

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE COMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Avaliação de impactos de tecnologias limpas e
substituição de combustíveis para cocção em
residências urbanas na Tanzânia**

Autor: **Godfrey Alois Sanga**
Orientador: **Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE COMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia

Autor: **Godfrey Alois Sanga**
Orientador: **Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi**

Curso: **Planejamento de Sistemas Energéticos**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2004
São Paulo - Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sa58a Sanga, Godfrey Alois
Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia / Godfrey Alois Sanga. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Gilberto De Martino Jannuzzi.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Energia da biomassa. 2. Recursos energéticos - Tanzânia. 3. Biomassa – Aproveitamento energético. 4. Substituição (tecnologia) - Combustíveis. I. Jannuzzi, Gilberto De Martino. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE COMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Avaliação de impactos de tecnologias limpas e
substituição de combustíveis para cocção em
residências urbanas na Tanzânia**

Autor: Godfrey Alois Sanga

**Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi, Presidente
FEM-UNICAMP**

**Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira
FEM-UNICAMP**

**Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira
Universidade Federal de Itajubá**

Campinas, 15 de dezembro de 2004

Dedicatória

A meus pais, Alois e Maria-Magdalena, pela luta e dedicação incansáveis, compartilho toda a felicidade que certamente estão sentindo neste momento (“in memoriam”)

Agradecimentos

À parceria do projeto de intercâmbio *Exchange of sustainable energy Professional*, que me deu a oportunidade e recursos para realizar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi pela orientação atenta, prestativa, gentil, paciente e crítica quando necessária na elaboração da tese. Aprecio sua orientação com criatividade e capacidade de escolher o melhor caminho a ser seguido no campo do aprimoramento científico e no campo de relacionamento pessoal.

Ao Rodolfo Dourado Maia Gomes, Adriano Jerônimo da Silva, Ana Luiza Pompeo de Tisselli e Kisala Muposo Luam pela ajuda desde o primeiro dia que eu cheguei ao Brasil e pelas suas sugestões para melhorar este trabalho.

À Ema Maria Duarte e à Claudiana Ribeiro de Santana pela revisão ortográfica e gramatical na preparação do trabalho final. Aos amigos Herculano, Rodrigo, Raúl, Cleci, Fabiana, Kamyla, Fernando e Herivelto pela ajuda nos momentos de dificuldades na elaboração deste trabalho.

Agradeço os componentes da banca de qualificação: Prof. Dr. Arnaldo César de Walter e Prof. Dr. Isaías de Carvalho Macedo, e de defesa: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira e Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira. Suas críticas e sugestões possibilitaram tornar este trabalho melhor.

E, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram de alguma maneira para execução do estudo.

Resumo

SANGA, Godfrey Alois, *Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. pp.115. Dissertação (Mestrado)

O objetivo deste trabalho é verificar quantitativamente os impactos de melhoria de eficiência e de substituição de combustíveis para cocção na cidade de Dar es Salaam, na Tanzânia. Neste trabalho foi realizada uma pesquisa, enfocando os países em desenvolvimento, sobre energia para cocção e as características que definem a energia limpa, baseado nos recomendados padrões de eficiência e de emissão de gases poluentes e substâncias particuladas. Discute-se, também os mecanismos de promoção e popularização das tecnologias eficientes e dos combustíveis limpos. E seguidamente, o trabalho apresenta uma análise comparativa entre a melhoria de eficiência e a substituição de combustíveis em relação à demanda de energia para cocção, poluição do ar em ambientes fechados, emissão de gases de efeito estufa e custos. Espera-se que este trabalho seja útil na formação de políticas para melhorar a oferta de energia para cocção em Dar es Salaam como também para reduzir o desmatamento, poluição do ar em ambientes fechados e a emissão de gases de efeito estufa provenientes de uso de combustíveis tradicionais na Tanzânia.

Palavras-Chave

Energia da biomassa, recursos energéticos – Tanzânia, biomassa – aproveitamento energético, substituição (tecnologia) – combustíveis.

Abstract

SANGA, Godfrey Alois, *Evaluation of impacts of clean technologies and cooking fuel substitution in urban households of Tanzania*, Campinas, Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 2004. pp.115. Dissertation for MSc. Degree.

The objective of this study is to verify quantitatively the impacts of energy efficiency improvements and cooking fuels substitution in Dar es Salaam, Tanzania. The analysis focuses on developing countries and entails information on access to cooking fuels, technologies and characteristics which define a clean cooking energy based on the recommended efficiency and emissions standards. It also analyses various promotion and dissemination mechanisms for different energy efficient technologies and clean cooking fuels. Finally, the study presents a comparative analysis of energy efficiency improvement and fuel substitution in terms of cooking energy demand, indoor air pollution, emission of green house gases and costs. It is hoped that this work will be useful in policy formulation to improve energy supply in Dar es Salaam as well as in reducing tree depletion, indoor air pollution and emissions of greenhouse gases from the use of charcoal in Tanzania.

Key-words

Biomass energy, energy resources – Tanzania, biomass – energy use, substitution (technology) – fuels.

Índice

Dedicatória	v
Agradecimentos	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiv
Nomenclatura	xvi

Capítulo 1

Introdução	1
<i>Objetivo</i>	3
<i>Estrutura do trabalho</i>	5

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica: Energia para cocção	6
2.1 <i>Consumo e custo de energia</i>	6
2.1.1 Consumo de energia per capita e por quantidade de refeição preparada.	7
2.1.2 Custos de energia por quantidade de energia consumida	10
2.2 <i>Produção e o consumo de combustíveis para cocção</i>	12
2.2.1 Biomassa e crise de lenha dos anos 70	12
2.2.2 Combustíveis fósseis: carvão mineral, querosene e GLP.	14
2.2.3 Tecnologias não convencionais: Biogás, Gás de gasogênio e Dimetil do Éter	17

2.3	<i>Testes de eficiência no consumo e na produção de combustíveis</i>	21
2.3.1	Eficiência de fogões	21
2.3.2	Eficiência na produção de carvão vegetal.....	24
2.4	<i>Consumo de combustíveis tradicionais e seus efeitos secundários</i>	26
2.4.1	Emissão de gases de efeito estufa	27
2.4.2	Poluição do ar em ambientes fechados	30
2.4.3	Desflorestamento e degradação da Terra	39
2.4.4	Definição de energia limpa para cocção	39
2.5	<i>Transição energética: substituição e uso de combustíveis múltiplos</i>	42
2.5.1	Teoria e crítica do modelo de ‘escada energética’	43
2.5.2	Fatores determinantes na escolha de combustível.....	45
2.5.3	Disseminação de fogões e fornos eficientes a biomassa	47
2.5.4	Programas de subsídios aos preços de querosene e GLP.....	50
2.6	<i>Resumo do Capítulo</i>	57

Capítulo 3

Acesso e uso de energia para cocção na Tanzânia	60
3.1 <i>Características socioeconômicas</i>	60
3.2 <i>Oferta e consumo dos principais combustíveis para cocção em Dar es Salaam</i>	64
3.2.1 Carvão vegetal.....	66
3.2.2 Querosene e GLP.	69
3.2.3 Combustíveis não convencionais: biogás, carvão mineral e gás natural.....	71
3.3 <i>Comparação de custos de energia</i>	73
3.4 <i>Energia para cocção, poluição do ar e efeitos sobre a saúde</i>	76
3.4.1 Emissões de GEE no consumo de energia para cocção	76
3.4.2 Emissões de GEEs na produção do carvão vegetal.....	76
3.4.3 Poluição do ar e impactos sobre a saúde	77
3.5 <i>Programas de fogões eficientes na Tanzânia</i>	78
3.6 <i>Resumo do capítulo</i>	80

Capítulo 4

Análise quantitativa de impactos de substituição de combustíveis tradicionais em Dar es Salaam, na Tanzânia	81
4.1 <i>Metodologia</i>	81
4.2 <i>Ferramentas</i>	84
4.2.1 Projeção de demanda.....	84
4.2.2 Estimativas de gases de efeito estufa	88

4.2.3	Concentração de gás monóxido de carbono e substâncias particuladas.....	91
4.3	<i>Descrição de Cenários da análise</i>	92
4.3.1.	Cenário I: Cenário de base	93
4.3.2	Cenário II: Melhoria de eficiência na produção e no consumo do carvão vegetal.....	93
4.3.3	Cenário III: Substituição do carvão vegetal por GLP	95
4.4	<i>Resultados</i>	96
4.4.1	Demanda de energia para cocção	96
4.4.2	O consumo de energia primária	97
4.4.3	Emissão de gases de efeito estufa	100
4.4.4	Concentrações de gás monóxido de carbono e substâncias particuladas.	102
4.5	<i>Discussões</i>	103
4.5.1	Economia na utilização de fogões eficientes e substituição do carvão vegetal ...	103
4.5.2	Emissões de gases de efeito estufa.....	105
4.5.3	Concentrações de CO e PM ₁₀	106
4.5.4	Importações do GLP e seus impactos na economia da Tanzânia.....	107

Capítulo 5

Conclusões e recomendações.....	112
--	------------

Referências Bibliográficas.....	116
--	------------

Lista de Figuras

Figura 1: Evolução de população, PIB e o consumo de energia útil para cocção no Brasil, 1973-2002.....	8
Figura 2: Porcentagem de despesas para energia na renda familiar.....	12
Figura 3: Evolução de preços do GLP e querosene no Golfo Pérsico, 1993-2003.....	17
Figura 4: Utilização de carvão mineral e biomassa na produção de DME na China.....	20
Figura 5: Variação de eficiência global e tipo de fogão e combustível.....	24
Figura 6: Porcentagem da população exposta à poluição do ar nas áreas rurais e urbanas.....	31
Figura 7: Variação de concentração das substâncias particuladas e a ventilação.....	33
Figura 8: Concentração de CO e a variação de ventilação.....	35
Figura 9: Emissões de CO e TSP para diferentes combustíveis e fogões.....	40
Figura 10: Variação de eficiência global e o Índice Ambiental de Fogão, IAF.....	42
Figura 11: Evolução no consumo de combustíveis para cocção no Brasil, 1973-2002.....	43
Figura 12: Comparação de eficiência e custos de fogões.....	44
Figura 13: Fogão cerâmico queniano (KCJ).....	50
Figura 14: Evolução de consumo do GLP em vários segmentos de mercado no Senegal, 1974-1999.....	51
Figura 15: O consumo do GLP por classes sociais na Índia.....	53
Figura 16: Variação de preço e porcentagem de subsídio para O GLP no Brasil, 1998-2001.....	55
Figura 17: Evolução do consumo, preço (corrente) e subsídio para o GLP no Brasil, 1973-2001.....	56
Figura 18: Mapa da Tanzânia.....	60
Figura 19: Evolução do PIB <i>per capita</i> entre 1988 e 2002 na Tanzânia.....	62
Figura 20: Comparação de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e consumo de energia <i>per capita</i> da Tanzânia e de outros países em 2002.....	63
Figura 21: Evolução no consumo de energia útil no setor residencial da Tanzânia, 1988-1996.....	64
Figura 22: Cadeia de comercialização de carvão vegetal na Tanzânia.....	68
Figura 23: Evolução no consumo do querosene e GLP na Tanzânia, 1989-2002.....	71
Figura 24: Evolução de preço do carvão vegetal em Dar es Salaam, 1995-2000.....	75
Figura 25: Fogões a carvão vegetal na Tanzânia.....	78
Figura 26: Estrutura de análise dos impactos de substituição combustíveis.....	84
Figura 27: Projeção da população, 2002-2025.....	87
Figura 28: Projeção da utilização de diferentes combustíveis em Dar es Salaam no Cenário I.....	93
Figura 29: Esquema de hipóteses do Cenário II.....	94
Figura 30: Projeção da utilização de diferentes combustíveis em Dar es Salaam no Cenário II.....	95
Figura 31: Esquema de hipóteses do Cenário III.....	95

