2005, fazendo uso da metodologia para elaboração de inventários do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (FEAM, 2008). As emissões dos seguintes gases de efeito estufa foram quantificadas: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), perfluormetano (CF_4) e perfluoretano (C_2F_6).

Nele foram inventariados os seguintes setores: “Energia”, “Processos Industriais e Uso de Produtos”, “Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo” e “Resíduos”.

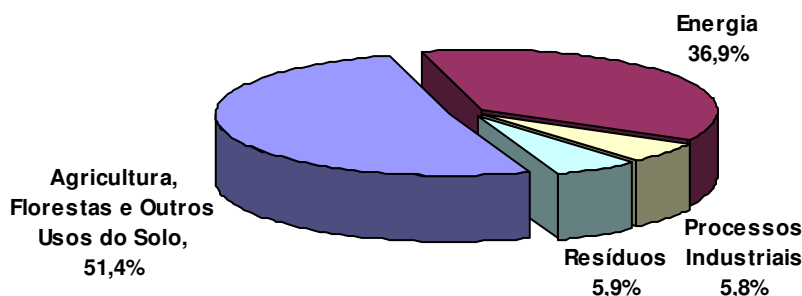


Figura 11 - Participação dos Setores nas Emissões Totais de Gases de Efeito Estufa em Minas Gerais

Fonte: FEAM, 2008

Segundo o Inventário, o Setor Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo foi o maior emissor de gases de efeito estufa, com 51,4% do total emitido, valor este devido, principalmente à agropecuária. Em seguida, o Setor Energia, com 36,9%, em função da queima de combustíveis fósseis na indústria e em transportes (Figura 11).

No setor de Energia o Inventário considerou as emissões devidas à produção, à transformação, ao consumo de energia e ao autoconsumo do setor energético. Além das emissões resultantes da queima de combustíveis fósseis, foram incluídas as emissões resultantes de fugas na cadeia de produção, transformação, distribuição e consumo, denominadas emissões fugitivas. A Figura 12 apresenta a distribuição das emissões neste setor.

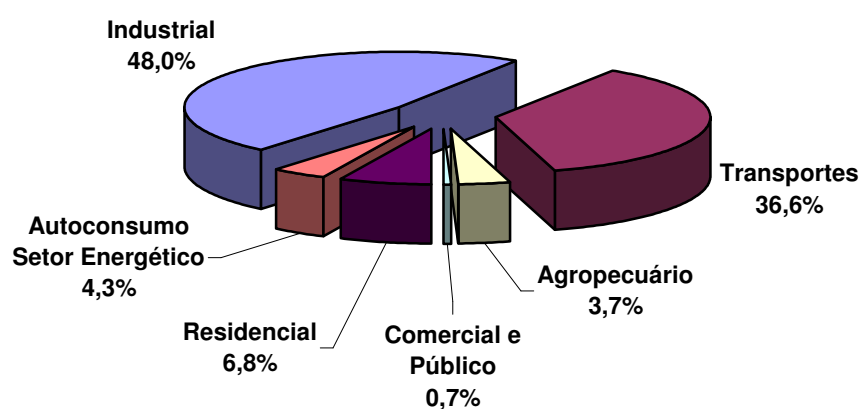


Figura 12 - Participação dos setores socioeconômicos nas emissões totais do Setor Energia

Fonte: FEAM, 2008

Também foram incluídas as emissões de CO₂ por oxidação do carbono contido nos combustíveis durante a sua queima, seja para geração de outras formas de energia, como eletricidade, seja no consumo final. Foram contabilizadas as emissões de CH₄ e N₂O durante o processo de combustão, e as emissões fugitivas de CH₄ associadas ao petróleo e ao gás natural, durante seu transporte e distribuição em dutos (FEAM, 2008).

As emissões de GEE devidas ao Setor Energia, contabilizadas no Inventário Mineiro de Emissões, somaram 45.348 Gg CO₂eq em 2005, com as emissões de CO₂ representando 94,1% desse total. O uso de energéticos na indústria foi o maior responsável pelas emissões, com 48,0% de participação, destacando-se a indústria siderúrgica, com 72,7% das emissões. A atividade de transportes teve a segunda maior participação, 36,6%, devido, principalmente, ao modal rodoviário que emitiu

96,2% do total. As emissões fugitivas representaram apenas 0,04% do total do Setor Energia.

Em termos de emissões por energético o uso de óleo diesel gerou os maiores níveis de emissão, com 30,3% de participação, devido ao seu uso no transportes, seguido pelo coque de carvão mineral, com 24,5%, e da gasolina, com 9,9%.

No setor Processos Industriais e Uso de Produtos o estudo estimou as emissões resultantes dos processos produtivos nas indústrias de produtos químicos, minerais metálicos e não metálicos. A Figura 13 mostra a participação dos setores socioeconômicos nas emissões totais do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos.

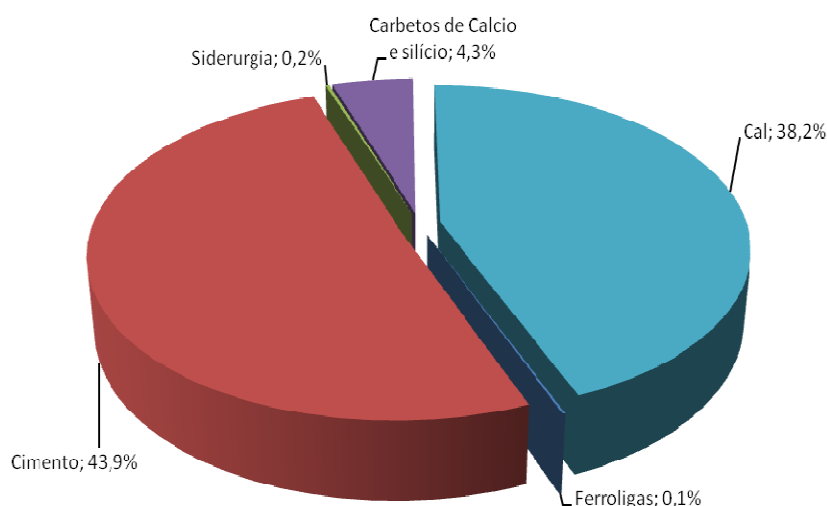


Figura 13- Participação dos setores socioeconômicos nas emissões totais do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos.
Fonte: FEAM, 2008

As emissões totais do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos atingiram o valor de 7.086 Gg CO₂eq sendo o CO₂ responsável por 89,8% desse total. A produção de cimento foi a principal responsável pelas emissões do setor, com 43,9%, seguida pela de cal, com 38,2%, e pela de alumínio, com 13,0% de participação (FEAM, 2008).

Já o setor Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo, segundo os resultados do Invetário, foi responsável pela emissão de 63.221 Gg CO₂eq. O principal gás emitido foi o CH₄ (42,4%), seguido do CO₂ (39,9%) e do N₂O (17,7%). A fermentação entérica foi a principal emissora, com participação de 41,2%, que somada ao manejo de

dejetos eleva a participação da pecuária para 57,1% das emissões totais do setor. Em seguida, tem-se a mudança no uso do solo, com 38,4% de participação.

E por último, o setor Resíduos emitiu 7.294 Gg CO₂ eq, sendo 65,0% provenientes dos resíduos sólidos e 35,0% dos efluentes industriais, domésticos e comerciais. Os resíduos sólidos urbanos foram os que mais contribuíram para a emissão de gases de efeito estufa, com participação de 40,9% do total e o CH₄ foi o principal gás emitido, com participação de 82,9% (FEAM, 2008).

6 Matriz Energética de Minas Gerais – 2007-2030

Neste capítulo serão apresentados os resultados de oferta e consumo final de energia, obtidos na elaboração da Matriz Energética de Minas Gerais – 2007-2030 – realizada pela equipe de pesquisadores da UNIFEI, com participação deste autor, e da COPPE/UFRJ, que utilizaram os modelos MAED e MESSAGE da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Esta equipe, da qual este autor fez parte, realizou as simulações dos modelos e elaborou as premissas básicas para os setores da economia mineira que foram abordados em dois cenários distintos. Os setores econômicos de Minas Gerais analisados foram: industrial e agropecuário; transportes; serviços e residencial.

O modelo MAED é um modelo paramétrico, técnico-econômico, de simulação da demanda de energia útil. Esse modelo obtém como resultado final, a demanda por energia útil para diferentes usos finais, salvo para o caso da demanda por eletricidade para os usos cativos desta fonte energética. As variáveis-chaves de simulação do modelo MAED são os rendimentos dos equipamentos de consumo e os níveis de atividade econômica ou atividade física, conforme o setor de consumo (UFRJ, 2007b).

Por sua vez, o modelo MESSAGE seleciona os meios de produção de energia, para atender a demanda de energia útil, de forma a minimizar os custos de operação e manutenção ao longo do período observado, para todo o sistema energético (UFRJ, 2007b). Por sua formulação, o modelo analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas nos diferentes centros de transformação, através do nível de consumo final, sob restrições de potencial disponível (reservas e capacidade de geração e transmissão elétrica) e níveis de impacto ambiental (padrões máximos de emissões atmosféricas, por exemplo).

A Figura 14 sintetiza a lógica de integração entre os modelos MAED e MESSAGE.

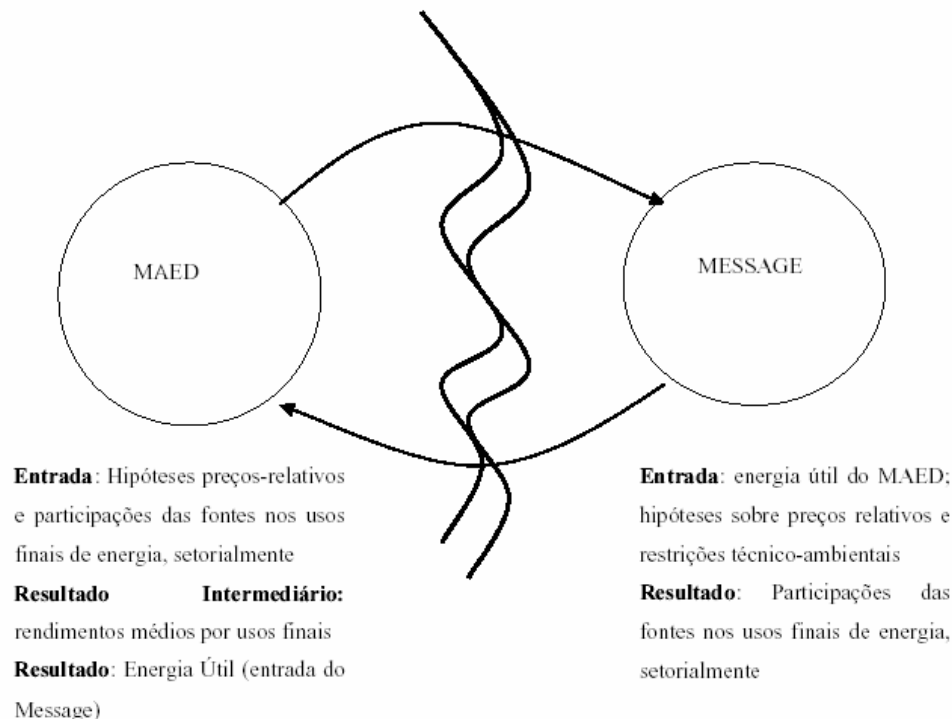


Figura 14 – Lógica de integração entre os modelos MAED e MESSAGE
 Fonte: UFRJ, 2007b

Para estabelecer as condições iniciais, primeiramente utilizaram-se os dados consolidados do Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG 2005, que considera como base os resultados de 2004, já que no MAED é necessário o preenchimento do balanço energético desagregado para o ano-base. Foram feitas projeções para os setores do Estado neste modelo e os resultados serviram de variáveis de entrada para o modelo MESSAGE.

6.1 Cenários Macro Econômicos de Minas Gerais

Para se obter uma melhor projeção da Matriz Energética mineira, a equipe da COPPE/UFRJ e UNIFEI em parceria com a Fundação João Pinheiro (FJP) elaborou dois cenários para a matriz: o Cenário Referência e o Cenário Alternativo. Estes dois cenários são qualitativamente diferentes, no que diz respeito à forma como a economia e tecnologia mineira pode caminhar no futuro.

O “Cenário Referência”, ou “base de mercado”, tem características de um cenário tendencial, isto é, não considera, no período focado, maiores transformações qualitativas na trajetória produtiva mineira além daquelas já delineadas nos últimos anos. O estudo do BDMG (2002a) aponta o setor metalúrgico e siderúrgico, apenas, como os setores-chave para a promoção do crescimento regional. Segundo Medeiros (2002), a economia mineira é frágil em termos de comércio interestadual e

internacional, pois exporta *commodities* intensivas em produtos primários minerais e intermediários de baixo valor agregado, ficando fortemente sujeita a oscilações de preços (UFRJ, 2007b).

O cenário Referência pressupõe um desenvolvimento baseado no aproveitamento de vantagens comparativas estáticas (como a exploração de recursos naturais, por exemplo) e dinâmicas (aumento na competitividade, voltada para o mercado externo – internacional ou interestadual – ou para a substituição de importações), não havendo, portanto, um movimento na direção de agregar mais valor à produção mineira nem uma maior integração das cadeias produtivas dentro do Estado.

O “Cenário Alternativo”, definido na Matriz de Minas Gerais, se baseia na noção de integração das cadeias produtivas, além de um desenvolvimento mais amplo, abrangendo a redução das desigualdades sociais e regionais. Esse cenário caracteriza-se por maiores transformações qualitativas na trajetória produtiva do Estado. Dessa forma o ritmo de incorporação de progresso técnico e de alterações na estrutura produtiva em direção a segmentos de maior valor agregado e de menores coeficientes de intensidade energética e de impactos ambientais é, progressivamente, acelerado (enobrecimento da produção). Não obstante, tais mudanças só começam a se mostrar mais significativas no médio prazo (a partir de 2015), consolidando-se no longo prazo (a partir de 2020).

Nos dois cenários, o crescimento econômico agregado é igual, pois, assim, pode-se avaliar o impacto de mudanças qualitativas sobre o consumo energético do Estado de Minas Gerais. Compatibilização dos Dados Econômicos e Energéticos e Agregação no MAED

A projeção de demanda energética feita pelo modelo MAED para alguns setores se baseia em hipóteses a respeito da intensidade energética e do crescimento econômico setorial.

6.1.1 Premissas Utilizadas

Na elaboração da Matriz Energética de Minas foram adotadas algumas premissas para os dois cenários utilizados. A seguir são descritas estas premissas para o curto (2005-2010), médio (2010-2020) e longo prazo (2020-2030).

6.1.1.1 Curto Prazo (2005-2010)

Nas projeções elaboradas para a Matriz Energética, os pesquisadores não consideraram nenhuma diferença entre os dois cenários no curto-prazo (período de 2005 a 2010), pois não haveria tempo para as mudanças impulsionadas por políticas econômicas e tecnológicas surtirem efeito (UFRJ, 2007b). No curto prazo, também, são importantes os investimentos feitos no presente, logo os setores industriais que mais investiram, (totalizando um montante de R\$ 10,7 bilhões), em 2006, foram (FIEMG, 2006a):

- extrativa mineral (36,5%);
- metalurgia (24%);
- papel e celulose (11,9%);
- material de transportes (10,2%);
- produtos alimentares (5%);
- química (4,4%);
- mecânica (3,9%);
- farmacêuticos; bebidas; minerais não metálicos; têxtil; outros.

Assim, considerou-se que os setores extrativista mineral e metalúrgico, principalmente, além dos setores de papel e celulose e material de transportes devem ter um desempenho superior aos demais setores industriais.

6.1.1.2 Premissas: Médio (2010-2020) e Longo Prazo (2020-2030)

No médio prazo, os cenários começam a se distinguir em função das políticas e ações adotadas no curto prazo. A partir de 2020, as diferenças entre os dois cenários se acentuam na medida em que as políticas e ações se intensificam no médio prazo e o crescimento agregado acelera para o nível de 5% ao ano (UFRJ, 2007b).

Cenário Referência

No cenário Referência, o crescimento é alavancado pelos setores chave da economia mineira, mantendo uma estrutura concentrada, como a existente hoje no Estado.

Nesse cenário, também, se destacam as vantagens comparativas em bens primários e intermediários, fazendo com que o setor extrativista mineral (minério de ferro) e de café em grãos cresça acima da média. Juntos, esses dois setores corresponderam a cerca de 36% das exportações mineiras em 2006. Os setores siderúrgico, automóveis, de papel e celulose, também se destacam como importantes setores de exportação de Minas Gerais (UFRJ, 2007b).

Os produtos que lideram o processo de desenvolvimento são os mesmos produtos que têm se destacado na produção do Estado de Minas Gerais. Portanto, praticamente não ocorre um enobrecimento da produção e uma maior agregação de valor.