Figura 32: Projeção da utilização de diferentes combustíveis em Dar es Salaam no Cenário III..	96
Figura 33: Projeção de demanda de energia para cocção em Dar es Salaam.....	97
Figura 34: Projeção de eficiência no consumo do carvão vegetal, 2005-2025.....	98
Figura 35: Projeção de demanda do carvão vegetal em Dar es Salaam.....	98
Figura 36: Evolução de eficiência na produção do carvão vegetal, 2005-2025.....	99
Figura 37: Projeção do consumo de madeira na produção de carvão vegetal.....	99
Figura 38: Eficiência global na conversão de madeira em energia útil.	100
Figura 39: Emissões de CO ₂ no consumo dos energéticos para cocção	101
Figura 40: Emissões de CO ₂ no consumo de energia para cocção e na produção do carvão vegetal	101
Figura 41: Projeção de emissões de gases de efeito estufa.	102
Figura 42: Concentração <i>per capita</i> de CO.....	102
Figura 43: Concentração <i>per capita</i> de TSP	103
Figura 44: Porcentagem de despesas para o carvão vegetal por quartis.	104
Figura 45: Porcentagem de despesas para o GLP por quartis	105
Figura 46: Evolução e projeção de exportações e importações da Tanzânia, 1995-2010.....	108
Figura 47: Arrecadação do governo da Tanzânia e isenção de impostos para o GLP, 1995-2015	110
Figura 48: Estimativas de subsídios para o GLP por quartis	110

Lista de Tabelas

Tabela 1: Consumo de energia útil para cocção <i>per capita</i>	9
Tabela 2: Comparação de eficiência e o consumo de energia para cocção em Ungra, Índia.	10
Tabela 3: Custo de energia para cocção equivalente ao consumo de 15 kg de GLP na Nigéria, em 1987.....	10
Tabela 4: Penetração de GLP, querosene e energia elétrica em oito países em desenvolvimento, em 1999.....	16
Tabela 5: Características de fogões a carvão vegetal em nove países.....	22
Tabela 6: Eficiência nominal de fogões e combustíveis	23
Tabela 7: Comparação de eficiência e custo de produção de carvão vegetal na Tailândia.....	25
Tabela 8: Comparação de rendimento de fornos em carvoejamento no Quênia e no Brasil	26
Tabela 9: Emissões de CO ₂ para cada 1 MJ de energia útil.....	28
Tabela 10: Potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa	29
Tabela 11: Exposição à poluição para diferentes grupos de idade no Quênia	30
Tabela 12: Concentração de TSP em ambientes fechados nos países em desenvolvimento	32
Tabela 13: Fatores de emissão de TSP por quantidade de energia útil produzida.....	32
Tabela 14: Fatores de emissão de CO por tipo de combustível	34
Tabela 15: Comparação de emissões de PM ₁₀ e CO com os padrões recomendados pela WHO e USEPA	36
Tabela 16: Fatores determinantes na escolha de combustível.....	46
Tabela 17: Estrutura de preço do GLP em dezembro de 2001 e janeiro de 2002 no Rio de Janeiro	55
Tabela 18: Quartis de despesas mensais <i>per capita</i> na Tanzânia.....	62
Tabela 19: Preferência na utilização de combustíveis para cocção em Dar es Salaam, em 2001..	65
Tabela 20: Porcentagem de utilização de diferentes tipos de fogões em Dar es Salaam.	65
Tabela 21: Custos de energia para cocção em Dar es Salaam, em 1990.....	74
Tabela 22: Custos de energia para cocção em Dar es Salaam, em abril de 2002	75
Tabela 23: Emissões de GEEs no setor residencial e comercial na Tanzânia, em 1990.....	76
Tabela 24: Emissão de GEEs na produção de carvão vegetal na Tanzânia, Quênia e no Brasil ...	77
Tabela 25: Número de pacientes ambulatoriais com doenças e infecções de vias respiratórias em Dar es Salaam entre crianças de menos de cinco anos.....	77
Tabela 26: Número de mortes causadas pelas ARIs na Tanzânia entre crianças com menos de 5 anos.....	77
Tabela 27: Intervenções para reduzir desvantagens de utilização de combustíveis tradicionais. ...	83
Tabela 28: Evolução da população em Dar es Salaam, 1967-2002	87
Tabela 29: Projeção de demanda de energia útil para cocção.....	88

Tabela 30: Coeficientes e fatores de emissões de gase de efeito estufa.....	90
Tabela 31: Fatores de emissão de gases de efeito estufa do querosene e GLP	90
Tabela 32: Comparação de custos de energia para cocção entre o carvão vegetal e GLP	105
Tabela 33: Emissões de gases de efeitos estufa no nível mundial pela produção do carvão vegetal na Tanzânia	106

Nomenclatura

Letras latinas

C	Elemento químico carbono
CH ₄	Gás metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
H	Elemento químico hidrogênio
M	Massa [kg]
N ₂ O	Óxido Nitroso
NO	Óxido Nítrico
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O	Elemento químico oxigênio
O ₂	Gás Oxigênio
Q	Demanda de energia [joules]
V, v	Volume [m ³]

Letras gregas

α, β	Proporções em porcentagens [%]
η	Eficiência
Σ	Somatório

Unidades

GgC	Giga gramas equivalente de Carbono (Mt de Carbono)
GJ	Giga joule [10^9 Joule]
h	Hectare equivalente a 10.000 m ² , hora
J	Joule
kg	Quilograma
kg _{ep}	Quilograma equivalente de petróleo
kJ	Kilo joule [10^3 Joule], 1 kcal=4,186 kJ
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora [$3,6 \times 10^6$ Joules]
MJ	Mega joule [10^6 Joule]
Mt	Mega tonelada (10^6 toneladas)
Mtep	10^6 toneladas equivalente de petróleo
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora [$3,6 \times 10^9$ Joules]
PJ	Peta joule [10^{15} Joule]
Ppm	Partes por milhão
T	Tonelada, tempo (horas, minutos)
Tep	Toneladas Equivalentes de Petróleo
TJ	Tera Joule [10^{12} Joule]
W	Watt

Siglas e abreviaturas

AFRPREN	African Energy Policy and Research Network	Rede Africana de Políticas Energéticas e Pesquisas.
ANP	Agência Nacional de Petróleo do Brasil	
AREED	African Rural Energy Enterprises Development	Desenvolvimento de Empresas de Energia Rural na África.
ARI	Acute Respiratory Infection	Infecção Respiratória Aguda
BEN	Balanço Energético Nacional	
BOT	Bank of Tanzania	Banco Central da Tanzânia
CAMARTEC	Centre of Agriculture Mechanization and Rural Technologies	Centro de Mecanização Agrícola e Tecnologias Rurais
CDM	Clean Development Mechanism	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
CEEST	Centre for Energy, Environment, Science and Technology (Tanzania)	Centro de Energia, Meio Ambiente. Ciência e Tecnologia (Tanzânia)
CENBIO	Centro de Referência de Biomassa	
CFC	Chlorofluorocarbon	Clorofluorcarbono
CHAPOSA	Charcoal Potential in Southern Africa	Potencial de Carvão Vegetal no Sul da África
CIF	Cost Insurance and Flight	Custo de mercadoria, Seguro e Frete
COHb	Carboxyhaemoglobin	Carboxiemoglobina
CONM	Compostos Orgânicos não Metânicos	
DME	Dimethyl Ether	Dimetil do Étil
EDRC	Energy for Development Research Center (University of Cape Town, South Africa)	Centro de Pesquisa em Energia para Desenvolvimento (Universidade de Cidade de Cabo, África do Sul)
EFEI	Escolar Federal de Engenharia de Itajubá	
ESMAP	Energy Sector Management Assistance Programme	O Programa de Assistência ao Gerenciamento do Setor Energético
FAO	Food and Agriculture Organization	Organização para Agricultura e Alimentação
GEE	Gás de Efeito Estufa	
GEF	Global Environmental Facility	Fundo Global para o Meio Ambiente
GLP	Gás Liquefeito de petróleo	
Hifab	Swedish Management Consultants for Development Assistance Projects	Consultoria da Suécia especializada em Gerenciamento de Projeto de Desenvolvimento.
HIVOS	Humanist Institute for Cooperation with Developing Countries	Instituição Humanitária para a Cooperação como os Países em Desenvolvimento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.	
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano	
IISc.	Indian Institute of Science	Instituto de Ciência da Índia.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada	
ITDG	Intermediate Technology Development Group	Grupo para Intermediação do Desenvolvimento Tecnológico
JI	Joint Implementation (no Protocolo de Quioto)	Implementação Conjunta
KCJ	Kenya Ceramic Jiko	Fogão Cerâmico do Quênia
KENGO	Kenya Energy and Environment Organizations	Organizações de Energia e Meio Ambiente no Quênia.
MAI	Mean Annual Increament [m ³ /ha/year]	Taxa média de crescimento anual [m ³ /ha/ano]
MDG	Millenium Development Goals	Metas de Desenvolvimento do Milênio
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards of the United States	Padrões de Qualidade do Ar Ambiente dos Estados Unidos
NBS	National Bureau of Statistics (Tanzania)	Departamento de Estatísticas da Tanzânia

NORAD	Norwegian Agency for Development Cooperation	Agência Norueguesa de Cooperação para o Desenvolvimento
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development.	Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento
ONU	Organização das Nações Unidas	
OTA	Office of Technological Assessment of the United States	Escritório de Avaliação Tecnológica dos Estados Unidos
PAG	Potencial de Aquecimento Global	
PCI	Poder Calorífico Inferior [kJ/kg]	
PCS	Poder Calorífico Superior [MJ/kg, MJ/t]	
PIB	Produto Interno Bruto	
PNB	Produto Nacional Bruto	
RNB	Renda Nacional Bruta	
RWEDP	Rural Wood Energy Development Programme in Asia	Programa de Desenvolvimento de Energia da Biomassa em Áreas Rurais da Ásia
SEI	Stockholm Environmental Institute	Instituto de meio ambiente de Stockholm
TaTEDO	Tanzania Traditional Energy Development and Environment Organization	Organização para o Desenvolvimento de Energia Tradicional e o Meio Ambiente na Tanzânia.
TSED	Tanzanian Socioeconomic Database	Banco de Dados Socioeconômicos da Tanzânia.
TSH	Tanzanian Shilling	Xelim da Tanzânia ¹
TSP	Total Suspended Particles	Substâncias Particulada em Suspensão
UNDP	United Nations Development Program	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
UNEP	United Nations Environmental Programme	Programa para o Meio Ambiental das Nações Unidas
UNICEF	United Nation's Children Fund	Fundo das Nações Unidas para a Infância.
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá	
URT	United Republic of Tanzania	Republica Unida da Tanzânia
US\$	Dólar, moeda dos Estados Unidos	
USEPA	United States Environmental Protection Agency	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
VAT	Value Added Tax	Imposto sobre Valor Agregado
WEA	World Energy Assessment	
WEC	World Energy Council	Conselho Mundial de Energia
WHO	World Health Organization	Organização Mundial de Saúde
WLGPA	World LP Gas Association	Associação Mundial de Gás Liquefeito de Petróleo.

¹ US\$ 1 = TSH 1007, BOT (Setembro,2004)

Capítulo 1

Introdução

Na maioria das áreas rurais e nas pequenas cidades, a disponibilidade dos combustíveis mais limpos² (querosene, GLP e gás natural) é intermitente ou não existem devido à falta de infra-estrutura de distribuição e comercialização. Assim sendo, estes combustíveis são relativamente mais caros do que os tradicionais (lenha e carvão vegetal) disponíveis nestas áreas. Em países que não produzem petróleo ou gás natural, eles são importados e seus preços variam constantemente em consonância com o preço do petróleo no mercado internacional. A situação sócio-econômica precária e o baixo poder aquisitivo da população³ impedem a penetração destes combustíveis nestas áreas. Nestes casos, a população não tem outras opções senão continuar utilizando combustíveis tradicionais em fogões ineficientes, que são disponíveis em abundância a custos menores e até nenhum.

Uma das desvantagens da utilização dos fogões e combustíveis tradicionais é a baixa eficiência de combustão. A eficiência de um fogão a lenha é frequentemente menor do que 10% (Kammen, 1995, WEC, 1999, Goldemberg e Villaneuva, 2003) e a queima incompleta dos combustíveis tradicionais gera, além do gás dióxido de carbono (CO₂), os produtos monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), compostos orgânicos não metânicos (CONM) e substâncias particuladas em suspensão, *total suspended particles*, (TSP).

² Também conhecidos como combustíveis comerciais ou modernos, referem-se à fonte de energia de alta qualidade e eficiência de combustão. Normalmente são comercializados e incluem, por exemplo, a energia elétrica e os derivados de petróleo e excluem os combustíveis tradicionais tais como a lenha e esterco seco. O nome somente mostra a posição de um combustível em relação a outros e não pretende significar que o combustível é completamente limpo.

³ O número total de pessoas residentes de um país sejam cidadãos ou não.

A concentração dos gases poluentes em ambientes fechados, mesmo pela utilização de fogões eficientes⁴, é maior do que os níveis indicados pela Organização Mundial de Saúde, *World Health Organization (WHO)* e Agência Ambiental dos Estados Unidos, *United States Environment Protection Agency (USEPA)*. Por exemplo, um fogão tradicional⁵ e um fogão eficiente produzem TSP em concentrações que são, respectivamente, 7 e 3 vezes maiores do que o nível recomendado pela USEPA, que é de 120 mg/m³ (seção 2.4.3). As concentrações elevadas das TSP em ambientes fechados aumentam o risco das infecções⁶ agudas respiratórias, *acute respiratory infections (ARI)* e outras doenças tais como o câncer e a tuberculose. Estas infecções estão entre as quatro maiores causas de mortes e de doenças nos países em desenvolvimento (Bruce *et al.*, 2002a).

O impacto de emissão dos gases poluentes se estende ao nível global, uma vez que a queima dos combustíveis tradicionais produz gases de efeito estufa⁷ (GEE). A contribuição ao inventário destes gases é potencialmente maior, desde que aproximadamente metade da população mundial utiliza tais tipos de combustíveis para cocção (UNDP, 2002).

A utilização de fogões eficientes, substituição dos combustíveis tradicionais e melhoria de ventilação são entre as soluções encontradas para diminuir a poluição em ambientes fechados e no meio ambiente. Estas medidas seguem o que se chama modelo de escada energética, que explica a teoria de dinâmicas de escolha, adaptação e utilização de diferentes combinações de fogões e combustíveis (seção 2.5.1). A teoria de escada energética sugere que com o aumento da afluência, consumidores progressivamente troquem os combustíveis tradicionais (esterco seco, resíduos agrícolas, lenha, carvão vegetal) pelos modernos (querosene e GLP), como se fossem subindo uma escada. Há um aumento de eficiência e diminuição de poluição, subindo a escada energética. Porém, foi comprovado que a escolha de combustível não é unidirecional; normalmente os consumidores utilizam mais de um tipo de combustível e fogão, dependendo da

⁴ Um fogão eficiente é um fogão que tem maior capacidade de transferir à panela a energia gerada pela queima de combustível; assim, tem como característica principal maior economia no seu consumo. Hoje, além da alta eficiência térmica, um fogão eficiente deve produzir menos gases poluentes e substâncias particuladas durante sua utilização.

⁵ Refere-se a um fogão ineficiente que utiliza combustíveis tradicionais tais como lenha, resíduos agrícolas e esterco seco.

⁶ Infecções de vias respiratórias causadas pela inalação do ar poluído.

⁷ Os gases de efeito estufa se acumulam na atmosfera e atuam como cobertor que impede o escape da energia infravermelha refletida da superfície da Terra, dessa forma, aumenta-se a temperatura terrestre.

sua acessibilidade, disponibilidade, conveniência (Masera, *et al.*, 2000). Dessa forma, o consumo de energia para cocção é composto de combustíveis múltiplos e não seguem uma transição progressivamente linear como sugerida na teoria de escada energética.

Dar es Salaam, a maior cidade da Tanzânia, é uma das cidades da África Subsaariana⁸ que dependem altamente do carvão vegetal como um combustível para cocção tanto no setor residencial quanto comercial. A população atual em Dar es Salaam é de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes e a taxa de crescimento é entre 4% e 6% ao ano. Espera-se que este número da população seja o em 20 anos. Cerca de 70% da população da cidade utiliza o carvão vegetal como a primeira preferência entre as fontes de energia para cocção (seção 3.2.1). A transição energética para os combustíveis modernos é lenta e não há expectativas de um aumento na utilização de tecnologias e combustíveis limpos a curto prazo.

Objetivo

Este trabalho procura analisar quantitativamente, durante um período de 20 anos, os impactos de melhoria de eficiência no consumo e na produção do carvão vegetal, e de introdução do GLP em grande escala em Dar es Salaam. Este objetivo baseia-se na promessa de que a melhoria de eficiência ou a utilização de combustíveis gasosos ou líquidos diminui a demanda energética e o consumo de energia primária quanto como poluição do ar em ambientes fechados e emissão de gases de efeito estufa.

O motivo deste trabalho também surgiu da necessidade de atualizar informação sobre a energia para cocção nos países em desenvolvimento. Existem poucos estudos ao respeito deste tema na literatura brasileira e este estudo procurou identificar e organizar esta informação.

Esta análise pode contribuir, no nível nacional, ao alcançar o desenvolvimento sustentável

⁸ África-Subsaariana inclui todos os países do continente África exceto a República de África do Sul (neste documento referido simplesmente como África do Sul) e os países de norte da África: Argélia, Egito, Líbia, Marrocos, Tunísia.

das Metas de Desenvolvimento do Milênio⁹ *Millenium Development Goals (MDGs)* da Organização das Nações Unidas (ONU). Entre as oito metas do desenvolvimento, o acesso a tecnologia mais limpa é uma dos indicadores da sétima meta que enfatiza a integração dos princípios de desenvolvimento sustentável nas políticas públicas e em reduzir a degradação dos recursos naturais. A utilização de combustíveis limpos e de tecnologias eficientes contribui à qualidade de energia, melhoria de saúde e diminui a quantidade de emissões ao meio ambiente.

O resultado deste trabalho também pode ser importante nas negociações internacionais sobre a redução de emissões de gases de efeito estufa, já que a Rússia ratificou o Protocolo de Quioto sobre mudança de clima¹⁰, permitindo que esse tratado entre em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005. O Protocolo de Quioto, assinado em dezembro de 1997, inovou a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, estipulando, como uma taxa geral, que os países industrializados, insertos no Anexo I da Convenção, reduzissem (entre 2008 e 2012), em torno de 5% das emissões dos gases de efeito estufa, tendo como base o volume emitido em 1990.

No intuito de possibilitar a esses países flexibilidade na consecução das metas quantificadas de redução de emissões, o Protocolo de Quioto criou o Mecanismo¹¹ de Desenvolvimento Limpo (*Clean Development Mechanism - CDM*) que permite a participação dos países em desenvolvimento. O CDM tem como objetivo assistir os países industrializados na consecução de suas metas de redução de emissões de gases de efeito estufa, por meio da implementação de projetos de redução ou seqüestro de emissões desses gases nos países em desenvolvimento, fazendo com que, nestes países, haja promoção de práticas de desenvolvimento sustentável. Além de reduzir emissões de gases de efeito estufa (discutidos na seção 2.4), os projetos de CDM podem também diminuir a poluição local e reduzir seus impactos à saúde, melhorar a segurança

⁹ As Metas de Desenvolvimento do Milênio constituem um programa que visa melhorar condições da população pobre que vive ganhando menos de US\$ 1/dia *per capita*. O programa estipula metas para reduzir pobreza, fome, doenças, analfabetos, degradação do meio ambiente e discriminação contra mulher. Alguns indicadores da sétima meta incluem (1) o consumo energético/PIB [tep/US\$], (2) emissões *per capita* de CO₂ [kg] e (3) a porcentagem da população que usa combustíveis sólidos. Maiores informações em: <http://www.unmillenniumproject.org/html/about.shtml>.

¹⁰ Maiores informações no site: http://unfccc.int/kyoto_mechanisms/items/1673.php

¹¹ Outros mecanismos incluem o mercado de carbono e a Implementação Conjunta (Joint Implementation - JI). O mercado de carbono permite que os países industrializados listados no Anexo I da Convenção-Quadro possam comercializar entre si as reduções obtidas além de suas metas quantificadas e as JI permitem que esses mesmos países, de forma conjunta, desenvolvam projetos de redução de emissões.

na oferta de energia, criar empregos e possibilitar a transferência de tecnologia. Estes benefícios secundários podem impulsionar o governo da Tanzânia a negociar os projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa, na área de utilização de biomassa para cocção, junto com outros investidores externos ou através do CDM.

Estrutura do trabalho

Este trabalho é organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 é a introdução e no Capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre energia limpa para cocção no setor residencial, com o objetivo de analisar os combustíveis e tecnologias para cocção, poluição em ambientes fechados e no meio ambiente, definição de combustível limpo para cocção e os fatores determinantes em escolha de combustível. O Capítulo 2 também apresenta a experiência internacional na promoção das tecnologias e dos combustíveis limpos.

Segue no Capítulo 3, a discussão sobre as características socioeconômicas, demanda, consumo, acesso, custo emissão de gases poluentes e iniciativas para melhorar a oferta e o consumo de energia para cocção na Tanzânia, especificamente na cidade de Dar es Salaam.

O Capítulo 4 utiliza as informações desenvolvidas nos Capítulos 2 e 3 para identificar as possibilidades de atender a demanda de energia para cocção em Dar es Salaam e analisar quantitativamente os impactos de melhoria na eficiência e a substituição de combustíveis. As possibilidades são agrupadas em três cenários que são analisados em termos de demanda de energia para cocção, consumo de energia primária, poluição em ambientes fechados, emissão de gases de efeito estufa e custos¹² por unidade de energia produzida. O Capítulo 5 é a conclusão do trabalho.