A seguir, são apresentadas resumidamente as premissas básicas para os setores mais relevantes para o desenvolvimento do Estado de Minas Gerais, que foram adotadas no desenvolvimento da Matriz Energética de Minas Gerais:

- siderurgia: setor-chave. Crescimento acima da média, com produção baseada em produtos semi-acabados (como ferro fundido, ferronióbio e billets de ferro/aço) para exportação.
- não ferrosos e outros da metalurgia: setor-chave. Crescimento acima da média, com produção baseada em produtos semi-acabados para exportação.
- indústria extrativa mineral: crescimento acima da média, com produção voltada para exportações. Manutenção do aquecimento do mercado internacional de minério de ferro.
- agropecuário: crescimento acima da média, com produção voltada para exportações (internacionais e interestaduais, principalmente para a indústria alimentícia paulista). Destaque para a exportação de café em grãos.
- papel e celulose: crescimento pouco acima da média, com produção baseada em produtos menos acabados, como celulose, para exportação.
- construção civil: crescimento pouco acima da média em função da redução do déficit habitacional e do investimento em infra-estrutura. Reversão da diminuição da importância relativa do setor. Desaceleração no longo prazo.
- minerais não metálicos: crescimento impulsionado pelo setor de Construção civil. Desaceleração no longo prazo.

- transportes: continuidade dos investimentos em infra-estrutura. Desaceleração no longo prazo.
- setor sucroalcooleiro: alto crescimento devido à crescente importância do álcool como combustível.
- setor público: ainda em processo de reestruturação e efficientização. No longo prazo o processo de reestruturação permite um crescimento pouco maior, porém ainda abaixo da média.

Cenário Alternativo

O cenário Alternativo, em médio prazo, se difere do Referência uma vez que busca o enobrecimento da produção e uma maior agregação de valor. Isso ocorre num contexto de integração produtiva, na medida em que os produtos são crescentemente elaborados ao longo da cadeia de produção. Assim, haveria uma maior agregação de valor e um maior conteúdo tecnológico da produção, com vistas ao mercado interno regional, aproveitando as sinergias dentro da estrutura produtiva (UFRJ, 2007b). Tal integração não prejudica, entretanto, o dinamismo dos setores-chave da economia mineira.

As premissas básicas para os setores mais relevantes para o desenvolvimento do Estado de Minas Gerais no cenário Alternativo utilizadas para a elaboração da Matriz são resumidas a seguir:

- indústria extrativa mineral: produção voltada para exportações desacelerase. Agregação de valor ao longo da cadeia produtiva de MG.
- siderurgia: setor-chave. Crescimento acima da média, com *mix* de produção dirigindo-se para produtos acabados. Integração ao longo da cadeia metal-mecânica.
- não ferrosos e outros da metalurgia: setor-chave. Crescimento acima da média, com produção dirigindo-se para produtos acabados. Integração ao longo da cadeia metal-mecânica.
- papel e celulose: crescimento com produção dirigindo-se para produtos mais acabados, de embalagens a papel de alta qualidade.

- construção civil: crescimento pouco acima da média em função da redução do déficit habitacional e do investimento em infra-estrutura. Reversão da diminuição da importância relativa do setor.
- minerais não metálicos: crescimento impulsionado pelo setor de Construção.
- transportes: continuidade dos investimentos em infra-estrutura, concentrados em inter/multi-modalidade.
- outros setores industriais: concentra os principais setores de expansão acelerada. Cresce bastante acima da média com a integração produtiva. Setores de destaque: máquinas e equipamentos, equipamentos eletro-eletrônicos, material de transportes, material de telecomunicações e confecções.
- bens não duráveis: cadeia agroindustrial com crescimento baseado na indústria de alimentos e bebidas. Setor têxtil com crescimento maior em pequenas e médias empresas.
- comercial e serviços: Crescimento a médio prazo impulsionado pelo ganho de dinamismo da indústria.
- setor sucroalcooleiro: alto crescimento devido à crescente importância do álcool como combustível.
- setor público: ainda em processo de reestruturação e efficientização. Em longo prazo o processo de reestruturação permite um crescimento pouco maior, porém ainda abaixo da média.

No cenário Alternativo ocorre o aumento de eficiência energética e, portanto, econômica, para os setores energo-intensivos, num ritmo maior do que o do cenário Referência, em função de um maior incentivo ao uso eficiente de energia e ao combate ao desperdício, além de investimentos em tecnologia.

6.2 Setor Industrial e Agropecuário

O setor industrial foi o de maior participação no consumo final de energia no Estado, com 58,1%, seguido do setor transportes (22,9%) e do setor residencial (13,7%), como pode ser observado na Figura 15. O setor agropecuário e de serviços (comercial e público) tiveram participações menores, 2,9% e 2,5%, respectivamente.

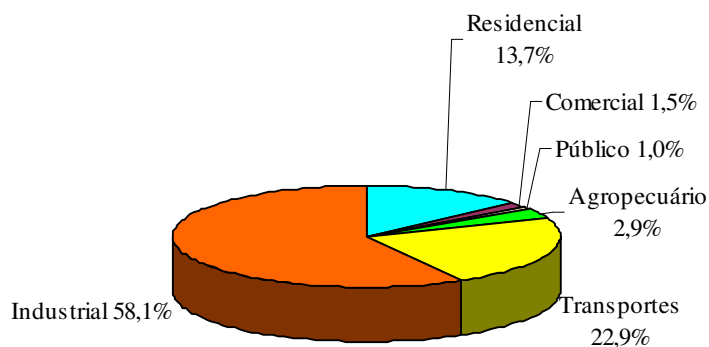


Figura 15 - Participação dos setores no consumo final energético em 2004

Fonte: BEEMG, 2005

Na Figura 16, pode-se observar a participação dos subsectores do setor industrial. Apesar de variações no período, três setores, ferro gusa e aço integrado, ferro gusa não integrado e ferroligas, foram responsáveis, em 2004, por 65,3% do consumo final energético do setor industrial, tendo mantido uma participação igual ou superior a 60% em todo o período analisado. Considerando-se a metalurgia como um todo, incluindo a mineração e pelotização, a participação do setor é de 71,6% do total.

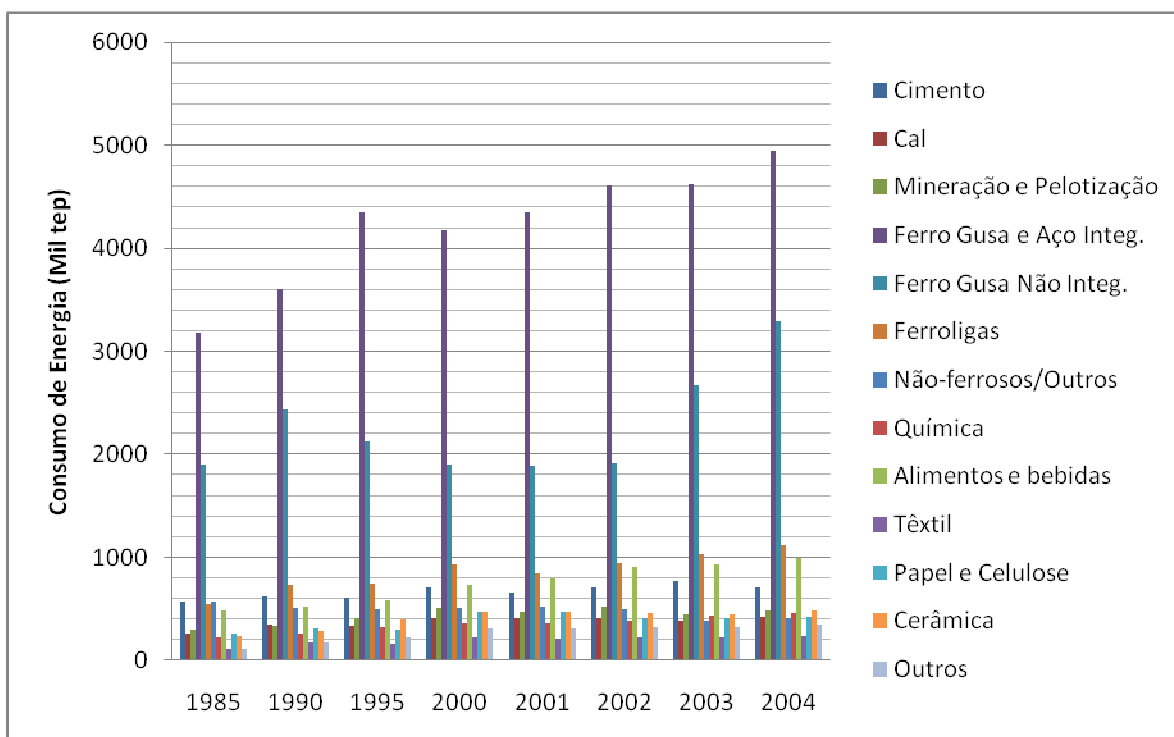


Figura 16 - Evolução do consumo final energético nos sub-setores do setor industrial no período 1985/2004 (mil tep)

Fonte: BEEMG, 2005

6.2.1 Evolução da Matriz Energética do Setor Agroindustrial

6.2.1.1 Resultados do Cenário Referência

No cenário Referência, as projeções foram realizadas mantendo-se as tendências observadas nos anos anteriores. A Tabela 21 mostra os resultados para esse cenário. Os energéticos dispostos da forma apresentada são os resultados do MESSAGE, ou seja, são a saída do modelo.

Neste cenário, chama atenção o crescimento considerável do consumo de fontes energéticas (coque de carvão vegetal, coque de carvão mineral e gás de coqueria) associadas à siderurgia, variando entre 5,7 e 7,1%. Tais fontes superam mais da metade da demanda de energia do setor em todo o período. Mesmo com o crescimento acentuado, não ocorrem significativas variações da participação das fontes no período de 2005 a 2030, exceto o gás natural, que cresce até 2020, mas tem uma redução abrupta no último período, retornando ao patamar inicial. A Figura 17 apresenta a evolução do consumo total de energia para o cenário Referência.

Tabela 21 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial Cenário Referência (mil tEP)

Fonte	2005	%	2010	%	2015	%	2020	%	2025	%	2030	%
Bagaçõ	577	4	670	4	804	4	965	3	1.203	3	1.500	3
GLP	141	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lenha	908	7	998	6	998	5	998	3	998	3	998	2
Carvão vegetal/ Coque	3.709	28	4.843	28	6.038	27	8.856	30	11.486	29	14.659	28
Carvão vegetal	0	0	417	2	0	0	190	1	0	0	0	0
Carvão mineral	804	6	1.049	6	1.553	7	1.918	7	2.804	7	4.142	8
Coque de Carvão Mineral	2.487	19	3.247	19	4.808	22	5.938	20	8.677	22	12.821	25
Gás de coqueria	394	3	621	4	919	4	1.135	4	1.659	4	2.448	5
Eletricidade (uso térmico)	361	3	361	2	361	2	361	1	361	1	361	1
Gás natural	379	3	1.266	7	2.102	9	3.107	11	3.207	8	2.821	5
Óleo combustível	768	6	0	0	0	0	0	0	1055	3	2470	5
Combustíveis para motores	714	5	878	5	1.126	5	1.475	5	1.911	5	2.477	5
Eletricidade (uso cativo)	2.164	16	2.697	16	3.436	16	4.466	15	5.813	15	7.589	15
Total	13.406	100	17.047	100	22.145	100	29.409	100	39.174	100	52.286	100

Fonte: UFRJ, 2007b

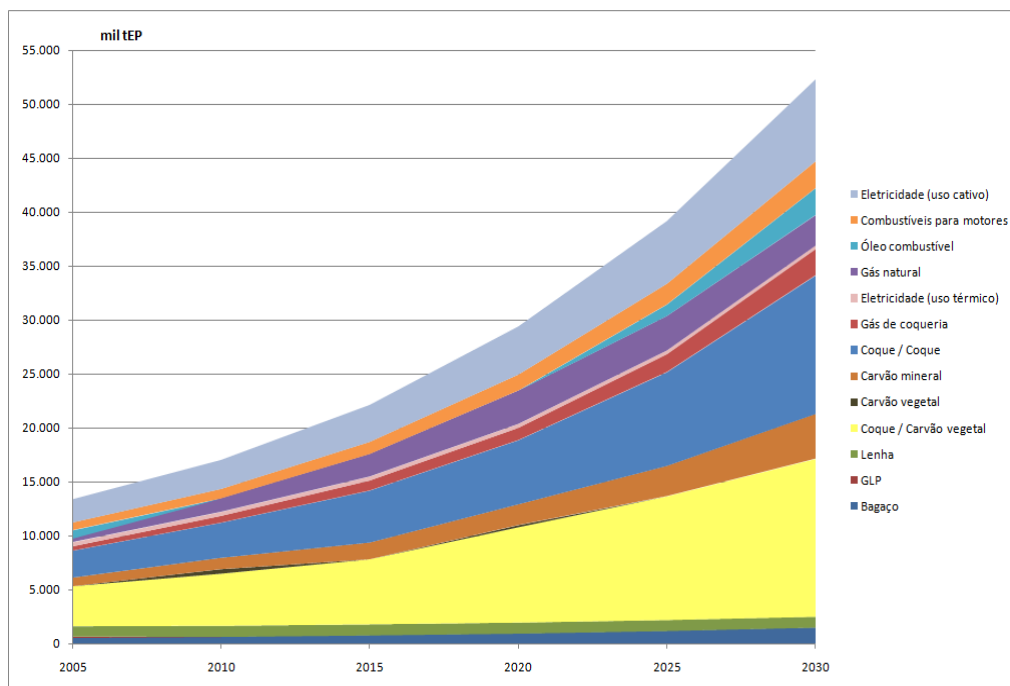


Figura 17 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial - Cenário referencial (mil tEP)

Fonte: UFRJ, 2007b

6.2.1.2 Resultados do Cenário Alternativo

A A diferença de uso final de energia do setor industrial em Minas Gerais, entre os dois cenários, chega a 8,3% em 2030, em função tanto de efeito de mudança estrutural na indústria (maior agregação de valor no cenário Alternativo), quanto em função de ganhos de eficiência energética.

Tabela 22 mostra os resultados obtidos para o cenário alternativo. Nota-se que, também nesse cenário, o gás natural tem uma grande importância no setor, tendo seu crescimento gradativo até o ano de 2030.

Assim como no cenário Referência, o Alternativo também indica uma evolução acentuada do consumo de energia de fontes renováveis, principalmente bagaço e coque de carvão vegetal. Neste cenário, o aumento do consumo de coque de carvão mineral não é tão intenso como no cenário Base. Merece destaque ainda a evolução do consumo de gás natural e gás de coqueria, que ao final do período tem um aumento da participação no consumo do setor, assim como o coque de carvão vegetal.

A Figura 18 mostra a evolução do consumo total de energia para o cenário Alternativo, onde se nota, assim como no cenário Referência, o grande crescimento do coque, carvão vegetal e mineral o que acompanha o crescimento do setor siderúrgico.

A diferença de uso final de energia do setor industrial em Minas Gerais, entre os dois cenários, chega a 8,3% em 2030, em função tanto de efeito de mudança estrutural na indústria (maior agregação de valor no cenário Alternativo), quanto em função de ganhos de eficiência energética.

Tabela 22 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial - Cenário alternativo (mil tEP)

	2005	%	2010	%	2015	%	2020	%	2025	%	2030	%
Bagaçõ	577	4	670	4	843	4	1.061	4	1.360	4	1.744	4
GLP	141	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lenha	908	7	998	6	998	5	998	4	998	3	998	2
Carvão vegetal/ Coque	3.709	28	4.843	29	6.038	28	8.397	30	11.103	31	14.659	31
Carvão vegetal	0	0	417	2	0	0	803	3	510	1	0	0
Carvão mineral	804	6	1.049	6	1.553	7	1.918	7	2.804	8	4.142	9
Coque de Carvão Mineral	2.487	19	3.247	19	4.540	21	5.629	20	7.443	21	9.863	21
Gás de coqueria	388	3	621	4	919	4	1.135	4	1.659	5	2.448	5
Eletricidade (uso térmico)	361	3	361	2	361	2	361	1	361	1	361	1
Gás natural	379	3	1.249	7	1.995	9	2.241	8	3.095	9	3.641	8
Óleo combustível	768	6	0	0	0	0	0	0	0	0	392	1
Combustíveis para motores	713	5	869	5	1.060	5	1.312	5	1.623	4	2.008	4
Eletricidade (uso cativo)	2.130	16	2.657	16	3.310	15	4.162	15	5.254	15	6.649	14
Total	13.365	100	16.981	100	21.617	100	28.017	100	36.210	100	46.905	100

Fonte: UFRJ, 2007b

Comparando os dois cenários observa-se também um aumento da participação do coque de carvão vegetal, do Referência para o Alternativo (28% para 31%) e uma redução do consumo de coque de carvão mineral (25% para 21%) ao final do período analisado. No cenário Alternativo também tem um consumo relativo maior de gás natural em 2030, sendo que no período de 2015 a 2025 no cenário Base o consumo é superior.