¹² Não inclui a análise de custo de ciclo de vida dos combustíveis.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica: Energia para cocção

A utilização de combustíveis tradicionais provenientes da biomassa em fogões ineficientes é comum nas áreas rurais e nas áreas pobres suburbanas dos países em desenvolvimento. Mais de metade da população mundial ainda utiliza combustíveis sólidos na cocção (UNDP, 2002). A utilização ineficiente de bio-combustíveis aumenta o consumo biomassa e está associada tanto à poluição do ar em ambientes fechados quanto à poluição do meio ambiente. Devido à falta de infra-estrutura de comercialização dos combustíveis modernos, considerados mais limpos, a substituição dos combustíveis tradicionais tem sido lenta e inconsistente. Este capítulo apresenta discussões sobre combustíveis e tecnologias alternativas para cocção, poluição do ar em ambientes fechados e do meio ambiente e os fatores determinantes para substituição de combustível.

2.1 Consumo e custo de energia

Entre as famílias pobres nos países subdesenvolvidos, a energia para cocção de alimentos e aquecimento compõe 90% a 100% do consumo energético residencial¹³ (WEC, 1999). Segundo o WEC, os combustíveis mais comuns para cocção são agrupados em três categorias: modernos (energia elétrica, GLP), intermediários (querosene, carvão vegetal) e tradicionais (lenha, esterco seco, resíduos agrícolas). Aproximadamente três bilhões de pessoas, a maioria em países em

¹³ É a energia necessária para cocção de alimentos, aquecimento, iluminação, refrigeração e comunicação através de rádio, telefone ou televisão.

desenvolvimento, preparam suas refeições, utilizando combustíveis sólidos provenientes da biomassa ou carvão mineral (UNDP/World Bank, 2002).

Calcula-se que mais de 2,5 bilhões de pessoas utilizam biomassa, incluindo lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas e esterco seco, como a fonte primária de energia para cocção (Reddy, 1997). Em vários países subdesenvolvidos, a utilização da biomassa responde por até 95% do consumo energético domiciliar (Arungu-Olede, 1984 em Saldiva e Miragila, 2004). Apesar da redução do consumo de biomassa a nível mundial, foi comprovado que sua utilização *per capita* aumentou entre os mais pobres (Bruce *et al.*, 2002). A contribuição da biomassa no consumo de energia primária varia entre 80% a 90% (países pobres), 55% a 65% (países de renda média) e 30% a 40% (países de alta renda). O carvão vegetal é extensivamente utilizado na maioria das áreas urbanas na África, enquanto que o carvão mineral é comum em países tais como China, África do Sul e Moçambique (UNDP, 2000). Outros combustíveis para cocção incluem os derivados de petróleo como querosene e GLP.

2.1.1 Consumo de energia per capita e por quantidade de refeição preparada.

O consumo *per capita* de combustíveis tradicionais nas áreas rurais varia significativamente, dependendo da eficiência de fogões utilizados e do tipo de combustível utilizado. O consumo de lenha ou resíduos agrícolas na preparação de refeições varia entre 11,5 a 49 MJ/dia *per capita* (WEC, 1999). Em Bangladesh, por exemplo, entre 1976 e 1982, o consumo de energia para cocção *per capita* variava entre 1,6 GJ/ano a 8,1 GJ/ano, resultando em uma média de 4,7 GJ/ano (Ali, 2002). Geller e Dutt (1993), citando Astra (1981), mostram que o consumo *per capita* de energia final¹⁴ para cocção no sul da Índia, no início dos anos 80, era em torno de 8,0 GJ/ano, valor comparável como estimado por Ali (2002).

Em residências onde há o emprego de combustíveis modernos, fogões de alta eficiência e preparação de refeições leves, o consumo de energia útil¹⁵ *per capita* para cocção gira em torno de 2-3 MJ/dia (WEC, 1999). Nos Estados Unidos, o consumo médio de energia para cocção *per*

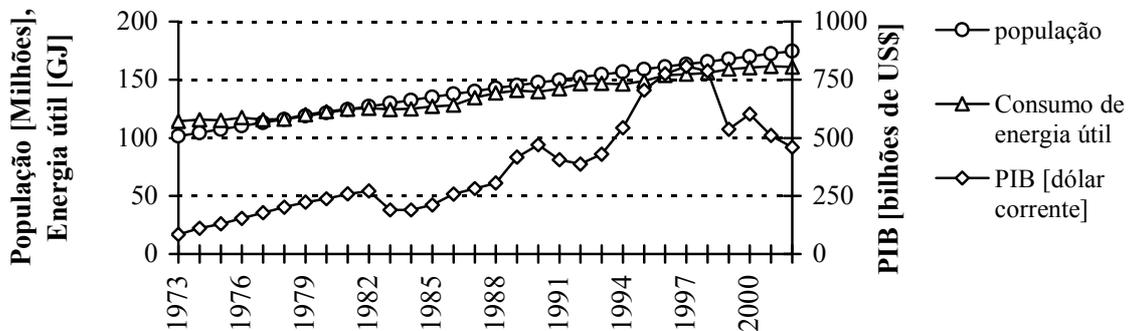
¹⁴ A energia na utilização final do combustível, por exemplo, carvão vegetal, lenha, querosene, GLP e energia elétrica.

¹⁵ A proporção de energia final que chega à panela e é efetivamente utilizada para a cocção, dependendo da eficiência do fogão.

capita nos anos 70, girava em torno de 1,5 e 2,0 GJ/ano, utilizando um fogão a gás (Openshaw, 1978 em Geller e Dutt, 1983).

No Brasil, o consumo de energia útil *per capita*, em 1973, diminuiu de 1,13 GJ/ano para 0,90 GJ/ano em 2002, sendo o consumo médio em torno de 0,98 GJ. Durante este período, o consumo de energia útil para cocção¹⁶ aumentou aproximadamente na mesma taxa de crescimento da população e observa-se que não há relação direta entre o crescimento do consumo e o crescimento do produto interno bruto (PIB)¹⁷ do país (BEN, 2003), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Evolução de população, PIB e o consumo de energia útil para cocção no Brasil, 1973-2002



Fonte: Elaboração própria a partir de dados obtido do BEN (2003)¹⁸ e da IPEA (2004).

Dos três parágrafos acima, o consumo *per capita* de energia útil para cocção pode ser estimado num valor constante em torno de 1 GJ/ano, conforme apresentado na Tabela 1.

¹⁶ Foram considerados somente os combustíveis principais: lenha, carvão vegetal, GLP e gás canalizado.

$$E_{\text{útil}} \text{ per capita} = \left[\sum CF_i \times PCI_i \times \eta_i \right] \div \text{população}$$

onde

CF_i e PCI_i representa o consumo final e poder calorífico inferior do combustível i , e

η é a eficiência de fogão no consumo de combustível i .

- Todos os fogões que utilizam o mesmo combustível foram considerados como tendo a mesma eficiência (η): fogões a lenha, carvão vegetal de 15% e gás de 50%. Este hipótese é bastante razoável dada a padronização existente entre fogões a gás. O mesmo não ocorre como os fogões a lenha e a carvão vegetal.

No BEN, o consumo do carvão vegetal e da lenha é determinado através de interpolações e extrapolações de dados dos censos de IBGE e através de correlações com o consumo dos outros energéticos no setor residencial.

¹⁷ O produto interno bruto, PIB, refere-se ao total de bens e serviços produzidos e comercializados dentro de território doméstico de um país.

¹⁸ Os dados do BEN apresentados neste estudo foram extraídos da última versão disponível, cuja série temporal é atualizada até o ano de 2003. O BEN é a principal fonte oficial de dados ao respeito do consumo de energia no Brasil. O BEN apresenta sistematicamente, em uma visão de conjunto, dados de consumo de diferentes formas de energia num único documento. Há algumas críticas ao modo como ele é construído, mas não foram discutidos neste trabalho.

Tabela 1: Consumo de energia útil para cocção *per capita*

Autor/Fonte	Tipo de Combustível	Consumo <i>per capita</i> de energia final, E_{final}			Consumo <i>per capita</i> de energia útil
		Quantidade	Unidades	Médio [GJ/ano]	$E_{útil}$ [GJ/ano] $E_{útil} = E_{final} \times \eta$
WEC (1999)	Lenha, resíduos agrícolas	11,5 – 45	MJ/dia	10,311	1,546
Ali (2002)	Lenha, resíduos agrícolas	1,6 - 8,1	GJ/ano	4,850	0,727
Geller e Dutt (1993)	Lenha, resíduos agrícolas	8,0	GJ/ano	8,000	1,200
WEC (1999)	GLP (energia útil)	2,0 - 3,0	MJ/dia	0,913	0,913
Geller e Dutt (1993)	GLP/Gás natural	1,5 - 2,0	GJ/ano	1,750	0,875
BEN (2003)	GLP/Lenha	0,9 - 1,13	GJ/ano	1,105	1,015
			Médio		1,046

Fonte: Elaboração própria a partir de dados dos autores/fontes na primeira coluna da tabela.

O consumo de energia também depende do tipo de alimentos e do número de refeições preparadas por dia (WEC, 1999). A preparação dos alimentos principais (arroz, milho, feijão) gasta mais energia do que a preparação dos subsidiários (legumes e carnes). Utilizando um fogão a lenha para uma família média de 5 pessoas, a preparação da maioria dos alimentos consome entre 12 e 38 MJ/kg, enquanto o cozimento do feijão consome até 225 MJ/kg, segundo WEC (1999).

O consumo de energia na preparação de refeições depende, portanto, da eficiência nominal¹⁹ da combinação entre fogão e combustível. Dutt e Ravindranath (1993) mostram que a utilização de um fogão elétrico em Ungra, na Índia, gasta menos energia final do que outros tipos de fogões na preparação de uma refeição típica (arroz, feijão-de-vaca, milho miúdo e verduras). O fogão tradicional a lenha consome aproximadamente 4 vezes e 5 vezes mais energia do que o fogão a querosene e o fogão a GLP, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 2. Observa-se também que os fogões mais eficientes consomem menos energia e os fogões a lenha de três bocas têm maior potência e possibilitam o cozimento rápido de refeições.

¹⁹ A eficiência térmica na conversão da energia final para energia útil, daqui adiante será simplesmente referida como “eficiência”.

Tabela 2: Comparação de eficiência e o consumo de energia para cocção em Ungra, Índia.

Combustível	Fogão	Eficiência nominal [%]	Consumo específico de combustível		Tempo médio de cozimento [minutos]
			Unidade física	[MJ/kg de refeição]	
Lenha	Três pedras	15,6	217 g	3,44	101
	Tradicional 3-bocas	14,2	271 g	4,31	62
	ASTRA ole 3-bocas	33,5	141 g	2,24	62
	Swosthee MS-4	17,2	183 g	2,91	111
Carvão vegetal	Tradicional (metal)	23,2	95 g	2,38	n/a
Esterco seco (em pedaços)	Tradicional 3-bocas	11,1	304 g	4,00	n/a
Serragem	IISc. melhorado	30,4	253 g	4,02	n/a
Biogás	Queimador KVIC	45,1	0,05 m ³	1,23	103
Querosene	Nutan	60,2	26,1 g	1,13	106
	Perfect	40,4	26,6 g	1,15	131
LPG	Superflame	60,4	20,1 g	0,91	76
Energia elétrica	Chapa quente	71,3	0,17 kWh	0,64	99

Fonte: Dutt e Ravandranath (1993).

2.1.2 Custos de energia por quantidade de energia consumida

O custo unitário da energia para cocção varia significativamente entre diferentes combinações de fogões e combustíveis. Nos casos em que o custo da biomassa é nulo, ele torna-se o combustível mais barato para cocção. Na Tabela 3, Leach e Gowen (1987), em Baranzini e Goldemberg (1996), apresentam custos de utilização de vários combustíveis equivalentes à utilização de 15 kg de GLP na Nigéria, em 1987. Observa-se que a utilização da lenha representa a alternativa mais cara para cocção.

Tabela 3: Custo de energia para cocção equivalente ao consumo de 15 kg de GLP na Nigéria, em 1987.

Combustível	Custo de combustível [k/unidade]	Valor calorífico [MJ/unidade]	Eficiência de fogão [%]	Custo efetivo energia [k/MJ]	Despesas médias [US\$/mês]
Lenha (seca)	17/kg	14,7/kg	8-13	8,9-14,5	9,4
Carvão vegetal	22/kg	25,1/kg	20-25	4,4-5,8	3,4
Querosene (pavio, 1 queimador)	10/litro	34,8/litro	30-40	0,7-1,0	0,7
LPG	34/kg	49,0/kg	45-55	1,3-1,5	1,3
Energia elétrica	6/kWh	3,6/kWh	60-70	2,4-2,7	2,2

Nota:

Os preços originais expressos em kobo, um centavo de Naira, a moeda nigeriana equivale a US\$ 4,016 em 1987.

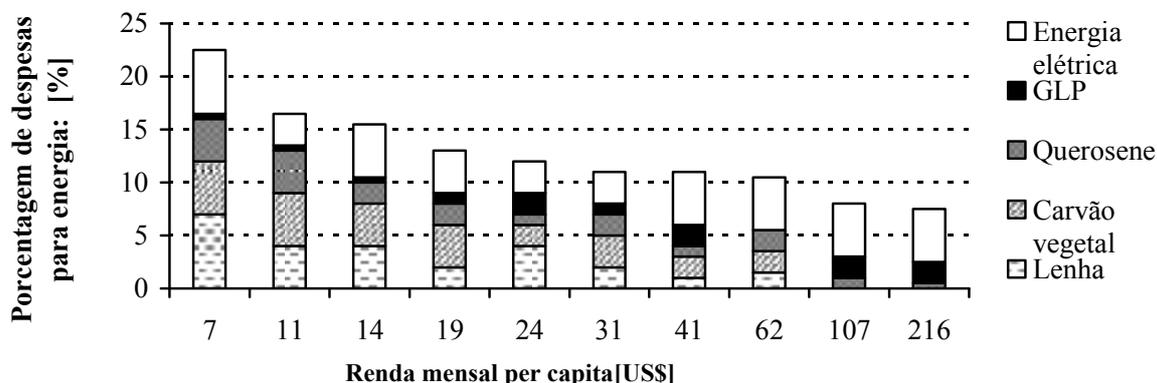
Fonte: Leach e Gowen (1987) em Baranzini e Goldemberg (1996).

No consumo energético domiciliar, as famílias pobres gastam menos recursos financeiros com energia do que as famílias ricas, pois consomem menos combustíveis comerciais. Entretanto, elas gastam a maior parte de seu tempo na coleta, produção e utilização da energia. Segundo Reddy (1997), no Paquistão, a proporção de 5,4% das despesas das famílias mais pobres é dedicada para a energia, enquanto as famílias ricas gastam 22,2%. Quanto maior o nível de renda, menor a proporção do consumo para cocção e maior a proporção do consumo para aquecimento de água e a utilização de aparelhos elétricos.

As famílias ricas utilizam os fogões mais eficientes assim diminuindo seu consumo de energia para cocção. Os fogões eficientes são mais caros do que os tradicionais, portanto, a sua utilização é mais comum somente entre as famílias de alto nível de renda. Floor e Groove (1990), em Baranzini e Goldemberg (1996), mostram que as famílias pobres não poupam suficientemente e não são capazes de gastar grande montante de dinheiro na compra de botijões de gás e fogões eficientes.

Nas áreas urbanas, ao contrário da situação nas áreas rurais, os consumidores pagam pela energia que consomem. Barnes (1995) mostra que em 20 mil residências urbanas em 45 cidades, em 12 países, as famílias pobres gastam em energia de 15% a 22% da sua renda mensal. Segundo o autor, em torno de 20% de residências são mais pobres, apresentando renda mensal de US\$ 7 a 11 *per capita*, conforme apresentado na Figura 2. A porcentagem ideal de despesas com energia é entre 5-10%, bem como ocorre para os consumidores dos combustíveis modernos (Barnes, 1995). O autor não explicou o maior consumo de lenha na classe de renda mensal *per capita* de US\$ 24. Esta irregularidade pode ter causado pela grande variação dos dados analisados.

Figura 2: Porcentagem de despesas para energia na renda familiar



Fonte: Barnes, *et al.* (1995).

2.2 Produção e o consumo de combustíveis para cocção

2.2.1 Biomassa e crise de lenha dos anos 70

A crise de lenha, *woodfuel gap*, surgiu numa época em que havia a preocupação de que a taxa de consumo da lenha era maior do que o reflorestamento (WEC, 1999). A Organização para Agricultura e Alimentação (FAO), em 1980, divulgou que mais de um bilhão de pessoas estavam numa situação de deficiência de lenha. Nos países do Sael²⁰, a taxa de consumo de lenha era maior do que a de reflorestamento em 70% no Sudão, 75% no norte da Nigéria, 150% na Etiópia e 20% em Níger. Em 1988, o Banco Mundial recomendou que a taxa de reflorestamento na África Subsaariana²¹ deveria aumentar em 15 vezes em 2000, para que a taxa de consumo igualasse à taxa de reflorestamento.

Porém, ao contrário desta hipótese, foi mostrado que somente a menor parte da biomassa utilizada em residências rurais originava-se das reservas florestais e das plantações comerciais. As principais fontes da biomassa são áreas ao redor de domicílios, ao longo de rodovias e nas glebas de terra cultivada, entre outros (Dutt e Ravindranath, 1993). Na Índia, por exemplo, cerca de 80% de toda a biomassa consumida não envolvem corte de árvores, ao contrário, envolvem

²⁰ O Sael, ou Sahel, é a região semi-árida ao Sul do deserto do Saara, zona de transição entre o clima desértico e o tropical que se estende no sentido Oeste-Leste incluindo países como Senegal, Tchade, Mali, Burkina Fasso, Níger, Nigéria, Sudão, Etiópia, Eritrêia, Djibout e Somália.

²¹ África-Subsaariana inclui todos os países do continente África exceto a República de África do Sul (neste documento referido simplesmente como África do Sul) e os países de norte da África: Argélia, Egito, Líbia, Marrocos, Tunísia.

coleta de biomassa como galhos, ramos, raízes e resíduos agrícolas, segundo Dutt e Ravindranath (1993). Como a importância destas fontes foi negligenciada, as estimativas eram altamente exageradas. A Organização para Agricultura e Alimentação, *Food and Agriculture Organization (FAO)*, ressalta que a clareira para atividades agrícolas, é a maior causa de desflorestamento, sendo responsável por 70% do desmatamento na África, entre 1950 e 1983 (FAO, 1995b). Segundo a organização, o consumo da lenha corresponde a apenas 7% do desflorestamento.

A maior preocupação, no entanto, é o consumo crescente da biomassa nas áreas urbanas, principalmente na produção do carvão vegetal. FAO (1995b) relata que 26 milhões de toneladas de carvão vegetal foram produzidas no mundo em 1995 e a taxa de produção aumentava aproximadamente 3% por ano, durante o período de 1991-1995. O carvão vegetal representa em torno de 12% de consumo energético de combustíveis provenientes da biomassa. Pennise *et al.* (2004) citam a estimativa de Rosillo-Calle *et al.* (1996) em que aponta a produção de 100 milhões de toneladas de carvão vegetal em 1995. Os autores explicam que esta grande variação entre os dados da FAO (1997) e de Rosillo-Calle *et al.* (1996) é devido ao fato de que grande parte do carvão vegetal é produzida e comercializada informalmente, o que dificulta estimativas mais precisas.

O Brasil é o maior produtor de carvão vegetal do mundo, produzindo, em 1999, 7,1 milhões de toneladas, 25% da produção mundial (Pinheiro e Sampaio, 2001 em Barcellos, 2002). Em 2002, o país produziu 7.353 mil toneladas (BEN, 2003) sendo que o setor industrial como o maior consumidor de carvão, responsável por 89% seguido pelo setor residencial (9,5%) e setor comercial (1,5%). Setenta e cinco por cento de todo carvão vegetal produzido no Brasil é oriundo de madeira de reflorestamento, sendo que 52% das florestas plantadas são compostas de eucalipto. A produção do carvão vegetal é o que mais consome madeira de reflorestamento representando quase 30% do consumo total de madeira industrial no Brasil. Somente 25% da produção do carvão é proveniente das florestas nativas (Barcellos, 2002).

Devido à sua alta fragilidade, o carvão vegetal gera partículas finas provenientes da sua própria quebra durante a produção, transporte e manuseio. Os finos de carvão vegetal não são utilizados no consumo residencial, pois se queimam lentamente e produzem muita fumaça devido

à alta quantidade de areia e argila na sua composição²². Antunes (1982), citado por Cortez (1997), calcula que aproximadamente 20% do volume do carvão vegetal produzido se transforma em finos.

2.2.2 Combustíveis fósseis: carvão mineral, querosene e GLP.

Carvão mineral

O carvão mineral oferece 25% de toda a demanda de energia primária do mundo, principalmente para geração de energia elétrica e calor (World Bank, 2004). A demanda por carvão aumentou para 1 bilhão de toneladas, entre 1980 e 1995 principalmente para a geração de energia elétrica e produção de vapor. A China é o maior consumidor do carvão e, em 1996, consumiu 1.500 milhões toneladas enquanto a Índia é o terceiro país entre os maiores produtores do combustível. O carvão mineral é também utilizado para cocção no setor residencial na China, África do Sul, Índia Moçambique (Ellegard, 1993, Edward *et al.*, 2003). Van Horen e Eberhard (1999) ressaltam que o consumo do carvão mineral no setor residencial da África do Sul varia entre 1,5 a 7,4 milhões de toneladas/ano, e eles sugerem que o consumo deve chegar até 3 milhões de toneladas/ano. Van Horen *et al.* (1993) avaliam que 1 milhão de residências (5 a 6 milhões de pessoas) utilizavam o carvão betuminoso para cocção na África do Sul.

O carvão mineral contém enxofre e uma grande parcela de cinza, sendo assim um dos combustíveis mais perigosos para a saúde do ser humano. Na África do Sul, por exemplo, o conteúdo de enxofre no carvão mineral é em torno de 1%, relativamente baixo em relação aos padrões internacionais, todavia, o conteúdo da cinza é em torno de 40%. Dessa forma, a queima do carvão mineral em fogões domésticos emite uma quantidade elevada de substâncias particuladas (van Horen *et al.*, 1996). A produção de carvão mineral para uso doméstico, portanto, deve diminuir impurezas e melhorar as características de combustão do carvão e, como resultados, reduzir a emissão de gases poluidores.