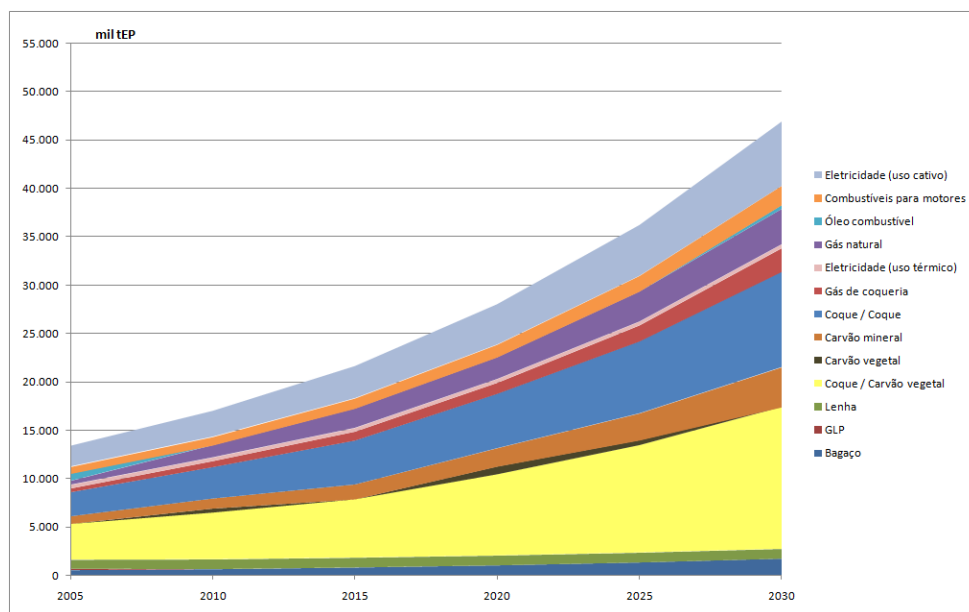


Figura 18 – Evolução do consumo total de energia para os setores agropecuário e industrial - Cenário alternativo (mil tEP)

Fonte: UFRJ, 2007b

6.3 Setor de Transportes

O estado de Minas Gerais tem uma grande importância para o sistema de transportes do país como um todo em virtude de ser um corredor de transportes, conectando as diferentes regiões do país e garantindo um fluxo de bens e mercadorias, e de passageiros (BDMG, 2002).

O setor de transportes é um dos maiores usuários de energia no estado de Minas Gerais, sendo responsável por cerca de 18% do consumo total de energia, em 2004. Sendo que, em relação ao consumo de derivados de petróleo e de gás natural, o setor ganha maior relevância respondendo por 53%, ou 5.099 mil tep, do consumo total, mostrando dessa forma, a grande concentração de derivados de petróleo, como principal fonte energética neste setor, como mostra a Figura 19.

Como pode ser visto, há uma forte participação do diesel na matriz energética mineira e uma queda na do álcool etílico apesar da introdução dos carros flex-fuel no mercado nacional a partir de 2003.

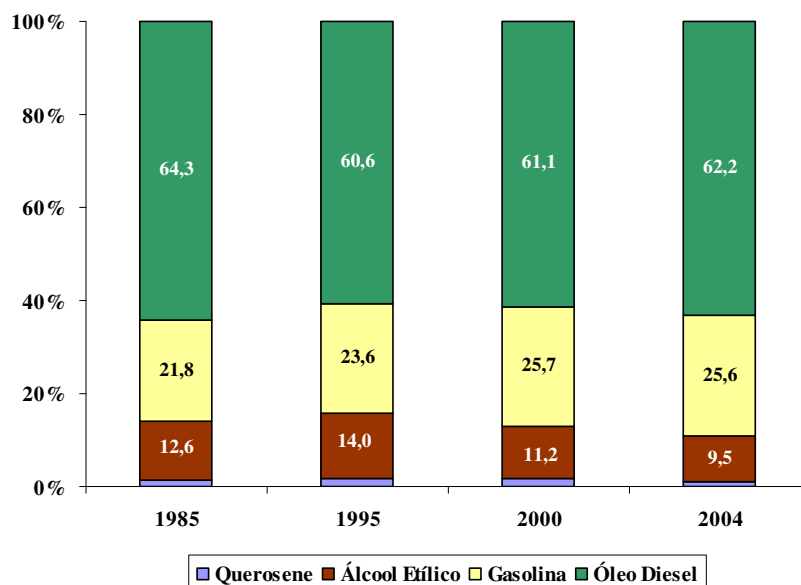


Figura 19 – Estrutura do Uso de Energia Final no Setor Transporte Mineiro

Fonte: CEMIG, 2005.

6.3.1 Projeção da Demanda do Setor de Transportes

Assim como a matriz de transportes brasileira, a mineira tem o predomínio do modal rodoviário e baixa participação do modal ferroviário. O desenvolvimento de sua infraestrutura de transportes beneficia a economia como um todo na medida em que aumenta a eficiência na circulação de bens e pessoas, favorecendo uma redução dos custos de transportes (UFRJ, 2007b).

A Tabela 23 e a Tabela 24 mostram a demanda por energia final do setor de transportes para cada cenário de acordo com os resultados finais da simulação do MESSAGE, realizada pela equipe da UNIFEI e da COPPE/UFRJ. Como pode ser visto no cenário Alternativo o consumo de energia final no setor quando comparado ao consumo do cenário Referência é, em média, 21% menor entre 2015-2030.

Tabela 23 – Consumo Final de Energia do Setor de Transportes no Cenário Referência (10³ tEP)

	2010	2015	2020	2025	2030
Combustível de Motor	7.898	9.727	12.057	15.218	19.071
Veículos Leves	2.850	3.479	4.301	5.336	6.647
GNV	99	117	138	165	201
Diesel	214	253	301	364	444
Gsolina	1.756	1.562	1.201	888	717
Álcool	202	171	116	67	35
Flex-Fuel - Álcool	-	583	1.334	1.631	1.884
Flex-Fuel - Gasolina	579	792	1.211	2.222	3.366
Ônibus	214	253	301	364	444
Caminhão	4.545	5.624	6.978	8.808	11.169
Avião	110	137	171	214	270
Trem	178	234	306	407	541
Eletricidade	3	4	6	9	15
Metrô	3	4	6	9	15
Total	7.901	9.730	12.063	15.138	19.086

Fonte: UFRJ, 2007b.

Tabela 24 – Consumo Final de Energia do Setor de Transportes no Cenário Alternativo (10³ tEP)

	2010	2015	2020	2025	2030
Combustível de Motor	7.886	8.735	9.843	11.141	13.137
Veículos Leves	2.840	2.865	2.705	2.671	2.654
GNV	98	91	80	77	74
Diesel	212	198	177	169	165
Gsolina	1.747	1.234	711	416	268
Álcool	199	134	68	31	13
Flex-Fuel - Álcool	-	798	1.485	1.796	1.952
Flex-Fuel - Gasolina	585	409	183	183	183
Ônibus	212	198	177	169	165
Caminhão	4.545	5.300	6.502	7.690	9.549
Avião	110	129	152	180	214
Trem	178	243	306	431	554
Eletricidade	3	7	15	37	92
Metrô	3	7	15	37	92
Total	7.889	8.742	9.858	11.179	13.229

Fonte: UFRJ, 2007b.

6.3.2 Evolução da Matriz Energética do Setor de Transportes

6.3.2.1 Cenário Referência

A Figura 20 apresenta a evolução do consumo de energia dos derivados de petróleo e gás natural, álcool, biodiesel e eletricidade, no setor de transportes mineiro.

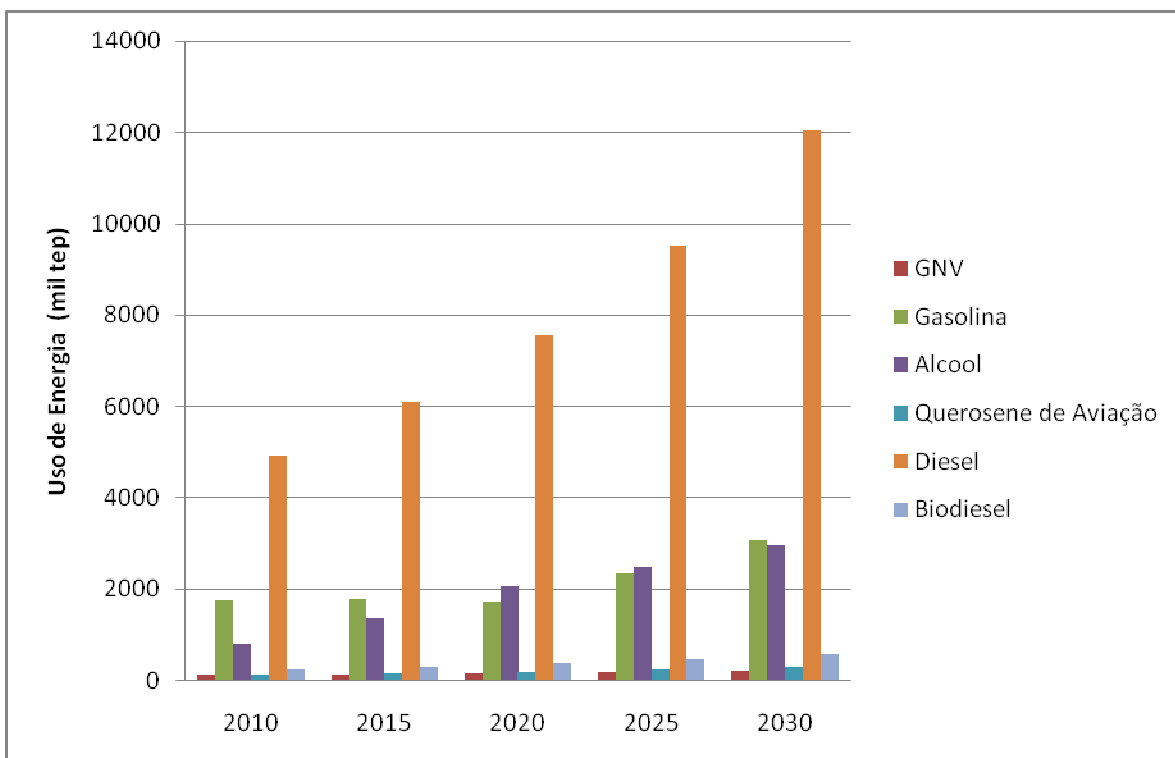


Figura 20 - Projeções de Uso de Energia pelo Setor Transportes no Cenário Referência (mil tEP), 2010-2030

Fonte: Matriz Energética de Minas Gerais - 2007 - 2030.

Pode-se observar uma redução da participação de mercado da gasolina de, aproximadamente, 22%, em 2005, para 16%, em 2030, e um aumento da participação do álcool hidratado de 3% para 10%, no mesmo período, em virtude da entrada dos carros *flex-fuel*. As participações dos demais combustíveis sofrem pouca ou nenhuma alteração.

6.3.2.2 Cenário Alternativo

A Figura 21, apresenta a evolução do consumo de derivados de petróleo e gás natural, álcool e eletricidade, no setor de transportes mineiro para o caso do cenário alternativo.

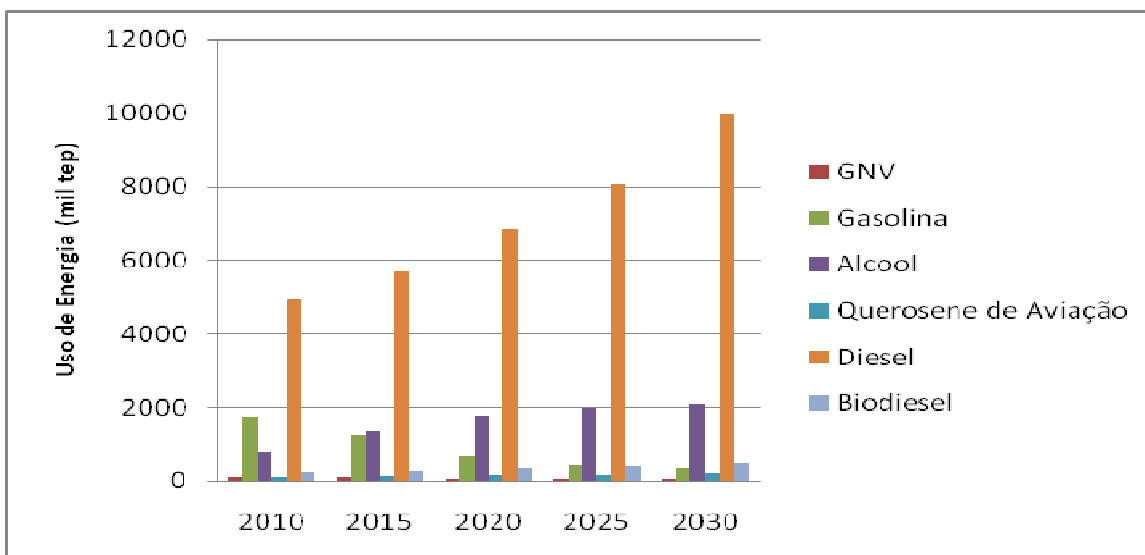


Figura 21 – Projeções de uso de energia pelo setor transportes no cenário Alternativo (mil tep), 2010-2030

Fonte: UFRJ, 2007b.

Verifica-se um menor consumo de todas as fontes, quando comparado ao cenário Referência, com exceção do álcool hidratado. No período entre 2015-2030 o consumo energético é 21% menor, em média, quando comparado ao cenário Referência. Entre os derivados de petróleo, a gasolina possui a maior redução, em média, 66%. O álcool hidratado, por sua vez, tem um aumento de 10%, em média. Com relação ao diesel, seu consumo energético reduz-se em 12%, em média, quando comparado ao cenário Base. No entanto, permanece como a maior fonte energética consumida no setor de transportes com uma participação média de 68% em todo o período, 2005-2030.

6.4 Setor de Serviços

O uso da energia e o crescimento econômico sempre estiveram fortemente inter-relacionados, já que a expansão das atividades econômicas impõe uma maior demanda de energia. Do mesmo modo, as atividades no setor serviços, de grande relevância social e econômica, possuem forte relação com essa demanda. Contudo, não obstante sua importância econômica, respondendo atualmente pela maior parcela no PIB estadual e apresentando a maior taxa de crescimento na demanda de mão-de-obra, o setor de serviços é responsável por 15% da demanda de energia elétrica do Estado. Isso torna as projeções de sua demanda, essenciais para a elaboração da matriz energética futura mais adequada às necessidades estaduais (BEEMG, 2005).

O setor de serviços agrega os setores público e o comercial no Estado de Minas Gerais. Uma característica fundamental desse setor é sua forte relação com o setor industrial e com o agropecuário, além da grande dependência de eletricidade.

6.4.1 Consumo de Energia no Setor Serviços

A Tabela 25 e a Figura 22 mostram a evolução do consumo de energia no setor comercial, no período 1985/2004, quando apresentou um crescimento de 161%, superior aos vários dos subsetores do industrial. O principal energético consumido em todo o período foi a eletricidade que participou em 2004 com 88% do total. Seu crescimento, no mesmo período foi de 188%. Os demais energéticos, com participações significativamente menores, foram: GLP (5,5%), lenha (2,7%), óleo combustível (2,5%) e carvão vegetal (1,1%).

Tabela 25 – Evolução do consumo final energético no setor comercial (mil tEP)

Fonte de energia	1985	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Lenha	8	7	9	10	10	10	10	10
Óleo Diesel	1	-	-	-	-	-	-	-
Óleo combustível	9	9	10	9	9	9	9	9
Gás liquefeito de petróleo	8	9	11	15	21	19	20	20
Eletricidade	112	152	217	326	297	299	310	322
Carvão vegetal	2	2	3	4	4	4	4	4
Total	140	179	250	364	341	341	353	365

Fonte: BEEMG 2005 – CEMIG

O GLP, o óleo combustível e a lenha têm seu consumo localizado particularmente no setor comercial. A eletricidade, de notável importância para o setor serviços, é empregada essencialmente para iluminação e força motriz.

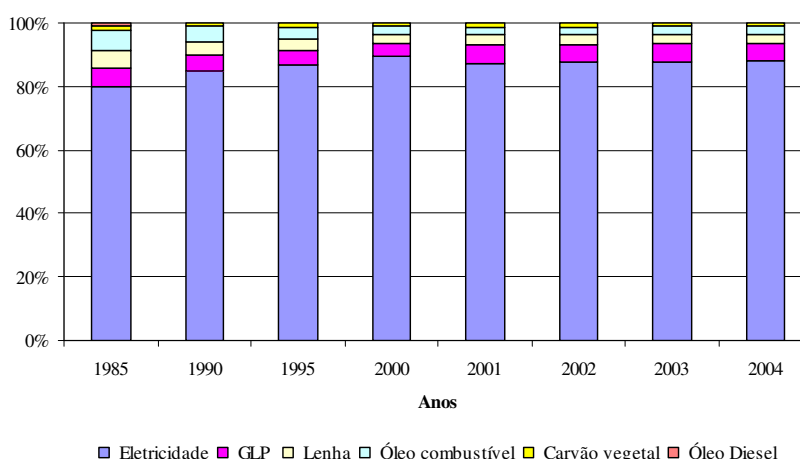


Figura 22 – Evolução do consumo final energético do setor comercial (%)

Fonte: BEEMG, 2005

6.4.2 Evolução do Consumo Total de Energia no Setor Serviços

6.4.2.1 Cenário Referência

Os resultados da simulação de demanda de energia realizada na elaboração da Matriz pela COPPE/UFRJ e UNIFEI para o cenário Referência estão representados na Tabela 26, os combustíveis de uso térmico como lenha e GLP são substituídos pela eletricidade. O uso cativo de eletricidade no cenário referência é crescente, representando cerca de 88,6% da demanda em 2030. Seu crescimento até 2030 é de 186,2%.

Tabela 26 – Consumo total de energia no setor serviços para o cenário referência (mil tEP).

Anos	Eletricidade (uso térmico)	Gás Natural	Óleo combustível	Diesel	Eletricidade (uso cativo)
2005	75	0	48	48	731
2010	82	17	48	48	846
2015	87	20	56	56	998
2020	91	20	62	62	1277
2025	96	21	67	67	1637
2030	98	22	74	74	2092

Fonte: UFRJ, 2007b

6.4.2.2 Cenário Alternativo

No cenário alternativo, como mostrado na Tabela 27, observa-se que a eletricidade para fins cativos cresce 84,1%, bem menos que no cenário Referência. Já para fins térmicos, a quantidade permanece a mesma ao longo do período em estudo. Nota-se para esse cenário que há a introdução do carvão vegetal, diferentemente do cenário Referência.

Tabela 27 – Consumo total de energia no setor serviços para o cenário alternativo (mil tEP).

Anos	Eletricidade (uso térmico)	Gás natural	Óleo combustível	Diesel	Carvão Vegetal	Eletricidade (uso cativo)
2005	75	-	48	48	68	812
2010	82	18	48	48	68	834
2015	87	27	56	56	98	883
2020	91	28	62	62	98	1.003
2025	96	31	67	67	128	1.213
2030	98	33	74	74	128	1.495

Fonte: UFRJ, 2007b

6.5 Setor de Residencial

De acordo com a Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios (PNAD) elaborada pelo IBGE (IBGE, 2007), no ano de 2004, Minas Gerais possuía 19.038.693 habitantes, dos quais cerca de 85% residiam em áreas urbanas. A população mineira cresceu 15% entre 1995 e 2004, apresentando um crescimento médio de 1,68% a.a., passando de cerca de 16 milhões para aproximadamente 19 milhões de habitantes, como pode ser visto na Tabela 28.

Tabela 28 – População e domicílios em Minas Gerais – 1995 e 2004

	TOTAL		Urbana		Rural	
	1995	2004	1995	2004	1995	2004
População	16.532.189	19.038.693	12.571.388	16.165.975	3.983.500	2.872.718
[%]	100	100	76,0	84,9	24	15,1
Domicílios	4.213.684	5.477.313	3.262.570	4.690.906	951.114	786.407
[%]	100	100	77,4	85,6	29,2	14,4
Morad./Domic.	3,92	3,48	3,85	3,45	4,19	3,65

Fonte: IBGE - PNAD.

No que se refere ao acesso aos serviços básicos, verifica-se que o abastecimento de água em Minas Gerais, de acordo com a PNAD 2004 (IBGE, 2004), atendeu a 85% dos domicílios no ano de 2004. Quanto à coleta de lixo, cerca de 85% dos domicílios foram atendidos por este serviço. No item rede de esgotos, apenas 75% dos lares mineiros contavam com esgotamento sanitário no ano de 2004. (IBGE, 2007). Por outro lado, a iluminação elétrica mostrou-se bastante abrangente, atingindo 98% dos domicílios mineiros, ou seja, mais de cinco milhões de domicílios foram atendidos pelo serviço de eletricidade naquele ano. Nos domicílios urbanos, a taxa de atendimento atingiu 99,5%, ao passo que nas áreas rurais o número de domicílios atendidos foi de 88% (IBGE, 2007).

A evolução do consumo final de energia no setor residencial mineiro e a participação das fontes no consumo final residencial são apresentadas nas Tabela 29 e Tabela 30.

Tabela 29 – Evolução do consumo final de energia no setor residencial por fonte – MG (10³ tEP)

Fonte de energia / ano	1980	1985	1990	1995	2000	2003	2004
Lenha	2676	2354	2141	2068	2188	2166	1949
Outras fontes primárias	70	59	51	47	58	52	48
GLP	348	419	498	618	644	702	764
Querosene	27	18	14	11	7	5	3
Eletricidade	173	248	376	533	695	599	599
Carvão vegetal	11	13	14	16	16	17	17
Total	3305	3111	3094	3293	3608	3541	3380

Fonte: Balanço Energético de Minas Gerais (2004).

A participação do setor residencial no consumo final energético é significativa, embora ocorra uma redução gradual ao longo do tempo, em termos percentuais, em relação aos demais setores. Em 1970, seu consumo foi de 3.300×10^3 tEP, correspondendo a 18% do consumo final energético e, em 2004, apresentou um consumo de 3.380×10^3 tEP, com 11% na participação global (BEEMG, 2004).

Tabela 30 – Participação das fontes no consumo final do setor residencial – MG (%)

Fonte de energia / ano	1980	1985	1990	1995	2000	2003	2004
Lenha	80,97	75,67	69,20	62,80	60,64	61,17	57,66
Outras fontes primárias	2,12	1,90	1,65	1,43	1,61	1,47	1,42
GLP	10,53	13,47	16,10	18,77	17,85	19,82	22,60
Querosene	0,82	0,58	0,45	0,33	0,19	0,14	0,09
Eletricidade	5,23	7,97	12,15	16,19	19,26	16,92	17,72
Carvão vegetal	0,33	0,42	0,45	0,49	0,44	0,48	0,50
Total	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Balanço Energético de Minas Gerais (2004).

O crescimento do consumo residencial de energia está intimamente relacionado com a estabilidade da economia do país, ocasionando um expressivo incremento na aquisição de equipamentos eletroeletrônicos, o que fez com que o consumo residencial de eletricidade passasse de 468×10^3 tEP em 1994 para 695×10^3 tEP em 2000, um aumento de mais de 48% nestes 6 anos (BEEMG, 2004).

6.5.1 Consumo de Energia no Setor Residencial

De acordo com o Balanço Energético de Minas Gerais, o consumo de energia final por fonte para o setor residencial, em 2004, apresenta-se segundo a Tabela 31.

Tabela 31 – Consumo de Energia por Fonte no Setor Residencial (10^3 tEP)

Lenha	Outras Fontes Primárias	GLP	Querosene	Eletricidade	Carvão Vegetal	Solar	TOTAL
1949	48	764	3	599	17	11	3391

Fonte: UFRJ, 2007b

A previsão do consumo total de energia do setor residencial de Minas Gerais até o ano de 2030 é apresentado na Tabela 32.

Tabela 32 – Evolução do consumo energético total do setor residencial nos dois cenários projetados – Minas Gerais: 2005/2030 (10³ tEP)

Ano	Cenário Referência	Cenário Alternativo
2005	3483	3433
2010	3414	2589
2015	3011	2236
2020	3413	2518
2025	3030	2686
2030	3408	3004

Fonte: UFRJ, 2007b

Como pode ser observado, o consumo total de energia do setor residencial mineiro no cenário Base de Mercado se mantém praticamente estável, atingindo em 2030 3.408 mil tep. No cenário Alternativo, o consumo total de energia do setor residencial mineiro atinge 3.004 mil tep em 2030 (UFRJ, 2007b). De fato, por incorporar premissas que levam em conta uma maior eficiência energética e o uso racional dos recursos públicos, o consumo total energético no cenário Alternativo ao final do período apresenta-se cerca de 12% inferior ao do cenário Referência, como mostra a Figura 23.

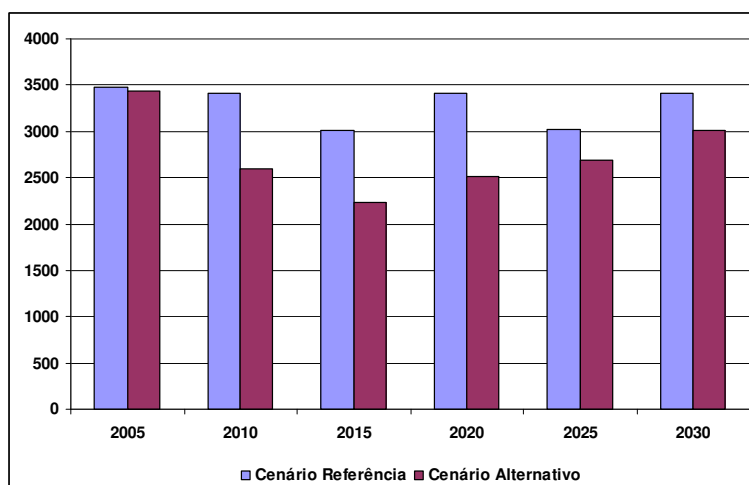


Figura 23 – Evolução do consumo energético total do setor residencial nos dois cenários projetados – Minas Gerais: 2005/2030 (10³ tEP)

Fonte: UFRJ, 2007b

A Tabela 33 e a Tabela 34 apresentam a evolução do consumo residencial de energia por fontes, para os dois cenários considerados.

O consumo residencial de GLP apresenta aumento significativo em ambos os cenários no período 2005/2030. A taxa média de crescimento no cenário Referência chega a 3.5% a.a.. E consumo de eletricidade no setor residencial no período 2005/2030

crece a uma taxa de 3,68% a.a. no cenário Referência e 3,65% a.a. no cenário Alternativo.

Tabela 33 – Evolução do consumo energético do setor residencial mineiro por fonte – Cenário Referência: 2005/2030 (10³ tEP)

Fonte	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Eletricidade	604	760	932	1093	1278	1493
Solar	12	19	25	29	34	38
Gás Natural	0	24	26	28	30	32
GLP	772	931	1008	1162	1282	1402
Lenha	2092	1681	1020	1101	408	443
Querosene	2	0	0	0	0	0
TOTAL	3483	3414	3011	3413	3030	3408

Fonte: UFRJ, 2007b

Tabela 34 – Evolução do consumo energético do setor residencial mineiro por fonte – Cenário Alternativo: 2005/2030 (10³ tEP)

Fonte	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Eletricidade	554	698	849	996	1164	1361
Solar	13	26	40	54	69	83
Gás Natural	0	42	57	61	65	69
GLP	772	931	1064	1161	1270	1390
Lenha	2092	893	225	245	118	101
Querosene	2	0	0	0	0	0
TOTAL	3433	2589	2236	2518	2686	3004

Fonte: UFRJ, 2007b

6.6 Oferta de Energia Elétrica no Estado de Minas Gerais

O Estado de Minas Gerais possui uma capacidade instalada de geração de cerca de 12,3 GW, considerando 50% da capacidade das usinas hidrelétricas de fronteira, o que corresponde a 12% do total nacional (ANEEL, 2007b). A geração de energia elétrica no Estado em 2005 foi de 53,4 GWh, representando 13,3% da geração no país. Foi o terceiro Estado que mais gerou eletricidade, superado apenas por Paraná e São Paulo (BEN, 2006). A Tabela 35, apresenta um resumo da capacidade instalada no Estado.

A composição do parque gerador de Minas Gerais é majoritariamente renovável. A geração hidráulica é predominante no Estado, representando quase 92,5% da capacidade instalada mineira (11.411 MW), sendo a grande maioria referente a usinas hidrelétricas de grande porte (capacidade instalada acima de 300 MW).

A capacidade de geração a diesel no Estado corresponde a apenas 0,04% do total, sendo, basicamente, uma capacidade instalada autoprodutora emergencial, em algumas indústrias e em aeroportos.

Tabela 35 – Capacidade Instalada no Estado de Minas Gerais em 2007: Resumo

Tipo		Número de Usinas	MW	%
Hidrelétrica ⁽¹⁾	PCH	132	546,9	4,43%
	Média	17	1.741,4	14,11%
	Grande	17	9.123,1	73,92%
Gás	Natural	4	334,3	2,71%
	Processo ⁽²⁾	9	186,4	1,51%
Petróleo	Óleo Diesel	17	7,5	0,06%
	Óleo Combustível	1	131,0	1,06%
Biomassa	Bagaço de Cana	14	169,5	1,37%
	Licor Negro	1	100,0	0,81%
Eólica		1	1,0	0,01%
Total		213	12.341,1	100%

(1) Grande (>300MW); Média (30 a 300 MW); PCH (<30 MW)

(2) Gás de processo + gás de alto forno + enxofre

Nota: Considerou-se apenas 50% do potencial das usinas de fronteira.

Fonte: ANEEL, 2007a

O principal consumidor de energia elétrica no Estado de Minas Gerais é o setor industrial, que utiliza 62% da energia elétrica faturada no Estado. A forte presença de indústrias pesadas em Minas Gerais faz com que o setor industrial mineiro seja mais intensivo em energia elétrica do que a média nacional. Enquanto a indústria mineira responde por 8,4% do valor da produção industrial nacional (IBGE, 2004), o consumo de energia elétrica no setor industrial de Minas Gerais foi 17,1% do consumo de eletricidade da indústria brasileira (FJP, 2005). O setor residencial é responsável por 17,2% do consumo de energia elétrica no estado, enquanto os demais setores (comercial e outros) correspondem aos 20,9% restantes, como mostra a Figura 24.

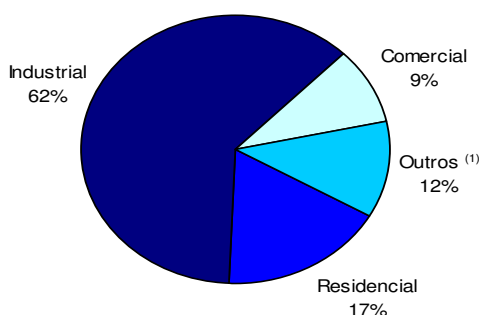


Figura 24 - Energia Elétrica Faturada, Segundo Classes de Atividade

Fonte: FJP (2005)

⁽¹⁾ Inclui o consumo rural, iluminação pública, setor público e consumo próprio.

6.6.1 Expansão da Oferta de Energia Elétrica

6.6.1.1 Cenário Referência

No cenário Referência, a demanda por energia elétrica no Estado de Minas Gerais cresce ao longo de todo o período a uma taxa média anual de 4,09%. No mesmo período, no entanto, a geração total de energia dentro do Estado cresce a uma taxa menor, de 3,30%, sendo a diferença importada do restante do país. No período 2025-2030, o acréscimo de demanda é quase integralmente atendido por importação, havendo pouco acréscimo de geração de energia elétrica dentro do Estado. Portanto, Minas Gerais passa de um exportador líquido para um importador líquido de energia elétrica no final do período de análise, importando cerca de 17% da eletricidade consumida. Na Figura 25 pode-se observar a demanda de eletricidade por setor.

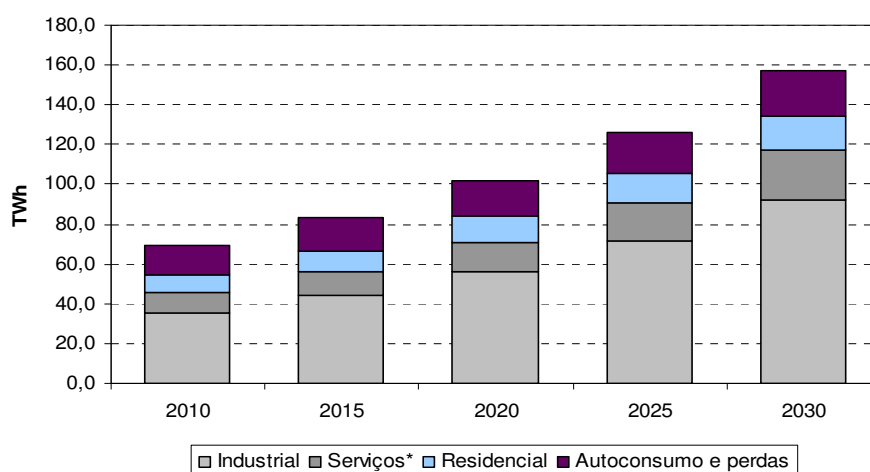


Figura 25 – Demanda de Energia Elétrica por Setor – Cenário Referência

* Inclui o setor de transportes

Fonte: UFRJ, 2007b

Na Tabela 36 observa-se a evolução da capacidade instalada no Estado, por fonte.