Em termos de reatividade química, o carvão mineral é difícil acender e queimar o carvão mineral e quando a quantidade de carvão no fogão diminui a velocidade de combustão também

²² Areia e argila são levadas do solo durante a produção do carvão.

diminui (Foley e van Buren, 1980). Com densidade de 3 a 4 vezes maior do que o carvão vegetal, um dado volume do carvão mineral pode produzir de 3 a 4 vezes mais calor do que o mesmo volume de carvão vegetal. Esta é a causa de superaquecimentos e queimas inesperadas, quando utilizado para cocção, pois é muito provável que o usuário, por esquecimento utilize-o na mesma quantidade em que utiliza o carvão vegetal. O poder calorífico inferior do carvão vegetal varia entre 20,1 GJ/t e 29,30 GJ/t (TaTEDO, 2001, Baranzini e Goldemberg, 1996, e BEN, 2003).

Querosene

Querosene é um combustível líquido derivado do refino de petróleo, e utilizado para cocção em fogões pressurizados²³ ou nos normais com pavios. Com poder calorífico inferior em torno de 44,75 GJ/tonelada (BEN, 2003), sua maior utilização, porém, é na iluminação, principalmente nos países onde o grau de atendimento de energia elétrica é baixo. Isto faz com que sua penetração nas áreas rurais seja maior do que a do GLP. O querosene se vaporiza rapidamente e se queima mais asseadamente do que os combustíveis sólidos. Entretanto, suas maiores desvantagens incluem o alto risco de incêndio e envenenamento de alimentos. Além disso, o fogão a querosene não pressurizado tem baixa potência se comparado com um fogão a GLP, carvão vegetal ou lenha. Eberhard (1999) mostra que um fogão a querosene tem potência em torno de 2 kW, enquanto um fogão a lenha tem em torno de 6 kW. A sua utilização principal é na preparação de alimentos leves, aquecimento e na fervura de água. Como demonstrado na Tabela 2, a utilização dos fogões a querosene na cocção de uma refeição que inclui grãos leva mais tempo do que pela utilização de outros tipos de fogões.

Gás liquefeito de petróleo, GLP.

O GLP é um combustível gasoso e um derivado de petróleo com poder calorífico inferior de 47,4 GJ/t segundo BEN (2003). O consumo do GLP vem crescendo nos últimos anos, principalmente entre famílias de renda alta nas áreas urbanas. Por exemplo, na África, o consumo do GLP cresceu de 1.898 mil toneladas, em 1980, para 5.424 mil toneladas, em 1995, o que apresenta um aumento no consumo residencial de 5,2% para 14% (FAO, 1995). A demanda mundial de GLP, em 2000, era em torno de 200 milhões de toneladas com expectativa de

²³ O fogão pressurizado é integrado com uma bomba para aumentar a velocidade do querosene ao sair do orifício do queimador criando uma área de pressão baixa ao redor do bico, succionando o ar ao jato do querosene. Esta mistura rica em ar se queima rapidamente e aumenta a eficiência térmica e potência do fogão.

aumentar para 237 milhões de toneladas, em 2005, segundo a Associação Mundial de Gás Liquefeito de Petróleo (WLPGA, 2004). A taxa média de crescimento no consumo de GLP é em torno de 5% por ano.

A Ásia é o maior consumidor do GLP do mundo (WLPGA, 2004). Em 2003, o continente gastou 60 milhões de toneladas com 65% do consumo destinado aos setores residencial e comercial. Durante os últimos 5 anos, a demanda do GLP na China aumentou de 8 para 16 milhões de toneladas, enquanto que na Índia a demanda cresceu de 5 para 8 milhões de toneladas. Na América Central e Sul, o consumo do GLP é de 27 milhões de toneladas enquanto na África a demanda era em torno de 8 milhões de toneladas. A utilização do GLP é comum em grande parte da América Latina, principalmente no Brasil, onde aproximadamente todos os domicílios têm acesso ao gás, até nas áreas remotas (WLPGA, 2004). Entretanto, na África e nos países pobres da Ásia, a falta de infra-estrutura de distribuição e altos custos do GLP e dos fogões a gás impedem sua maior penetração nas áreas rurais. O estudo do Banco Mundial em oito países em desenvolvimento mostra que a penetração do GLP corresponde ao nível de renda nacional *per capita* (RNB) destes países conforme apresentado na Tabela 4. O GLP é o combustível moderno mais utilizado no Brasil, Gana, Nicarágua, Guatemala e na Índia. Ao contrário dos outros países com maior renda *per capita*, os combustíveis modernos mais utilizados na África do Sul incluem o querosene e a energia elétrica devido à sua alta disponibilidade.

Tabela 4: Penetração de GLP, querosene e energia elétrica em oito países em desenvolvimento, em 1999.

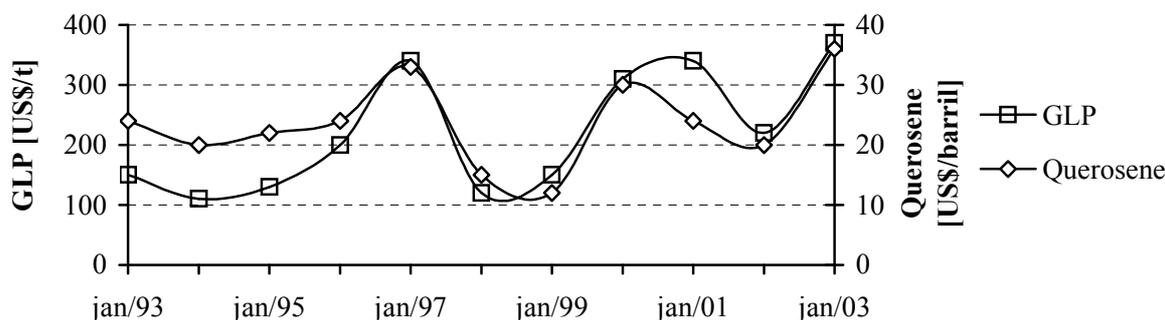
País	Renda Nacional Bruta [US\$]	Porcentagem (%)			
		GLP	Querosene	Energia elétrica	Todos os combustíveis não sólidos
Brasil	2.860	92,3	0,1	1,6	92,8
Nicarágua	720	29,0	1,8	1,0	31,7
África do Sul	2.630	7,9	43,2	45,8	85,8
Vietnam	430	22,3	8,0	13,1	33,0
Guatemala	1.750	44,9	5,5	2,0	50,1
Gana	280	5,4	1,1	0,4	6,9
Nepal	230	1,6	7,1	0,3	9,0
Índia	470	16,0	7,9	0,2	24,3

Fonte: World Bank (1999a) e World Bank (2004b).

No mercado não regulamentado, os preços do querosene e GLP têm variado significativamente nos últimos anos de acordo com os preços internacionais destes combustíveis.

O preço do querosene nas refinarias²⁴ de petróleo no Golfo Pérsico variava entre US\$ 12/barril e US\$ 36/barril entre janeiro de 1993 e janeiro de 2003 (Petroleum Economics Limited, 2004). No mesmo período, os preços do GLP variaram entre US\$ 150/t e US\$ 370/t o 2003, conforme apresentado na Figura 3. Os preços do GLP e querosene também variam significativamente durante o ano, por exemplo, entre junho 1996 e janeiro 1997 os preços subiram de US\$ 150/t e US\$ 22/barril a US\$ 340/t e US\$ 33/barril para o GLP e querosene respectivamente.

Figura 3: Evolução de preços do GLP e querosene no Golfo Pérsico, 1993-2003



Fonte: Petroleum Economics Limited (2004).

Devido à alta flutuação de preços do GLP e querosene no mercado internacional, em alguns países foram introduzidos programas de subsídios para manter preços estáveis aos consumidores. Contudo, a desregulamentação do setor petrolífero progressivamente colocou os consumidores sujeitos da volatilidade dos preços, segundo o relatório da UNDP sobre energia, *World Energy Assessment, WEA*, de 2002.

2.2.3 Tecnologias não convencionais²⁵: Biogás, Gás de gasôênio e Dimetil do Éter Biogás

O biogás é produzido pela decomposição anaeróbica de matérias orgânicas. O biogás é inflamável e é constituído principalmente de gás metano (CH₄), em proporções de 40 a 70% do

²⁴ Uma instalação industrial onde óleo cru é processado em outros produtos derivativos tais como querosene e GLP.

²⁵ Somente poucas tecnologias estão apresentadas nesta parte. A utilização do álcool para cocção está sendo pesquisada em vários países inclusive Brasil e Suécia (comunicação pessoal com Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira, UNIFEI)

volume total²⁶. A composição do biogás depende da matéria-prima que o origina, temperatura e pressão do gás. Segundo Coelho *et al.* (2000), o poder calorífico inferior do biogás bruto é cerca de 21,6 MJ/m³, o que se assemelha ao conteúdo energético de um litro de óleo diesel, mas é menor que o poder calorífico do biogás purificado, que é 34,2 MJ/m³. O volume de 1 m³ do gás pode fornecer energia para preparar 3 refeições para uma família de 5 a 6 pessoas (Kristoferson, 1991 em ITDG, 2003).

Nas comunidades onde há disponibilidade de insumos, como esterco e água, o uso de biodigestores tem maior potencial para a utilização doméstica. A China e a Índia são os países conhecidos por terem os maiores programas de disseminação desta tecnologia. No período de 1973 a 1978, o programa de biogás na China tinha construído 7 milhões de biodigestores para o utilização doméstica e, em 1994, 5 milhões de biodigestores estavam funcionando satisfatoriamente (UNDP, 2002). A disseminação de biodigestores não teve sucesso na África, devido aos altos custos de instalação, manutenção e falta de suporte técnico para usuários. Segundo a UNDP (2002), a experiência na disseminação de biodigestores para cocção mostra que a expectativa para a expansão de sua utilização doméstica é muito baixa no curto prazo.

Gás de Gasogênio

O gás de gasogênio, *producer gas*, é produzido pela gaseificação de biomassa ou outros hidrocarbonetos, como carvão mineral. O gás, basicamente composto dos gases monóxido de carbono, hidrogênio e nitrogênio, tem sido utilizado para aquecimento e cocção nos setores industrial e residencial (FAO, 1986). Durante a Segunda Guerra Mundial, o gás era o combustível principal para acionar motores estacionários e automóveis. Depois da guerra houve um aumento na oferta dos combustíveis fósseis que eram mais baratos e o interesse na utilização do gás diminuiu. O poder calorífico inferior do gás de gasogênio é de 5,2 MJ/Nm³, menor do que do gás natural (34,6 MJ/Nm³) e do GLP (86,4 MJ/Nm³) (FAO, 1986). Apesar de baixo poder calorífico do gás de gasogênio, a quantidade de emissões pela sua utilização é relativamente menor do que a do GLP ou do querosene. O gás de gasogênio é também conhecido como um gás alternativo ao

²⁶ Outros constituintes e suas proporções em volumes incluem dióxido de carbono (30-60%), hidrogênio (0-1%), sulfeto de hidrogênio (0-3%) e outros gases (1-5%), (Coelho *et al.*, 2000).

biogás e tem sido utilizado como um combustível para cocção de alimentos em muitos países europeus e asiáticos, desde o século XVII (UNDP, 2002).