A capacidade de geração instalada no Estado de Minas Gerais alcança um total de 23,8 GW gerando cerca de 130 TWh em 2030. Na evolução da capacidade instalada no Estado de Minas Gerais para o cenário Referência, as fontes renováveis de geração de energia elétrica continuarão sendo predominantes em Minas Gerais. Porém, elas perdem espaço para as não renováveis ao longo do período.

Tabela 36 – Evolução da Capacidade Instalada em Minas Gerais (MW) – Cenário Referência

Renováveis										
	Hidrelétricas			Bagaço de Cana			Lixívia	RSU	Eólica	TOTAL
	Grande	Médias	PCH	CP 22 bar	CP 42 bar	CEST				
2010	9123	2994,9	547,0	170,0	79,5	0,0	121,6	245,0	1,0	13282
2015	9741	3761,0	1774,8	170,0	203,3	0,0	161,1	258,0	1,0	15452
2020	9741	3761,0	3126,7	170,0	203,3	1602,3	211,4	270,0	1,0	18469
2025	9741	3761,0	3624,0	170,0	203,3	1788,0	275,5	281,0	50,0	19276
2030	9741	3761,0	3624,0	136,0	203,3	1981,5	357,5	293,0	50,0	19529

Não Renováveis						
	Óleo Combustível	Cogeração	Coquerias	Gás Natural		TOTAL
				Ciclo Aberto	Ciclo Combinado	
2010	131,0		246,3	334,0	0,0	711,3
2015	131,0		314,4	334,0	0,0	779,4
2020	131,0		401,2	334,0	0,0	866,2
2025	1000,0		512,1	334,0	1500,0	3346,1
2030	1000,0		653,6	500,0	1500,0	3653,6

Fonte: UFRJ, 2007b

O potencial hidrelétrico mineiro atinge seu limite no ano de 2025, como se nota na Figura 26

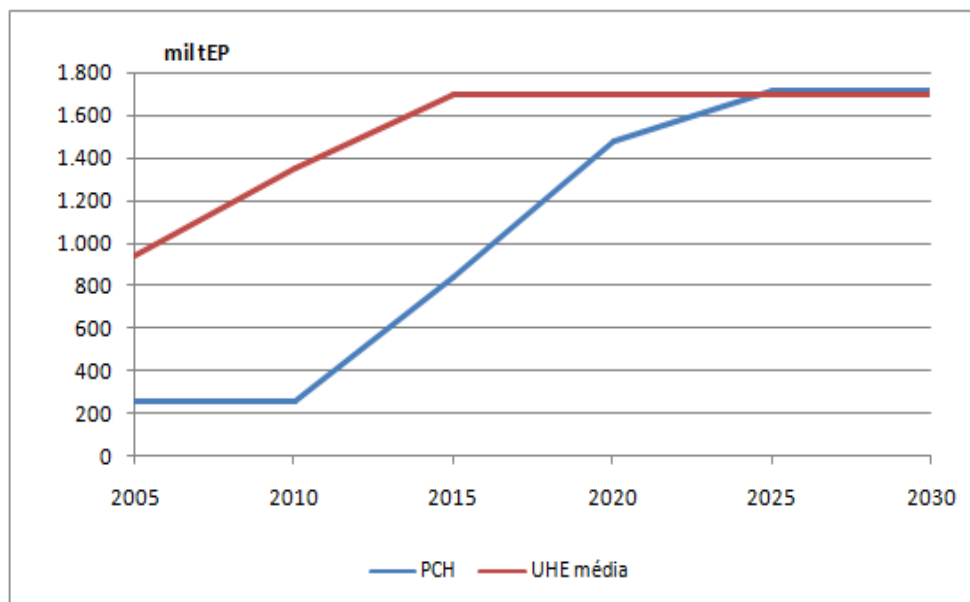


Figura 26 – Evolução da geração de energia elétrica a partir de PCH e UHE média - Cenário referência

Fonte: UFRJ, 2007b

6.6.1.2 Cenário Alternativo

Ao longo do período de análise, no cenário Alternativo, a demanda por energia elétrica no Estado de Minas Gerais cresce a uma taxa média anual de 3,81%, enquanto a geração cresce a 3,43%. Portanto, assim como no cenário Referência, o Estado de Minas Gerais chega em 2030 como um importador líquido de energia elétrica, sendo 8,7% da sua demanda atendida por importação. Na Figura 27 é apresentada a demanda de eletricidade por setor.

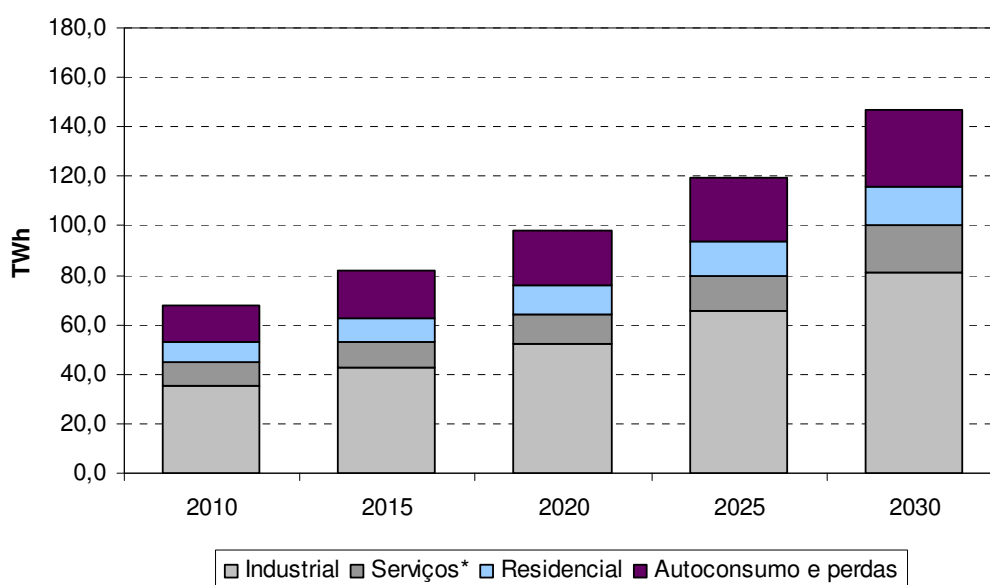


Figura 27 – Demanda de Energia Elétrica por Setor – Cenário Alternativo

* Inclui o setor de transportes

Fonte: UFRJ, 2007b

A composição das fontes (Tabela 37) é basicamente a mesma nos dois cenários. Porém, a cogeração a bagaço de cana é maior devido a uma maior disponibilidade de bagaço resultante de uma maior produção de etanol no cenário Alternativo. Isso, associado a um menor crescimento da demanda neste cenário, desacelera um pouco o esgotamento do potencial hidrelétrico do Estado.

Diferentemente do que ocorre no cenário Referência, no cenário Alternativo não ocorre o deslocamento do gás natural para a geração de energia elétrica. Este energético é usado predominantemente no setor industrial. Deste modo, com uma maior produção de álcool no cenário alternativo, a maior disponibilidade de bagaço faz com que seja necessário um menor incremento de geração a gás natural (em termos relativos e absolutos) ao final do período de análise, deixando-o livre para uso em outros setores.

Também não é necessário o incremento de geração a óleo combustível antes de 2030 (UFRJ, 2007b).

Tabela 37 – Evolução da Capacidade Instalada em Minas Gerais (MW) – Cenário Alternativo

Renováveis										
	Hidrelétricas			Bagaço de Cana			Lixívia	RSU	Eólica	TOTAL
	Grande	Médias	PCH	CP 22 bar	CP 42 bar	CEST				
2010	9123	2761,1	547,0	170,0	108,1	0,0	121,6	245,0	1,0	13077
2015	9741	3761,0	1332,1	170,0	280,2	0,0	161,1	258,0	1,0	15086
2020	9741	3761,0	1699,4	170,0	280,2	2184,1	211,4	270,0	1,0	17700
2025	9741	3761,0	3624,0	170,0	280,2	2575,0	275,5	281,0	50,0	20140
2030	9741	3761,0	3624,0	136,0	280,2	2953,0	357,5	293,0	50,0	20578
Não Renováveis										
	Óleo Combustível	Cogeração		Gás Natural		TOTAL				
		Coquerias		Ciclo Aberto	Ciclo Combinado					
2010	131,0	246,3		334,0	0,0	711,3				
2015	131,0	314,4		334,0	0,0	779,4				
2020	131,0	401,2		334,0	0,0	866,2				
2025	131,0	512,1		334,0	739,5	1716,6				
2030	1000,0	653,6		334,0	1249,3	3236,9				

Fonte: UFRJ, 2007b

Assim, no cenário Alternativo, Minas Gerais chega em 2030 com uma capacidade instalada de 24,4 GW. Esses números são pouco maiores que os do cenário Referência em função da maior capacidade instalada de geração a bagaço. Essa capacidade compensa a menor geração a gás natural e óleo combustível, assim como diminui a necessidade de importação de energia elétrica de outros Estados.

Outro fator que também ocorre nesse cenário é o esgotamento do potencial hidrelétrico no Estado, o qual segue a mesma tendência do cenário anterior com característica de evolução um pouco distinta. A Figura 28 apresenta tal característica.

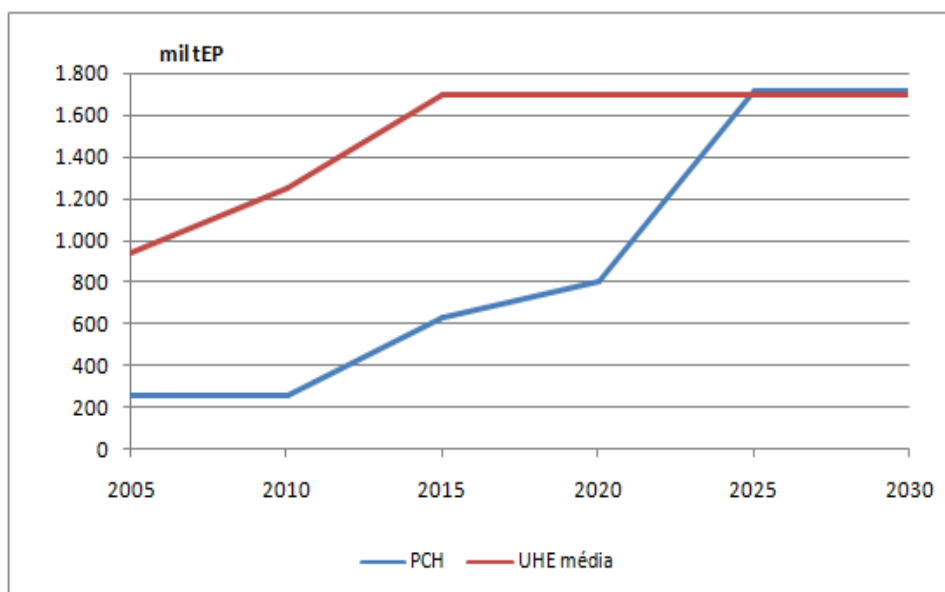


Figura 28 - Evolução da geração de energia elétrica a partir de PCH e UHE média - Cenário alternativo

Fonte: UFRJ, 2007b

Neste capítulo foram apresentados os resultados de demanda e oferta de energia da Matriz Energética de Minas dos setores agroindustrial, transportes, serviços e residencial para o período de 2005 a 2030 em dois cenários distintos: o de Referência, que mantém as tendências atuais e o Alternativo, que incorpora características de maior eficiência energética e progressos tecnológicos, além de uma maior agregação de valor na cadeia produtiva.

O setor Agroindustrial é o de maior participação no consumo de energia no Estado, seguido pelo setor de transportes, residencial e de serviços, respectivamente. A indústria mineira consome grandes quantidades de combustíveis oriundos de fontes alternativas, principalmente bagaço de cana-de-açúcar e coque de carvão vegetal, mas também é grande consumidor de coque de carvão mineral, devido ao parque industrial possuir diversas empresas de ferroligas e ferro gusa. O cenário Referência mostra um consumo 8,3% maior de energia comparado com o Alternativo, em 2030.

Por ter o modal rodoviário como o principal meio de transporte em Minas Gerais, este setor tem como característica o intenso consumo de combustíveis derivados de petróleo, especialmente o óleo diesel. O consumo de combustíveis no cenário Alternativo é 21% menor que o de Referência, ao final do período analisado.

Já o setor de Serviços tem como principal fonte energética a eletricidade, devido principalmente ao uso de ar condicionado. E esta tendência não deve ser modificada em longo prazo, para ambos os cenários, que divergem apenas na quantidade de

energia consumida, onde o cenário Alternativo, por mostrar uma tendência de eficiência mais forte tem o consumo de energia reduzido.

Por último, o setor Residencial que possuía como principal fonte de energia a lenha até 2005, começa a reverter esta tendência com o aumento do consumo de GLP e eletricidade. E em 2030 a lenha representa 13% da energia consumida no cenário Base e 3% para o Alternativo.

7 EMISSÕES DE CO₂ ASSOCIADAS À MATRIZ ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

Neste capítulo será abordada a projeção das emissões de dióxido de carbono associado à Matriz Energética de Minas Gerais, elaborada pelos pesquisadores da COPPE/UFRJ e da UNIFEI no ano de 2007 e cujos resultados foram apresentados no capítulo anterior. O cálculo das emissões foi baseado nestes resultados e foram feitas as projeções para o período de 2005 a 2030, tanto para o cenário Referência, como para o Alternativo da Matriz.

No cálculo das emissões de CO₂ da Matriz mineira para os anos de 2005 a 2030, foi utilizada a abordagem *top-down* definida nas Diretrizes Revisadas de 1996 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC. Também foram utilizadas as adaptações realizadas para a realidade brasileira, feitas pelo MCT, no Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

A metodologia *top-down* é uma ferramenta que permite calcular as emissões de CO₂ em função apenas dos dados de oferta de energia do país, ou, como no caso deste trabalho, do Estado de Minas Gerais. Consiste de um balanço da produção doméstica de combustíveis primários, das importações líquidas de combustíveis primários e secundários e da variação interna dos estoques desses combustíveis. Uma vez introduzido na economia nacional, em um determinado ano, o carbono contido num combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de alguma forma (como, por exemplo, através do aumento do estoque do combustível, da incorporação a produtos não energéticos ou da sua retenção parcialmente inoxidado). A grande vantagem da metodologia *top-down*, portanto, é não necessitar informações detalhadas de como o combustível é utilizado pelo usuário final ou por quais transformações intermediárias ele passa antes de ser consumido (MCT, 2006).

Neste estudo foram calculadas tanto as emissões de CO₂ derivadas da queima de combustíveis fósseis como também as provenientes da combustão da biomassa no sistema energético brasileiro. Isto para atender à recomendação do IPCC de que as emissões de CO₂ da biomassa devem ser incluídas no inventário de emissões do sistema energético, mas apenas a título de informação, sem serem adicionadas às emissões dos combustíveis fósseis. Considera-se, portanto, que a taxa de renovação da biomassa é igual ao seu consumo, ou seja, as emissões de CO₂ são nulas.

Para 2005, a oferta interna de energia pode ser obtida no 21º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (CEMIG, 2006). Foram consideradas apenas as fontes

primárias e secundárias utilizadas mediante processos de combustão, com os seguintes esclarecimentos e adequações metodológicas para maior coerência:

- não se associou emissões de carbono à energia elétrica exportada pelo Estado;
- sob “outras fontes primárias” se adotou a lenha como combustível de referência, para efeito de cálculo das emissões;
- considerou-se que todo o querosene foi utilizado como querosene de aviação.

7.1.1 Descrição da Metodologia do IPCC

O emprego da metodologia *top-down* do IPCC abrange os seguintes passos (MCT, 2006):

- 1) determinação do consumo aparente dos combustíveis, nas suas unidades de medida originais;
- 2) conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ);
- 3) transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível;
- 4) correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, para se computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão;
- 5) conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂.

O fluxograma da Figura 29 apresenta os passos descritos acima.