Recentemente, o interesse pelo gás de gasogênio produzido do carvão mineral e biomassa cresceu como uma intervenção para diminuir a poluição do ar pela queima de biomassa e de carvão mineral não processados. Na China, o uso doméstico do gás de gasogênio para cocção de alimentos já está relativamente desenvolvido desde 1996, quando começaram programas de pesquisas que impulsionaram o desenvolvimento desta tecnologia. Na região de Shangdong, já existem 20 gaseificadores que produzem o gás e abastecem residências através de um sistema de gás canalizado. Em 1996, havia 216 residências beneficiadas por esta tecnologia em Tengzhai, na região de Shangdong (UNDP, 2002). Estima-se que, na China, com o aproveitamento energético de 60% dos resíduos agrícolas disponíveis, será possível gerar energia para atender a demanda para cocção em todas as áreas rurais do país (UNDP, 2002). No entanto, estão sendo realizadas pesquisas visando diminuir impactos ambientais do alcatrão produzido durante a produção do gás. O alcatrão produzido junto com gás de gasogênio, pode contaminar e poluir a água na superfície e dentro do solo. Estas pesquisas também visam evitar acidentes que podem acontecer pelo vazamento do CO, durante a queima do gás, já que 20% do gás é composto de CO.

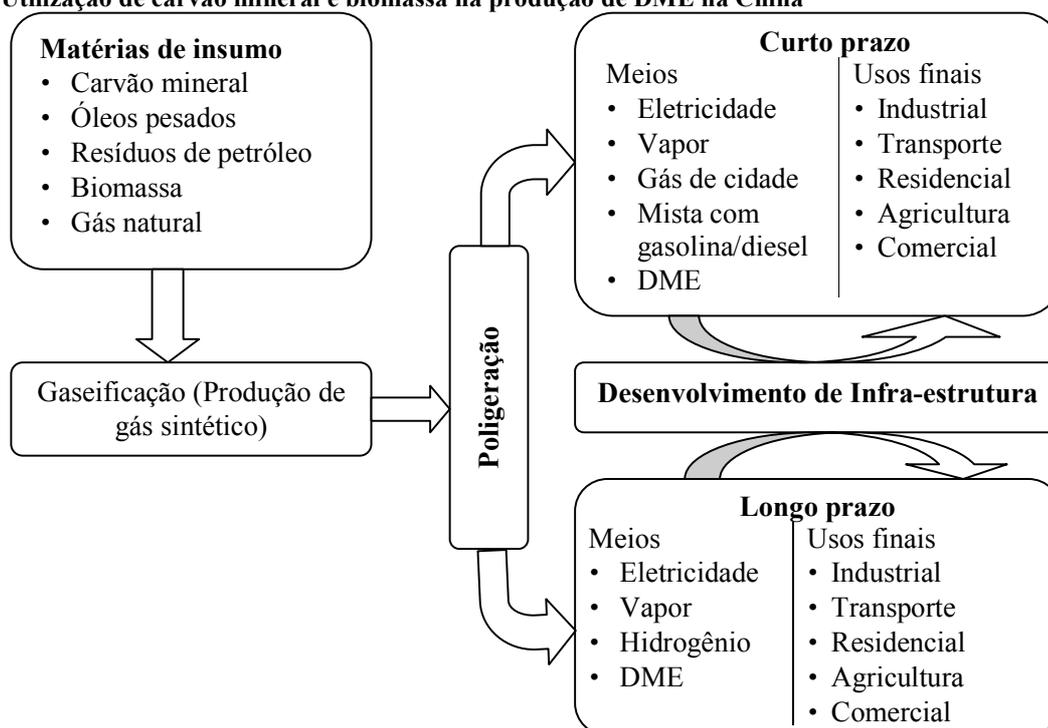
Gás Dimetil de Éter (DME)

O gás dimetil de éter (*Dimethyl of Ether, DME*) tem características semelhantes ao GLP e é utilizado como gás de cozinha, além de outros usos energéticos e industriais. É produzido a partir de várias substâncias carbonadas, tais como gás natural, carvão mineral e biomassa. O transporte e distribuição do DME podem utilizar a mesma infra-estrutura de distribuição do GLP, além das vantagens anteriormente mencionadas. O desenvolvimento tecnológico e produção do gás em larga escala estão nas fases iniciais. A produção mundial do gás é em torno de 150.000 t/ano é previsto que a tecnologia estará comercialmente pronta para entrar no mercado entre 2010 e 2015 (Larson e Tingjin, 2003, UNDP, 2002).

Na China, há significativas iniciativas para aumentar a produção do DME, a partir do carvão mineral. Em 2002, o governo da China autorizou a construção de uma fábrica com a capacidade de produzir 830.000 t/ano para o uso doméstico na região de Ningxia (Jun *et al.*,

2003). Os autores mostram que a poligeração (*polygeneration*) de gases sintéticos produzidos pela gaseificação de carvão mineral pode fornecer combustíveis líquidos mais competitivos alcançando custos de US\$ 20 por barril ou menos. O sistema de poligeração baseado na gaseificação pode produzir uma variedade de produtos químicos e energéticos, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4: Utilização de carvão mineral e biomassa na produção de DME na China



Fonte: Jun *et al.*, (2003).

Fogão solar

A utilização de energia solar é uma das alternativas pesquisadas visando substituir a utilização ineficiente dos combustíveis tradicionais por fontes renováveis. Os fogões solares são utilizados em pequenas quantidades na Índia, China, Quênia, Zimbábue e Peru. Há diferentes tipos de designs destes fogões, entretanto o mais comum é o fogão estufa, *solar box cooker* (Kammen, 1995). O *box cooker* é uma caixa composta de uma chapa de aço para absorção de energia dos raios do sol, 4 paredes de material refletiva (normalmente alumínio) e a chapa de

vidro por acima, que atua como a tampa pela qual os raios entram na caixa. A chapa de vidro retém o calor capturado dos raios do sol e mantém alta temperatura dentro da caixa.

Além de cozimento de alimentos em geral, principalmente na zona rural, o fogão solar é utilizado para aquecimento de água e secagem de produtos agropecuários. Ele evita desmatamento ou queima de combustíveis fósseis, não emite fumaça, que é nocivo à atmosfera. O problema é que o fogão não funciona nos dias de baixa insolação e, neste caso requer suporte de um dos fogões convencionais. A sua utilização necessita de local com bom nível de radiação solar direta, isento de sombras e/ou muito vento.

2.3 Testes de eficiência no consumo e na produção de combustíveis

2.3.1 Eficiência de fogões

Dutt e Ravindranath (1993) mencionam três testes padronizados para medir a eficiência de fogões: testes de fervura de água (TFA), de cozimento controlado (TCC) e de desempenho na cozinha (TDC). No teste TFA, uma predeterminada quantidade de água é fervida lentamente enquanto registrando as variações de temperatura da água e o consumo de combustível. A eficiência de um fogão é calculada pela razão entre o calor absorvido pela água na panela, $E_{\text{absorvido}}$ (inclusive calor latente de água vaporizada, E_{latente}) e o poder calorífico superior do combustível²⁷ (PCS) como apresentado na Equação i.

$$\eta = \frac{E_{\text{absorvido}} + E_{\text{latente}}}{PCS} \quad \text{Equação i}$$

Nos testes TCC, vários fogões são testados na preparação de uma refeição típica da região. A comparação é feita entre vários fogões em relação a quantidade de energia consumida (em MJ) e a massa de refeição preparada em quilogramas. Estes testes, como são realizados em condições controladas, não apresentam as condições de cozimento encontradas na prática. Portanto, não

²⁷ Quantidade de calor liberada pela combustão completa de uma unidade em volume ou massa de um combustível, quando queimado completamente em uma determinada temperatura, levando-se os produtos da combustão, por resfriamento, à temperatura da mistura inicial na qual o vapor da água é condensado e o calor recuperado.

refletem o consumo real de combustível, pois é improvável que os fogões sejam utilizados em condições semelhantes como nestes testes.

Os TDCs são os testes realizados para avaliar o consumo de combustível em certo número de domicílios selecionados pelos critérios estatísticos, normalmente 100 ou mais amostras. Os resultados destes testes é a quantidade de energia consumida por pessoa por dia, em MJ.

Ao avaliar desempenho de fogões a carvão vegetal, Dutt e Ravindranath (1993) apresentam resultados de testes de TFA para 12 tipos de fogões, realizados por Earnst Sangen e Piet Visser da Universidade Tecnológica de Eindhoven, na Holanda. Segundo os autores, a maioria dos fogões apresenta eficiência superior a 40% no teste de alta potência, conforme apresentado na Tabela 5. O teste de alta potência é realizado pelo aquecimento e fervura de água em 30 minutos, controlando a potência pelo ajuste de fluxo de ar na câmara de combustão. No teste TFA de baixa potência, a água é fervida lentamente por 60 minutos enquanto reduzindo o fluxo de ar na câmara de combustão.

Tabela 5: Características de fogões a carvão vegetal em nove países

Fogão	Controlador de ar	Potência [kW]		Eficiência [%]	Razão de CO/CO ₂ nos gases de combustão		Tempo até ponto de ebulição [minutos]
		Alta	Baixa		Alta	Baixa	
DUB 9 – <i>Burundi</i>	Sim	2,0	0,9	43,1	0,12	0,10	40
Fogão eficiente – <i>Haiti</i>	Sim	2,0	0,6	45,6	0,12	0,15	35
Fogão tradicional – <i>Etiópia</i>	Não	0,9	-	43,0	0,12	-	75
CEPPE – <i>Etiópia</i>	Não	2,5	-	45,1	0,10	-	25
Sakkanal – <i>Senegal</i>	Sim	2,4	1,5	29,3	0,16	0,13	60
Feu Malgache – <i>Sahel</i>	Não	1,8	-	29,2	0,12	-	65
Fogão eficiente Coalpot	Sim	3,5	1,2	25,0	-	-	25
Fogão tradicional – <i>Sudão</i>	Não	1,7	-	41,5	0,14	-	55
Fogão balde tradicional – <i>Tailândia</i>	Sim	3,6	2,0	45,0	0,10	0,06	25
Fogão balde eficiente – <i>Tailândia</i>	Sim	4,0	0,8	48,6	0,04	0,06	25
Fogão da UNICEF – <i>Quênia</i>	Sim	3,5	1,1	37,1	0,05	0,09	30
Fogão da KENGO – <i>Quênia</i>	Sim	2,8	1,6	45,2	0,08	0,07	30

Fonte: Sangen e Visser (1986) em Dutt e Ravindranath (1993)

De modo geral, a eficiência nominal de fogões aumenta progressivamente na seguinte ordem: lenha, carvão vegetal, querosene, GLP e energia elétrica (Reddy, 1997, Kammen, 1995, WEC, 1999), conforme apresentado Tabela 6.