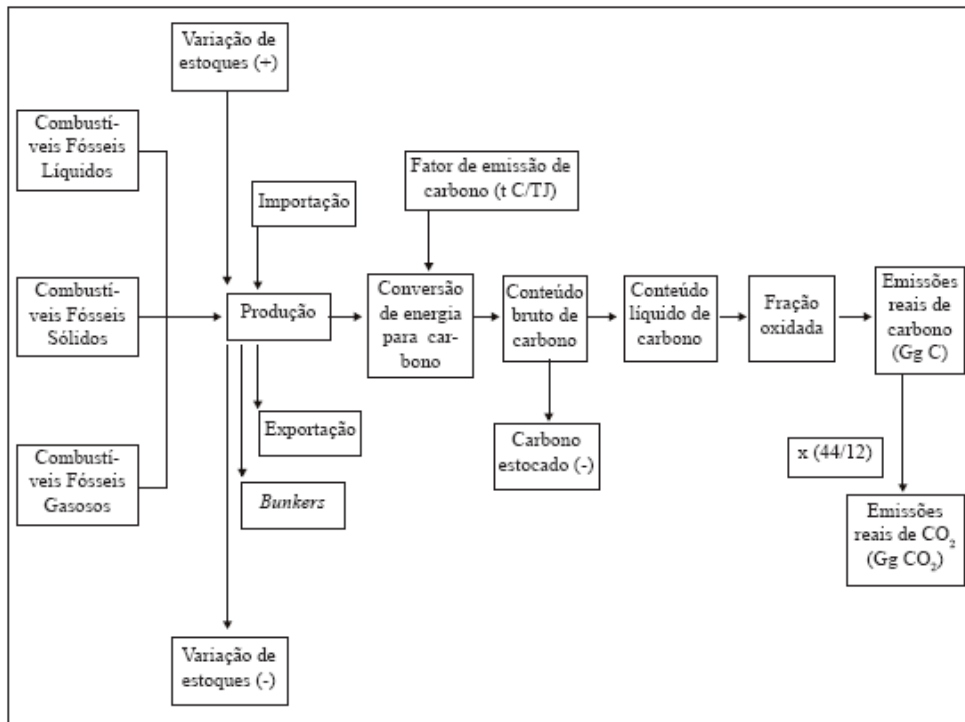


Figura 29 – Fluxograma simplificado da metodologia top-down para cálculo das emissões de CO₂ para o sistema energético

Fonte: MCT, 2006

A emissão anual de CO₂ ocasionado pelo uso de uma fonte de energia pode ser determinada através da seguinte equação:

$$\omega = 10^{-3} * \{[(\alpha + \beta - \chi - \delta - \varepsilon) * \varphi * \gamma] - \eta\} * \lambda * 44/12 \quad \text{Eq 1}$$

onde:

ω = emissão anual real de CO₂ (Gg CO₂)

α = produção anual doméstica de energia primária, medida em unidade original

β = importação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original

χ = exportação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original

δ = energia anualmente embarcada em *bunkers* internacionais, medida em unidade original

ε = variação anual dos estoques de energia (positiva, caso haja aumento dos estoques), medida em unidade original

φ = fator de conversão da unidade original para terajoules (TJ/unidades originais)

γ = fator de emissão de carbono por unidade de energia contida no combustível (tC/TJ)

η = quantidade anual de carbono estocada em produtos não energéticos (t C)

λ = fração do carbono realmente oxidado na combustão

7.1.1.1 Determinação do Consumo Aparente de Combustível

Segundo a metodologia *top-down* para o cálculo das emissões de CO₂ utilizada pelo MCT, o consumo aparente de um dado combustível representa a quantidade de combustível disponível para uso interno no país. Para os combustíveis primários, sua determinação é feita através da seguinte equação:

$$\text{Consumo Aparente} = \theta = \alpha + \beta - \chi - \delta - \varepsilon \quad \text{Eq 2}$$

onde os termos dessa equação foram definidos na Equação 1.

Essa equação é também utilizada para fontes de energia secundária, com exceção de que, nesse caso, o termo α será nulo.

7.1.1.2 Conversão para uma Unidade Comum de Energia

A conversão do consumo aparente de cada combustível, medido na sua unidade original, para uma unidade comum de energia, é efetuada multiplicando-se o consumo aparente pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI) (MCT, 2006).

O Balanço Energético Nacional (BEN) expressa as quantidades dos combustíveis em toneladas equivalentes de petróleo (tep). No Brasil, o conteúdo energético de 1 tep, que é função do tipo de petróleo adotado como padrão, equivale a 10.800 Mcal ou $45,217 \times 10^{-3}$ TJ. A conversão dos valores do BEN para terajoules é efetuada conforme recomendação do IPCC (1996), mediante a seguinte equação:

$$\text{Fator de Conversão (tep com base em PCS para TJ com base em PCI)} = 45,217 \times 10^{-3} \times \text{fator de correção}$$

$$\text{Eq 3}$$

onde o fator de correção é igual a 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos.

7.1.1.3 Fatores de Emissão de Carbono

Os fatores de emissão de carbono representam a quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia. Os fatores de emissão de carbono utilizados neste trabalho encontram-se na Tabela 38 (MCT, 2006).

Tabela 38 - Fatores de emissão de carbono empregados (tC/TJ)

Fósseis líquidos	Petróleo	20
	GNL	17,2
	Gasolina	18,9
	Querosene de aviação	19,5
	Querosene iluminante	19,6
	Óleo diesel	20,2
	Óleo combustível	21,1
	GLP	17,2
	Nafta	20
	Lubrificantes	20
	Coque de petróleo	27,5
	Gás de refinaria	18,2
	Outros produtos secundários de petróleo	20
	Outros produtos não energéticos de petróleo	20
	Fósseis sólidos	Carvão metalúrgico
Carvão vapor		25,8
Coque		29,5
Fósseis gasosos	Gás natural (seco)	15,3
Outras primárias	Outras primárias fósseis	20
Biomassa sólida	Lenha queima direta	29,9
	Lenha carvoejamento	29,9
	Bagaço de cana	29,9
	Resíduos vegetais	29,9
	Carvão vegetal	29,9
Biomassa líquida	Caldo de cana	20
	Álcool anidro	14,81
	Álcool hidratado	14,81
	Lixívia	20
Biomassa gasosa		30,6

Fonte: MCT, 2006

7.1.1.4 Correção dos Valores para Considerar Combustão Incompleta

Como a combustão nunca ocorre de forma completa, nem todo o carbono será oxidado, deixando uma pequena quantidade inoxidada contida nas cinzas e outros subprodutos.

Na metodologia do IPCC (MCT, 2006), esse fato é levado em conta no cálculo das emissões reais, multiplicando-se o carbono disponível para a emissão pela fração de carbono oxidada na combustão. Os valores adotados neste trabalho para a fração de carbono oxidada na combustão estão na Tabela 39.

Tabela 39 – Frações de carbono oxidado empregadas

Fósseis líquidos	Petróleo	0,99
	Líquidos de gás	0,99
	Gasolina	0,99
	Querosene de aviação	0,99
	Querosene iluminante	0,99
	Óleo diesel	0,99
	Óleo combustível	0,99
	GLP	0,99
	Nafta	0,99
	Lubrificantes	0,99
	Coque de petróleo	0,99
	Gás de refinaria	0,995
	Outros produtos secundários de petróleo	0,99
	Outros produtos não energéticos de petróleo	0,99
	Fósseis sólidos	Carvão metalúrgico
Carvão vapor		0,98
Coque		0,98
Fósseis gasosos	Gás natural (seco)	0,995
Outras primárias	Outras primárias fósseis	0,98
Biomassa sólida	Lenha queima direta	0,87
	Lenha carvoejamento	0,891
	Bagaço de cana	0,88
	Resíduos vegetais	0,88
	Carvão vegetal	0,88
Biomassa líquida	Caldo de cana	0,99
	Álcool anidro	0,99
	Álcool hidratado	0,99
	Lixívia	0,99
Biomassa gasosa		0,99

Fonte: MCT, 2006

7.1.2 Resultados dos Cálculos das Emissões da Matriz Energética de Minas Gerais

Para se calcular as emissões de CO₂ para o estado de Minas Gerais foi utilizado o Software da UNFCCC: *Non-Annex I National Greenhouse Gás Inventory*, versão 1.3.2.

Na Tabela 40 é apresentada a quantidade de CO₂ para o ano base (2005), utilizando-se os dados do Balanço Energético de Minas Gerais e do Brasil. Como pode ser observado, o estado mineiro representa 19% de todas as emissões do país, sendo que as emissões oriundas de combustíveis fósseis representam 13% do Brasil. O uso em larga escala de carvão vegetal e lenha contribuem para o aumento das emissões.

Tabela 40 – Emissões de CO₂ para o ano de 2005 (Gg CO₂)

Combustível	Minas Gerais	Brasil
Petróleo	21.295,82	273.421,14
Gasolina	1.167,15	-6.295,55
Querosene	-504,79	-2.511,80
Óleo Combustível	602,15	-26.705,17
Diesel	4.992,88	5.550,45
GLP	989,75	1.322,35
Coque de Carvão Mineral	3.439,36	4.584,39
Carvão Metalúrgico	13.342,16	50.433,38
Nafta	0,00	10.646,22
Gás Natural	1.476,70	46.632,07
Total Fósseis	46.801,20	357.077,46
Lenha	35.834,78	117.791,41
Carvão Vegetal	6.482,26	203,09
Coque de Carvão Vegetal	2.573,84	7.315,34
Alcool	205,55	-2.189,45
Total Biomassa	45.096,43	123.120,39
Total	91.897,63	480.197,85

Fonte: Elaboração Própria

Para o cenário de Referência, a projeção das emissões para os anos entre 2010 e 2030 é apresentada na Tabela 41. Pode-se observar que em 2030, as emissões oriundas de combustíveis fósseis chegam a 188 milhões de toneladas de CO₂, mais que o dobro em relação a 2010.

Tabela 41 – Emissões de CO₂ – 2010 a 2030 – no cenário de Referência (Gg CO₂)

Combustível	2010	2015	2020	2025	2030
Petróleo	23.408,36	35.113,55	35.113,55	35.113,55	35.113,55
Gasolina	5.160,82	5.205,03	5.037,03	6.873,24	9.024,81
Querosene	334,50	416,61	520,00	650,76	821,05
Óleo Combustível	157,94	184,26	204,01	3.691,87	8.370,87
Diesel	18.424,85	22.882,22	28.580,72	36.153,53	45.953,44
GLP	2.542,77	2.757,35	3.170,42	3.494,97	3.819,52
Coque de Carvão Mineral	13.924,70	20.619,02	25.465,01	37.211,16	54.982,63
Carvão Metalúrgico	4.177,89	6.185,19	7.638,89	11.167,59	16.496,49
Gás de Refinaria	1.678,23	2.483,57	3.067,30	4.483,39	6.615,64
Gás Natural	3.178,17	5.119,89	7.443,62	7.737,48	6.953,11
Total Fósseis	72.988,24	100.966,69	116.240,54	146.577,53	188.151,10
Lenha	11.103,56	8.363,94	8.699,65	5.827,40	5.972,46
Carvão Vegetal	1.728,33	0,00	787,49	0,00	0,00
Coque de Carvão Vegetal	20.072,62	25.025,49	36.705,16	47.605,64	60.756,66
Alcool	1.815,30	3.101,72	4.741,49	5.716,12	6.790,05
Biodiesel	528,89	653,60	810,65	1.023,13	1.297,96
Total Biomassa	35.248,69	37.144,75	51.744,45	60.172,28	74.817,14
Total	108.236,93	138.111,44	167.984,99	206.749,81	262.968,24

Fonte: Elaboração Própria

O aumento das emissões chega a 180% de 2005 a 2030 para o cenário de Referência, sendo que os combustíveis fósseis têm um aumento de 288% no período de estudo. A Figura 30 mostra a evolução desta variação no aumento das emissões.

Observa-se ainda na figura, que o período de 2020 a 2025 é aquele com maior variação nas emissões de CO₂, ocasionado pelo acréscimo significativo no consumo de gás natural e óleo combustível.

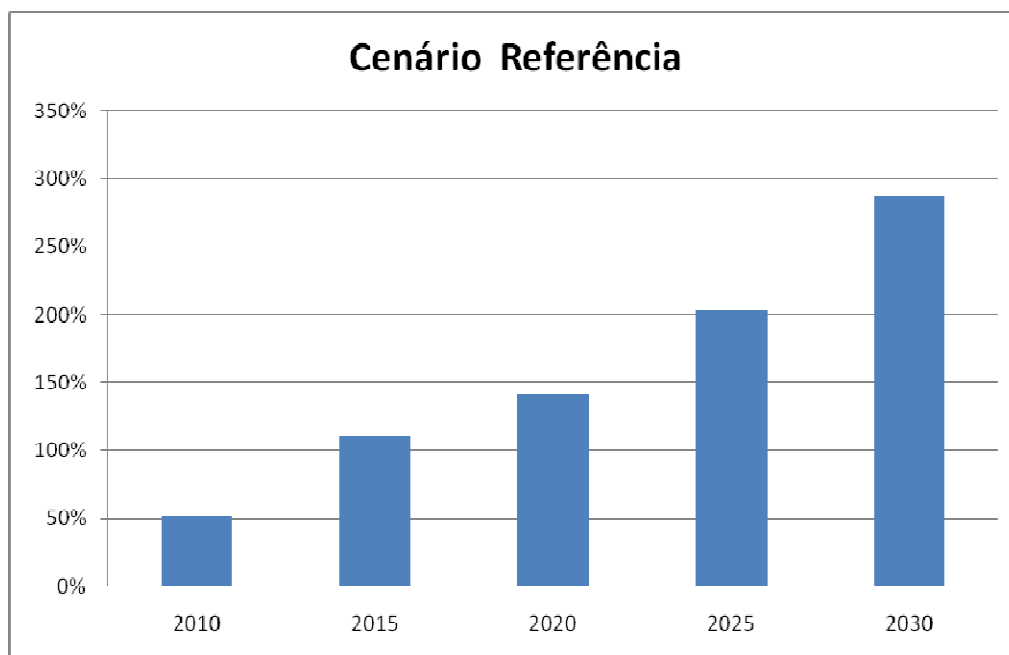


Figura 30 – Variação de aumento das emissões em relação a 2005 (Combustíveis Fósseis) – Cenário de Referência

Fonte: Elaboração Própria

No cenário Alternativo, a quantidade de CO₂ emitido no período de estudo é apresentada na Tabela 42. No período de 2010 a 2030 as emissões estaduais de CO₂ passam de 73 milhões de toneladas para 154 milhões de toneladas.

Tabela 42 - Emissões de CO₂ – 2010 a 2030 – no cenário Alternativo (Gg CO₂)

Combustível	2010	2015	2020	2025	2030
Petróleo	23.408,36	35.113,55	35.113,55	35.113,55	35.113,55
Gasolina	5.160,82	3.631,14	1.974,73	1.323,36	996,21
Querosene	334,50	392,28	462,22	547,37	650,76
Óleo Combustível	157,94	184,26	204,01	220,46	1.533,34
Diesel	18.396,50	21.385,93	25.862,20	30.751,13	37.911,27
GLP	2.545,46	2.926,34	3.189,20	3.489,61	3.816,84
Coque de Carvão Mineral	13.924,70	19.469,71	24.139,87	31.919,17	42.297,30
Carvão Metalúrgico	4.177,89	6.185,19	7.638,89	11.167,59	16.496,49
Gás de Refinaria	1.678,23	2.483,57	3.067,30	4.483,39	6.615,64
Gás Natural	3.182,70	4.905,15	5.447,65	7.387,11	8.628,09
Total Fósseis	72.967,09	96.677,11	107.099,60	126.402,74	154.059,49
Lenha	7.837,56	5.068,93	5.151,82	4.625,45	4.554,99
Carvão Vegetal	1.728,33	0,00	3.328,17	2.113,78	0,00
Coque de Carvão Vegetal	20.072,62	25.025,49	34.802,76	46.018,23	60.756,66
Alcohol	1.815,30	3.101,72	4.104,06	4.565,97	4.796,92
Biodiesel	528,89	614,34	755,22	891,48	1.106,27
Total Biomassa	31.982,69	33.810,48	48.142,03	58.214,91	71.214,84
Total	104.949,79	130.487,59	155.241,63	184.617,64	225.274,33

Fonte: Elaboração Própria

Nota-se que em relação ao ano base, a variação das emissões até 2030 é de aproximadamente 138% e as emissões oriundas de fontes fósseis tiveram um aumento de 215% entre 2005 e 2030. E a maior variação ocorre no período de 2025 a 2030, como pode ser visto na Figura 31, devido, principalmente, ao aumento no consumo de diesel e carvão mineral.

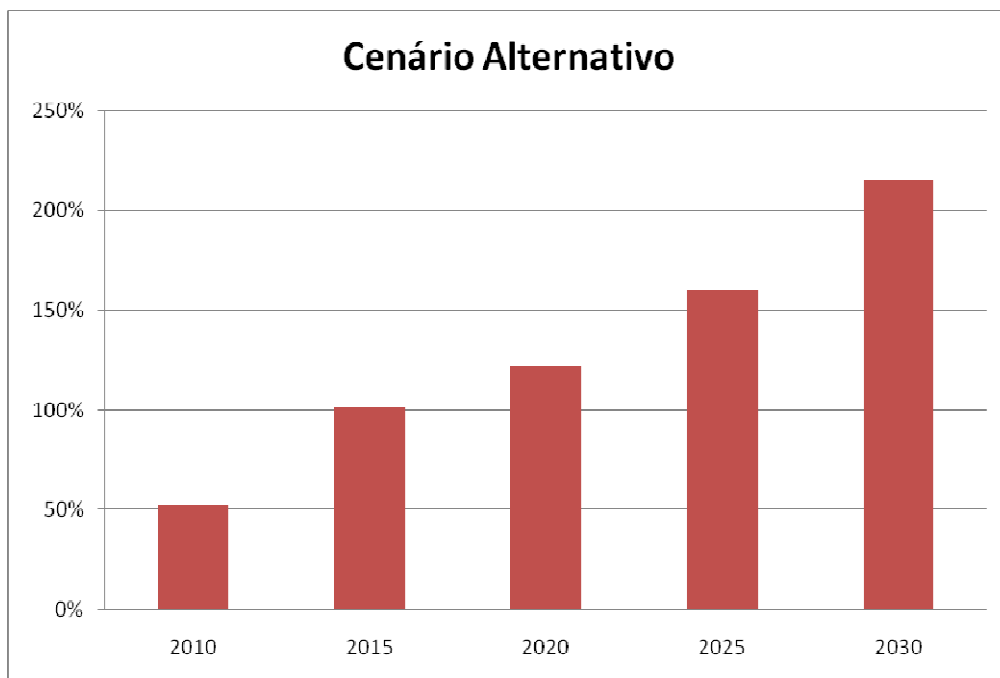


Figura 31 - Variação de aumento das emissões em relação a 2005 (Combustíveis Fósseis) – Cenário Alternativo

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 32 pode-se comparar o total de emissões em cada ano do período de estudo para ambos os cenários. Destaca-se ainda a igualdade de emissões entre 2005 e 2010 nos cenários de Referência e Alternativo, devido ao perfil tecnológico e de consumo de energia das diferentes fontes não se alterarem entre os cenários. Em todo o período as emissões do cenário Base são maiores que as do alternativo, tornando-se mais acentuadas no final do período, pela entrada de tecnologias mais avançadas, uso mais intenso de fontes renováveis e o aumento da eficiência energética.

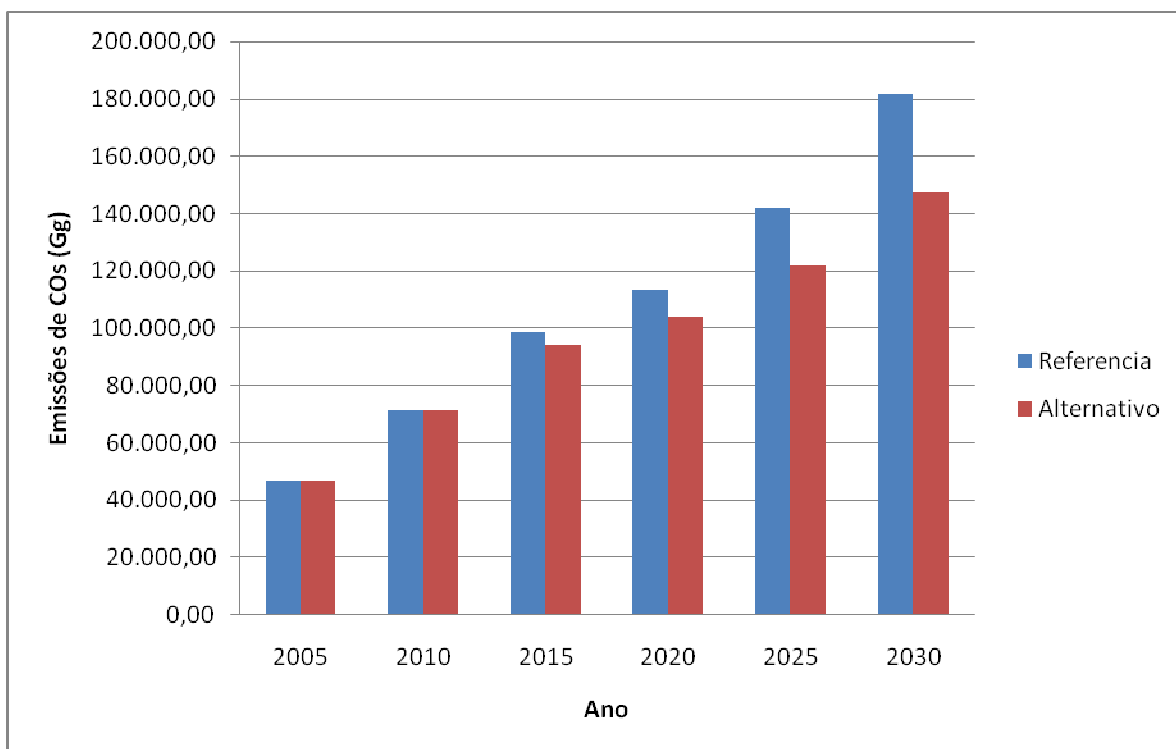


Figura 32 – Emissões de CO₂ de combustíveis fósseis para os dois cenários (Gg CO₂)

Fonte: Elaboração Própria

Através da Figura 33, observa-se que no cenário Referência, o setor Agroindustrial é o de maior participação nas emissões de CO₂ no Estado de Minas Gerais, respondendo por mais de 50% das emissões oriundas de combustíveis fósseis em 2010, e chegando a quase 65% em 2030, provocado pelo fortalecimento da indústria siderúrgica. O setor de Transportes tem um comportamento inverso ao Industrial, com uma redução na participação das emissões em todo o período analisado, saindo de 44% em 2010 para 33% em 2030, ocasionada pelo aumento da participação do etanol no setor. O setor Residencial e o de Serviços, pelo uso majoritário da eletricidade como fonte de energia, tem participação mínima nas emissões de CO₂. Nestes setores as emissões são provenientes do uso de GLP, Gás Natural e Óleo Diesel, sendo que no setor Residencial a participação é de 5% em 2010, chegando a 2,5% em 2030 e no setor de Serviços durante todo o período as emissões não passam de 1% do total.

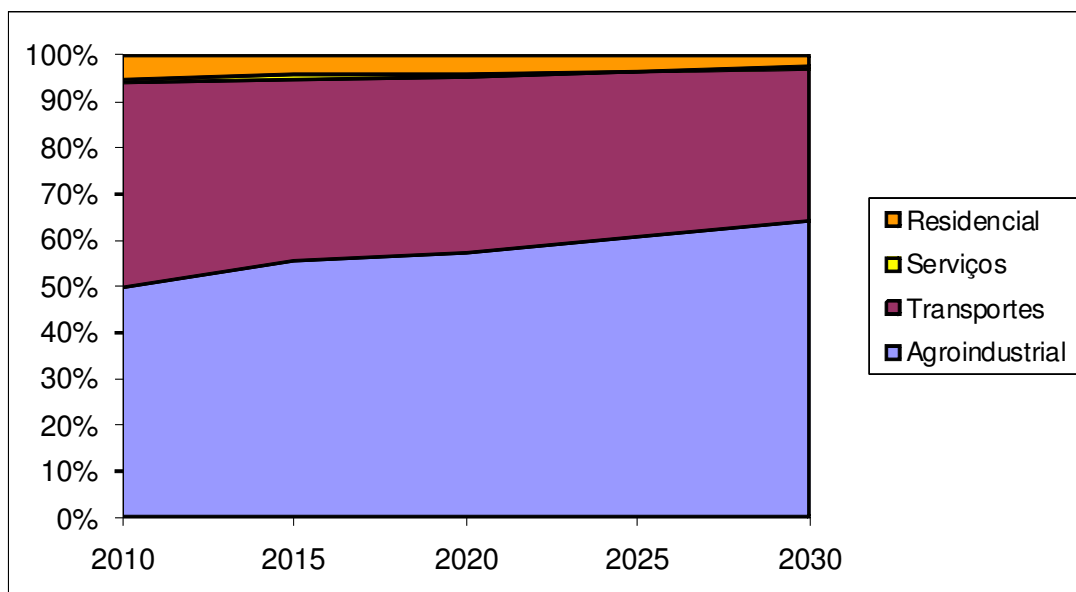


Figura 33 - Emissões de CO₂ (Gg) - Fósseis - Cenário Referência

Fonte: Elaboração Própria

O cenário Alternativo possui as mesmas características do Referência, sendo que as variações são menos acentuadas, como pode ser visto na Figura 34. O setor Industrial é o de maior participação, que cresce de 52% em 2010 para 60% em 2030. Já o setor de transportes tem uma redução de 42% para 36% no período em estudado. O setor Residencial tem participação praticamente constante, de 5% de 2010 a 2030 e o setor de Serviços praticamente não contribui para as emissões no Estado.

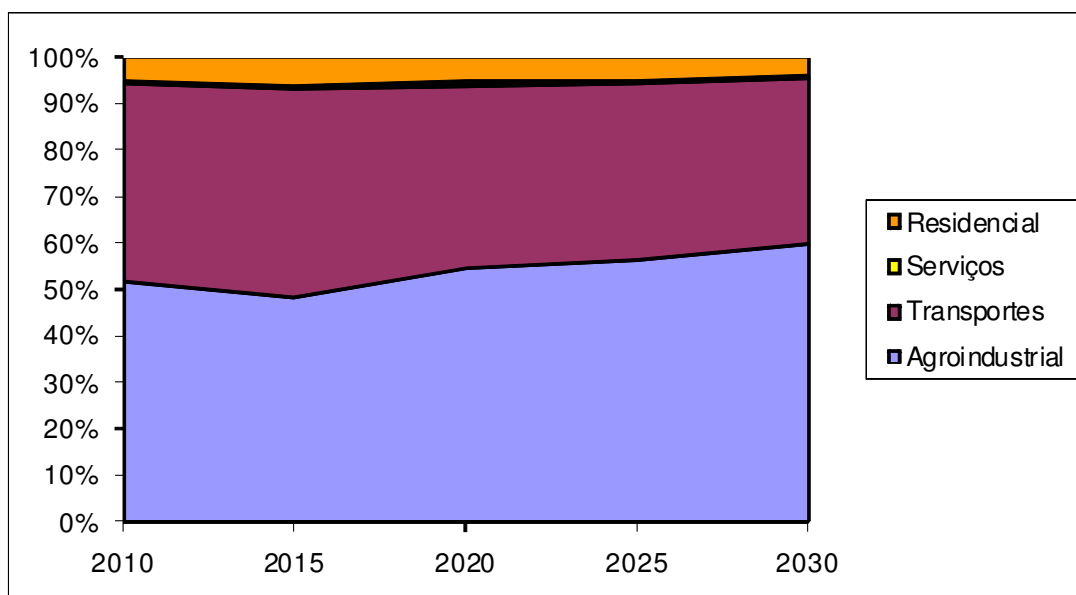


Figura 34 - Emissões de CO₂ (Gg) - Fósseis - Cenário Alternativo

Fonte: Elaboração Própria

Em relação ao inventário de emissões, elaborado pelo Governo do Estado de Minas Gerais, que foi apresentado no Capítulo 4 desta dissertação, observa-se uma

diferença de 4144,5 GgCO₂, ou seja, 9,7%. Essa diferença foi caracterizada principalmente pelo setor de transportes, onde foi considerada no inventário a utilização de etanol. Sendo que neste trabalho as emissões oriundas de biomassa foram consideradas nulas. Na Figura 35 podemos observar a diferença percentual entre os dois estudos e na Tabela Tabela 43 tem-se a variação absoluta.

Tabela 43 – Diferença encontrada nas emissões estimadas pelo Inventario Mineiro e neste Trabalho baseado nos dados da Matriz

Setor	Matriz MG	Inventario MG	Diferença (Gg CO ₂)
Industrial	23.095,67	22.222,87	872,80
Transportes	21.310,36	16.145,93	5.164,43
Serviços	310,34	286,33	24,01
Residencial	2.084,827	2385,3	-300,47
Outros		1616,27	-1.616,27
Total	46.801,2	42.656,7	4.144,5

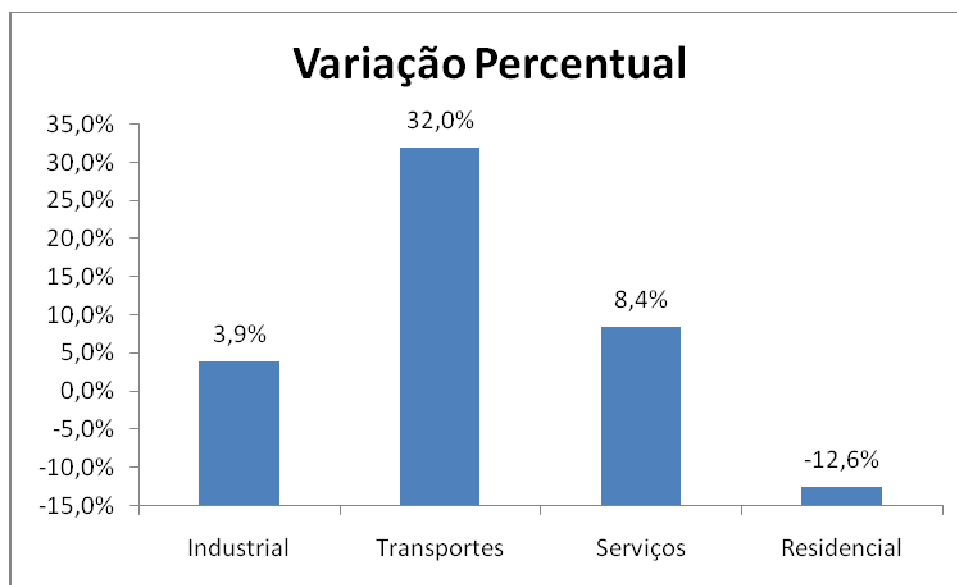


Figura 35 - Variação percentual entre os dados da Matriz e do Inventario de MG

Assim como no setor energético, é possível relacionar a demanda de energia com indicadores econômicos como o PIB (intensidade energética) e com a demografia, também foi proposto neste trabalho verificar a relação das emissões de gás carbônico com estes indicadores.

Então, na Figura 36, é apresentada as emissões *per capita* em ambos os cenários analisados neste trabalho. E na Figura 37 tem-se a intensidade de emissões, ou seja, a quantidade de dióxido de carbono emitido em relação ao PIB de Minas Gerais.

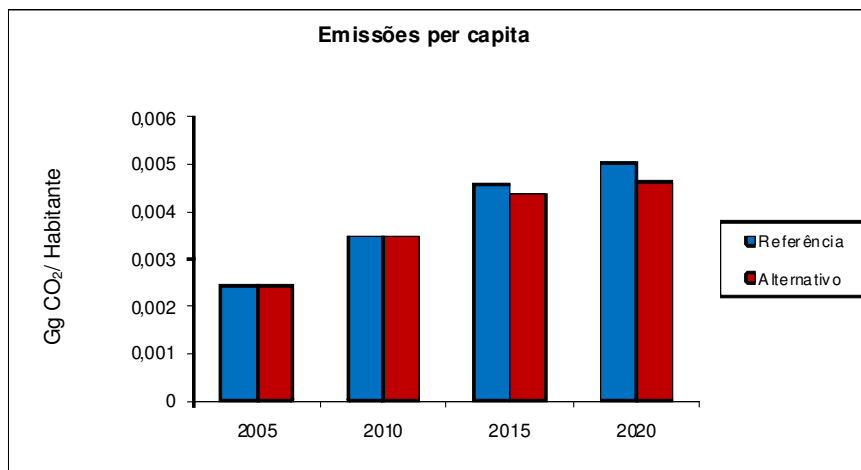


Figura 36 – Emissões per capita em MG para o cenário de Referência e Alternativo

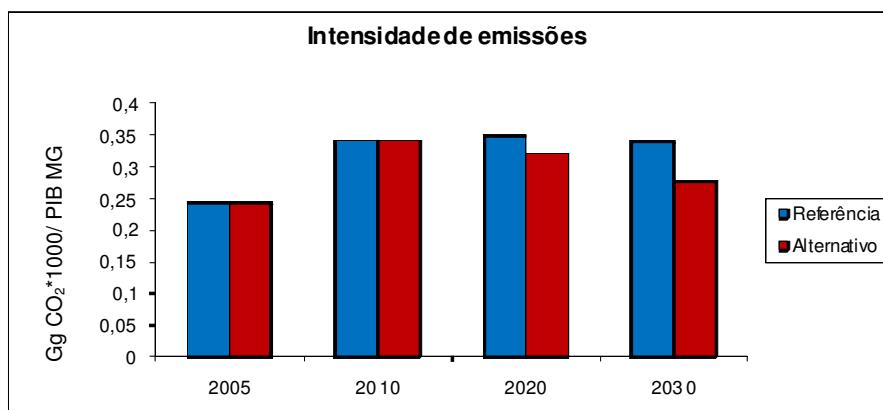


Figura 37 – Quantidade de emissões de CO₂ em relação ao PIB de Minas Gerais

8 CONCLUSÕES E RECOMENSAÇÕES

A cenarização da matriz energética futura é um instrumento privilegiado para simular diferentes cenários de mercado e avaliar seus efeitos: gargalos de infra-estrutura, vulnerabilidades sistêmicas, riscos ambientais, oportunidades de negócios, impactos de políticas públicas, etc.

A escolha dos modelos utilizados na elaboração da Matriz Energética de Minas Gerais – MESSAGE e MAED - foi fundamental, pois são mundialmente utilizados, permitindo comparações e a disseminação dos resultados internacionalmente. Além disso, a escolha do MAED e do MESSAGE foi resultado da larga experiência da COPPE/UFRJ na manipulação destes modelos, permitindo a troca de experiências com a UNIFEI, que, de forma inédita, participou da elaboração de uma matriz energética estadual.

Cabe ressaltar, entretanto, que os resultados e as conclusões da projeção realizada para a matriz energética mineira de longo prazo e as emissões associadas estão fortemente sujeitas às premissas e hipóteses assumidas na formulação dos cenários. Essa é uma limitação técnica da metodologia de cenários.

O consumo de energia em Minas Gerais nos próximos anos tem expressiva expansão, principalmente devido à maior importância do setor agroindustrial. A participação do setor de transportes permanece praticamente constante para o cenário Referência, decrescendo no cenário Alternativo. Em ambos cenários o setor residencial tem uma representativa queda, especialmente por conta da redução da demanda de lenha.

Os combustíveis fósseis permanecem como os mais utilizados durante o período de análise, com participação de 66% em 2005 e chegando a 76% em 2030 no cenário Base e 73% no alternativo. Já a biomassa tem a participação reduzida de 18% em 2005 para 8% no final do período de análise no cenário de Referência e 11% no cenário alternativo. A eletricidade deverá manter sua participação, desde o Ano Base até 2030 estudado, para ambos os cenários, representando 15% do total.

Como esperado, a oferta interna bruta de energia em Minas Gerais, apresenta um comportamento semelhante ao da energia final do Estado, caracterizada por um crescimento médio anual no decorrer da simulação de 4,86% para o cenário Referência e de 4,29% para o cenário Alternativo.

Deve-se ressaltar que a matriz energética de Minas Gerais é bastante diversificada e a tendência é que isto se permaneça nos próximos anos e de certo modo incrementada

através da maior presença do gás natural e dos biocombustíveis, com destaque para o etanol.

O setor industrial foi o de maior participação no consumo final de energia no Estado, com 58,1%, seguido do setor transportes (22,9%) e do setor residencial (13,7%),

A energia proveniente do coque de carvão vegetal, carvão mineral e coque de carvão vegetal permanecem como as fontes mais aproveitadas durante todo o período analisado, no cenário de Referência, devido principalmente à manutenção do setor siderúrgico como o mais energético-intensivo. Com um crescimento de mais de 400%, no consumo de coque de carvão mineral.

O mesmo ocorre no cenário Alternativo, com os mesmos combustíveis se destacando em todo período. No cenário Alternativo, cresce a participação de fontes como bagaço, comparativamente ao que ocorre no cenário de Referência. Cresce também a participação relativa do gás natural, que chega a quase 8% do uso total de energia em 2030.

O setor de transportes é um dos maiores usuários de energia final. Com relação ao consumo de derivados de petróleo e de gás natural, o setor de transportes ganha maior relevância respondendo por 53% do consumo total, 5.099 mil tep.

Na projeção do cenário de Referência acontece uma redução da participação de mercado da gasolina de, aproximadamente, 22%, em 2005, para 16%, em 2030, e um aumento da participação do álcool hidratado de 3% para 10%, no mesmo período, em virtude da entrada dos carros *flex-fuel*. No cenário Alternativo verifica-se um menor consumo de todas as fontes, quando comparado ao cenário Referência, com exceção do álcool hidratado e eletricidade. No período entre 2015-2030 o consumo energético é 21% menor, em média, quando comparado ao cenário Referência. Entre os derivados de petróleo, a gasolina possui a maior redução, em média, 66%. O álcool hidratado, por sua vez, tem um aumento de 10%, em média, sendo consumido em 88% do tempo nos carros *flex-fuel*, além de alcançar os limites de exportação. Com relação ao diesel, seu consumo energético reduz-se em 12%, em média, quando comparado ao cenário Referência. No entanto, permanece como a maior fonte energética consumida no setor de transportes com uma participação média de 68% em todo o período, 2005-2030.

No setor de serviços, o uso da energia e o crescimento econômico sempre estiveram fortemente relacionados, já que a expansão das atividades econômicas necessita de

uma maior demanda de energia. Este é o setor com maior possibilidade de implantação de programas de eficiência energética e modernização de equipamentos. Nele, a eletricidade, para uso cativo, responde por cerca de 81% da demanda de energia em 2005, chegando a 86% em 2030, no cenário Referência. Já no cenário Alternativo, a eletricidade, para uso cativo, representa 78% da demanda de energia em 2030, pois acontece a entrada do carvão vegetal neste cenário.

O consumo total de energia do setor residencial mineiro no cenário Base de Mercado é praticamente estável, atingindo, em 2030, 3.408 mil tep. No cenário Alternativo, o consumo total de energia do setor residencial mineiro atinge 3.004 mil tEP em 2030.

No cenário Alternativo, há um crescimento menor do consumo de eletricidade, em comparação com o cenário Base, ocasionado pelo aumento da eficiência e pela utilização de coletores solares e GLP para o aquecimento de água.

No cenário Referência, o uso final de energia cresce a uma taxa anual média de 4,86%, atingindo, em 2030, o patamar de 77.141 mil tep. Nesse cenário, a oferta interna bruta de energia em 2030 é de 97.198 mil tEP. No cenário Alternativo, o crescimento médio anual do uso final de energia é de 4,27%, chegando a um total de 66.939 mil tEP em 2030 e correspondendo a uma oferta interna bruta de energia de 85.013 mil tEP nesse ano. Portanto, há uma diferença de 14% na oferta interna bruta de energia entre os dois cenários.

“É importante observar que a elaboração da Matriz Energética é um trabalho de cenarização, e não de previsão. Assim, as projeções realizadas dependem dos cenários macroeconômicos e setoriais estabelecidos e também das hipóteses tecnológicas. Em suma, dependem da qualidade da análise, não apenas do modelo de simulação. E por fim, qualquer estudo de projeção depende de uma base de dados adequada” (UFRJ, 2007b).

Segundo o Primeiro Inventário Emissões de Gases do Efeito Estufa de Minas Gerais, no total, foram emitidos no ano de 2005, 74.544,61 Gg de dióxido de carbono (CO₂), sendo que o setor de Energia emitiu 42.639,52 Gg de CO₂, com as Indústrias representando 48% e os Transportes 37% do total do setor. Assim, os resultados das simulações das emissões de CO₂ se mostraram consistentes, já que foi possível comparar os valores obtidos neste trabalho com os provenientes do Inventário Emissões de Gases do Efeito Estufa do Estado (FEAM, 2008), para o ano de 2005. Esta análise mostrou uma diferença de 9,7% entre as emissões no ano-base, relacionado principalmente ao setor de transportes, pois no inventário foi considerado

o etanol nas emissões. Mostrando assim que os parâmetros utilizados para os cálculos estavam corretos, permitindo uma projeção adequada.

As emissões de CO₂ no Estado são mais representativas no setor agroindustrial, que representam mais de 50% das emissões em todos os períodos, chegando a 60% em ambos os cenários, ocasionado principalmente pela siderurgia, que possui grande demanda de energia, de carvão metalúrgico e coque de carvão mineral. Juntos, estes dois combustíveis representam 25% de todas as emissões, para ambos os cenários, chegando a responder, em 2030, por 38% das emissões, causado principalmente pelo avanço do setor no Estado.

O setor de transportes é o responsável por quase todo o restante das emissões, devido ao modal rodoviário ser o principal meio de transporte no Estado, consumindo grandes quantidades de óleo diesel. Em todo o período analisado, tanto no cenário Referência quanto no Alternativo, o óleo diesel é responsável por mais de 25% das emissões.

Finalmente o setor residencial e de serviços, são os menos responsáveis pelas emissões de CO₂ em Minas Gerais. Isto ocorre em decorrência do uso da eletricidade como a principal fonte energética nestes setores. Assim o setor de serviços chega a praticamente zerar suas emissões em 2030 nos dois cenários e o setor residencial representa 5% do total estadual em 2010 e chega a 2,6% em 2030 no cenário Referência e 4,2% em 2030 no cenário Alternativo. A menor redução no cenário alternativo está relacionada à maior penetração no gás natural e GLP no setor.

Em relação ao cenário Referência, as emissões no cenário alternativo são quase 20% menores em 2030, mostrando o sucesso das premissas tecnológicas e de eficiência adotadas na elaboração do cenário alternativo.

O Brasil, apesar de ser signatário do Protocolo de Kyoto não possui metas definidas de redução das emissões de CO₂. E apesar de possuir uma matriz energética com mais de 40% de participação de fontes renováveis existe uma tendência de aumento do consumo de combustíveis fósseis, principalmente pela previsão de entrada de novas usinas termelétricas no parque gerador e o uso mais acentuado de gás natural nas indústrias. Como existe a possibilidade de nos próximos anos o país vir a ter metas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa, o uso da projeção da matriz energética se torna essencial para se prever a quantidade de emissões oriundas do setor de energia.

Assim, o trabalho de elaboração da Matriz Energética de Minas Gerais é fundamental para se prever como o Estado poderá participar nas metas de reduções, podendo ser feito um planejamento de acordo com as suas características. Isso permite um estudo posterior, de como adequar a oferta de energia em Minas Gerais, de forma a permitir que se atinjam as metas estipuladas de redução de emissões.

A substituição de tecnologias e o aumento da eficiência energética têm impacto direto na matriz energética e conseqüentemente nas suas emissões associadas. Assim em trabalhos futuros podem ser analisados os impactos da evolução tecnológica (e também das opções feitas nas premissas utilizadas) na Matriz e nas emissões de CO₂ no Estado de Minas Gerais.

Também pode ser avaliado o impacto financeiro dos cenários propostos para o Estado mineiro, observando-se as escolhas de tecnologia e também as opções por uma matriz energética com uma maior ou menor participação de combustíveis fósseis.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Informações técnicas. Brasília, DF, Brasil, 2007a
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informação de Geração. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/15.htm>, acesso em 03/2007. 2007b
- ARAÚJO, J. L. R. H., Modelos de Energia para Planejamento, Tese preparada para o Concurso de Professor Titular, Área Interdisciplinar de Energia, Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1988
- BAJAY, S. V, et al. Planejamento Integrado de Recursos: Conceito, origem, difusão e vantagens em comparação com o planejamento tradicional da expansão do setor elétrico. In: Congresso Brasileiro de Energia, 7. Rio de Janeiro, RJ, 1996. Anais, v. 3. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 1714.
- BAUMERT, K.A.; HERZOG, T.; PERSHING, J. Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate change policy. Washington: World Resources Institute, 2005
- BDMG, 2002a. Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais. Minas Gerais do século XXI. Belo Horizonte, 2002.
- BDMG, 2002. Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais, 2002. Minas Gerais do século XXI. Belo Horizonte: Ed: Rona, 2002.
- BEN, 2006. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional. Brasília, 2006
- CARRA, José Luiz de. Matriz energética e de emissões: instrumentos de análise das políticas públicas no setor energético. 2003. Dissertação (Mestrado em Energia). Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. 172 p.
- CARVALHO, Claudio Bezerra de. Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil, com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo. 2005. Dissertação (Tese de Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- CEMAD-MG. III Conferência Estadual de Meio Ambiente, Texto-Base Estadual – Mudanças Climáticas, Minas Gerais 2007.
- CEMIG – Companhia de Energia de Minas Gerais, 2005. Balanço Energético do Estado de Minas Gerais 2005. Ano base 2004. Belo Horizonte: CEMIG.
- CEMIG, 2006, Balanço Energético do Estado de Minas Gerais - ano-base 2005, disponível em <http://www.cemig.com.br>, Belo Horizonte, consultado em agosto de 2007
- CGEE, 2008. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Manual de Capacitação sobre Mudança do Clima e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – Brasília, 2008
- FLEMING, J.R. Historical perspectives on climate change. New York and Oxford: Oxford University Press, 1998.
- FARIA, S. N. G.; BAJAY, S. V. Um modelo integrado de planejamento da expansão do setor elétrico. Revista Brasileira de Energia, 5(2): 137-56, 1996.
- FIEMG, 2006a. Federação das Indústrias de Minas Gerais. Gerência de Economia. Perfil da economia mineira. Belo Horizonte, 2006.

- FJP, 2005. Fundação João Pinheiro. Perfil de Minas Gerais 2005. 9ª Edição. Belo Horizonte, 2005.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais – 2005, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=526&Itemid=175
- GEO, 2002. Global Environment Outlook: Brazil Environment Outlook. Ed: IBAMA. Brasília, 2002.
- IBGE, 2004b. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual 2004. Rio de Janeiro, 2004
- IBGE, 2004. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 1980-2050 - Revisão 2004. Rio de Janeiro, 2004
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2004. Brasil
- IEA, 2006a. International Energy Agency, “The energy situation in Brazil: an overview”, Paris: OECD. 2006.
- IEA, 2002, World Energy Outlook. Paris: OECD. 2002
- IEA, 2006. Annual Energy Outlook. Paris: OECD. 2006
- IEA, 2006b. International Energy Agency, “Energy use, technologies and CO₂ emissions in the the pulp and paper industry”, Paris, 2006.
- IEA, 2007. International Energy Agency. Industrial energy-related technologies and systems, Paris: OECD. 2007.
- IPCC, 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996. IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change: 2007.
- IPCC, 2007a. Intergovernmental Panel on Climate Change.. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change: 2007.
- IBGE, 2004b. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual. Rio de Janeiro, 2004.
- JANNUZZI, Gilberto de martino; SWISHER, Joel N P. Planejamento integrado de recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e Fontes Renováveis, 1997
- MATTOS, Laura Bedeschi Rego de. A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa: o Caso Do Município do Rio de Janeiro. 2001. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2001
- MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso de, GUTIEREZ, Maria Bernadete Sarmiento. O Efeito Estufa e o Setor Energético Brasileiro. Texto para discussão N° 719 - IPEA. Rio de Janeiro, 2000

- MCT, 2004. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima: Parte II - Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Brasília, 2004.
- MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down. Brasília, 2006
- MEDEIROS, 2002. Medeiros, C. M. Retomada do Crescimento no Brasil e em Minas Gerais: Algumas Proposições Preliminares para Debate. In: SEMINÁRIO SOBRE ECONOMIA MINEIRA. Diamantina, 2002.
- UFRJ; PUC-RJ. Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso -Ano base 2004 - Classe residencial. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2007. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View=%7B5A08CAF0%2D06D1%2D4FFE%2DB335%2D95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BE6AA7196%2DE64E%2D4FC0%2D9567%2D994B77FB24DE%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935%2D6950%2D4E3F%2DA182%2D629352E9EB18%7>.
- UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro; UNIFEI, Universidade Federal de Itajubá. MATRIZ ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS 2007-2030. 2007b
- SÃO PAULO, 2005. Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo. Matriz Energética do Estado de São Paulo 2006 a 2016. São Paulo. 2005.
- SCHAEFFER, R.; Szklo, A.; Machado, G. Matriz energética brasileira - 2003-2023. Relatório técnico, PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2004."
- SCHIMIDT, Silom. Desenvolvimento, Implantação e Avaliação de um Programa de Gerenciamento Energético Municipal: o Caso de Santa Helena (PR). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2004.
- SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DE ENERGIA E SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, 2006. Matriz Energética do Estado do Rio Grande do Norte 2006 Ano 2004 – 2030 /. Rio Grande do Norte, 2006.
- TOLMASQUIM, Mauricio T. A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio. Ed.: COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2000
- TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=isso, acessado em 29/07/08 11:25
- TRIGOSO, Federico Bernardino Morante. Demanda De Energia Elétrica E Desenvolvimento Socioeconômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado), São Paulo 2004
- WACHSMANN, Ulrike. Mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO₂ no Brasil entre 1970 e 1996: Uma análise de decomposição estrutural. 2005. Dissertação (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio. Rio de Janeiro, 2005.
- WEO, 2006. World Energy Outlook. OECD/IEA. Paris, 2006
- WORLD BANK. The World Bank's role in the electric power sector. World Bank Policy Paper, 1993.

ANEXO

FLUXOGRAMA DE PREPARAÇÃO DO ANO BASE DO MAED