Tabela 6: Eficiência²⁸ nominal de fogões e combustíveis

Combustível	Tipo/construção de fogão	Eficiência [%]		Aceitáveis
		Laboratório	Campo	
Lenha	Três pedras (panela de argila)	-	5-10	7
	Três pedras (panela de alumínio)	18-24	13-15	15
	Tradicional forno aberto	-	3-6	5
	Melhorado barro/argila	11-23	8-14	10
	Tijolos	15-25	13-16	15
	Metal e portátil	25-35	20-30	25
Carvão vegetal	Barro/argila	20-36	15-25	15
	Metal com fornalha de cerâmica	18-30	20-35	25
Querosene	Com pavio – multi	28-32	25-55	30
	Com pavio – singular	20-40	20-35	30
	Pressurizado	23-65	25-55	40
Eletricidade	Uma chapa quente	55-80	55-75	65
	Panela de pressão	-	85	-

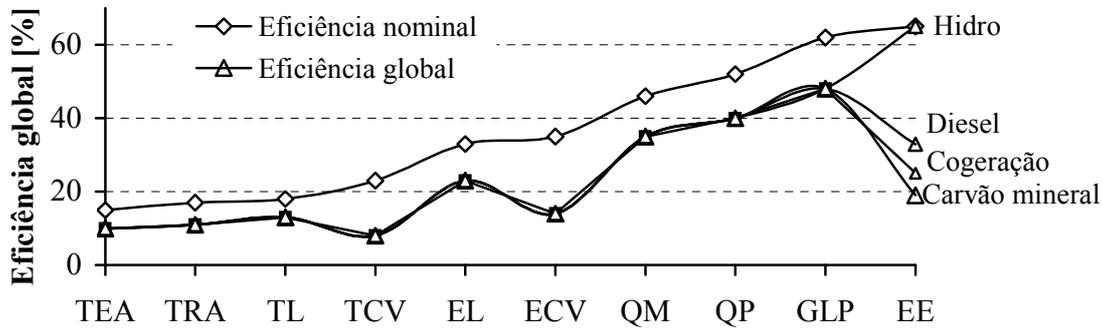
Fonte: Kammen (1995) citado por WEC (1999).

Todavia, considerando os processos de produção, transformação, transmissão e uso final, a eficiência global²⁹ destes combustíveis é menor do que a eficiência nominal, conforme apresentado na Figura 5. Esta diferença é mais notável para os fogões que utilizam o carvão vegetal e a energia elétrica porque há grande perda de energia na produção do carvão vegetal e na geração de energia elétrica a partir dos combustíveis fósseis (UNDP, 2000, Reddy, 1997).

²⁸ A eficiência de fogões medida no laboratório e nas condições reais de uso varia mais do que os valores indicados nesta tabela. Há diversos fatores que afetam a eficiência como, por exemplo, o tamanho de fogão, tipo de panela, clima, qualidade de combustível e práticas de cozimento.

²⁹ Eficiência global refere-se ao produto da eficiência de produção, transporte/transmissão e de consumo de combustível.

Figura 5: Variação de eficiência global e tipo de fogão e combustível



Onde:

TEA, TRA, TL, TCV: fogões tradicionais a esterco seco, resíduos agrícolas, lenha e carvão vegetal; EL e ECV: fogões eficientes a lenha e carvão vegetal; QM e QP: fogão a querosene com pavio e a querosene pressurizado; GLP e EE: fogão a gás e fogão chapa elétrica quente.

Fonte: Reddy (1997) e elaboração própria a partir de dados da UNDP (2000).

2.3.2 Eficiência na produção de carvão vegetal.

Na produção do carvão vegetal, ou carvoejamento³⁰, a maior quantidade de energia é utilizada no processo de carbonização de madeira. Em Ruanda e Madagascar foi observado que a eficiência máxima na produção do carvão vegetal era de 9% (var der Plas, 1995). Considerando também a baixa eficiência de fogões a carvão vegetal, a utilização desse carvão se torna mais ineficiente do que a queima direta de madeira, visto que aumenta o consumo de lenha em três até quatro vezes para a mesma quantidade de energia útil produzida. O rendimento de fornos na produção do carvão vegetal é dado pela Equação ii abaixo.

$$\text{Rendimento} [\%] = \frac{\text{carvão vegetal produzido} [\text{kg}]}{\text{madeira utilizada} [\text{kg}] - \text{tição} [\text{kg}]} \times 100\% \quad \text{Equação ii} \quad ^{31}$$

A eficiência energética de um forno é calculada como a razão entre o conteúdo energético do carvão vegetal produzido e o conteúdo energético da madeira utilizada, conforme apresentado na equação iii.

³⁰ Carvoejamento refere-se à produção do carvão vegetal em qual ocorre um processo de carbonização pelo qual a madeira é submetida a tratamento térmico a temperaturas elevadas, em uma atmosfera redutora controlada.

³¹ Tição é parte de madeira não transformada em carvão vegetal.

$$\text{Eficiência Energética [\%]} = \frac{\text{energia no carvão vegetal produzido [J]}}{\text{energia na madeira utilizada [J]}} \times 100\% \quad \text{Equação iii}$$

Dutt e Ravindranath (1993) mostram que o forno *brick beehive*, feita de tijolos em forma de colméia, na Tailândia, é a mais eficiente de todas apresentadas na Tabela 7, produzindo carvão vegetal de alta qualidade com menores custos.

Tabela 7: Comparação de eficiência e custo de produção de carvão vegetal na Tailândia

Tipo de forno	Construção			Eficiência energética [%]	Custos de produção	
	Volume [m ³]	Custos [US\$]	Rendimento [%]		[US\$/ton]	[US\$/GJ]
Tradicionais						
Caieira	0,7	-	31,1	50,9	145	4,99
Móveis						
Tonga	0,2	13	22,7	36,0	403	13,91
Double drum	0,4	30	23,9	38,7	173	5,96
Permanentes						
Forno brasileiro modificado	8,3	137	34,5	55,1	90	3,11
Hot tail	0,5	22	33,3	47,6	149	5,14
Mud beehive	7,2	38	32,0	44,8	101	3,49
Brick beehive 1	8,3	218	39,6	60,6	82	2,83
Brick beehive 2,3	2,0	105	37,5	62,5	95	3,26

Nota:

Todos os custos são em US\$ de 1989.

Fonte: Dutt e Ravinandranath (1993).

Três tipos de fornos são comumente utilizados no Brasil: *hot-tail*, *circular brick* e retangular com recuperação de alcatrão nas seguintes proporções: 85%, 10% e 5%, respectivamente. O forno brasileiro com recuperação de alcatrão é a mais eficiente com rendimento de 36,4% e eficiência energética de 57,1%, como apresentado na Tabela 8. Esta tabela, também apresenta características do forno tradicional do Quênia, que é mais comum na região leste da África.

Tabela 8: Comparação de rendimento de fornos em carvoejamento no Quênia e no Brasil

Forno	Tempo (horas)	Carvoejamento (%)		
		Rendimento	Carbonização	Eficiência energética
Fornos tradicionais (Quênia)	5,0 – 10,0	21,6 – 34,2	36,7 – 58,2	33,9 - 57,4
<i>Hot tail</i> (Brasil)	3,29	34,1	52,1	46,1
<i>Circular brick</i> (Brasil)	1,88	28,7	50,4	40,3
Retangular com recuperação de alcatrão (Brasil)	3,25	36,4	68,9	57,1

Fonte: Pennise *et al.* (2004).

Os fornos retangulares, também equipadas com sistema de condensação de vapor, são as mais avançadas em uso atualmente no Brasil (CENBIO, 2004). O outro tipo de forno, na forma cilíndrica, *circular brick*, tem pequena capacidade de produção e não é mecanizada e não possui o sistema de recuperação de alcatrão. Os fornos de alvenaria, na forma tradicional, com o rendimento de aproximadamente 25%, ainda continuam sendo as mais utilizadas nas carvoarias.

2.4 Consumo de combustíveis tradicionais e seus efeitos secundários

Os fogões e combustíveis tradicionais, embora tenham custos quase nulos, produzem fumaça e fuligem que se depositam nos utensílios, nas paredes, no teto, nas pessoas e nas paredes (Goldemberg e Villaneuva, 2003). Por exemplo, num fogão tradicional, a resina contida na lenha não se queima completamente e acaba sendo depositada na forma de alcatrão nas paredes internas do fogão e/ou no fundo da panela. O restante na forma de vapor, sai do fogão como fumaça, junto com as substâncias particuladas e outros gases de combustão. O processo é rápido o ar é insuficiente para que toda resina reaja quimicamente com oxigênio.

A fumaça, proveniente da queima de combustíveis, contém poluentes do ar que têm efeito adverso sobre a saúde e o meio ambiente (Hinrichs e Kleinbach, 2003). Estes poluentes existem na forma de gases, TSP ou pequenas gotículas de líquido dispersas no ar (chamadas de aerossóis). Além disso, a queima ineficiente dos combustíveis tradicionais é uma das causas de utilização excessiva de madeiras.

2.4.1 Emissão de gases de efeito estufa

Os gases emitidos em maior quantidade pelo consumo de energia para cocção são três: dióxido de carbono, monóxido de carbono e óxido nitroso. Além disso, os fogões emitem quantidades elevadas de carbono na forma de produto de combustão incompleta (ICP), metano (CH₄) e compostos orgânicos não metânicos (CONM). A emissão dos gases poluentes é cerca de 22 Gt/ano de carbono segundo Hinrichs e Kleinbach (2003). Conforme os autores, 80% de todos os gases emitidos na atmosfera a cada ano têm sua origem das atividades relacionadas com a produção e consumo de energia e 19% destas emissões oriunda do consumo residencial.

O gás dióxido de carbono, CO₂

Considerando as propriedades radiativas e o tempo de vida³² na atmosfera, o gás CO₂ representa 55% de todos os gases de efeito estufa acumulados (Floor e van de Plas, 1992). As maiores fontes de emissões de CO₂ são a queima de combustíveis fósseis e desmatamento. A emissão total do CO₂ proveniente das atividades humanas, em 1989, foi calculada em torno de 5,8 a 8,7 Gt de carbono dos quais os combustíveis fósseis contribuíram por 71% a 89% e desmatamento por 10% a 28%. O desmatamento, como discutido anteriormente, é resultado do aumento de atividades agrícolas, madeiramento industrial e a produção comercial da lenha e carvão vegetal. A utilização energética da biomassa proveniente das fontes sustentáveis não causa o aumento líquido de CO₂ na atmosfera. Não obstante, mesmo com o reflorestamento que possibilita a absorção do CO₂, o ciclo de produção e consumo de biomassa emite substâncias particuladas, metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e outros hidrocarbonetos não metânicos que aumentam a possibilidade de aquecimento global (Pennise *et al.*, 2004). O CH₄, CO e os hidrocarbonetos não metânicos têm maior potência de causar aquecimento na atmosfera do que o CO₂.

Dada a predominância da biomassa no consumo energético na maioria dos países em desenvolvimento, a contribuição dos combustíveis fósseis na emissão de CO₂ é insignificante. Em Senegal, por exemplo, em 1992 a emissão de CO₂ *per capita* pelos outros setores não residenciais era de 0,01 t/ano, enquanto o setor residencial produziu 0,4 t/ano, ou, 40 vezes maior do que outros setores (Floor e van de Plas, 1992).

³² O tempo em que o gás permanece na atmosfera.

Considerando a soma de emissões durante a produção, transporte e a uso final, Bailis *et al.* (2004) mostram, que para cada 1 MJ de energia útil, o carvão vegetal produz 5 a 10 vezes mais emissões equivalentes de CO₂ do que a queima direta de lenha, e 5 vezes mais do que qualquer um dos combustíveis fósseis, conforme apresentado na Tabela 9. A maior quantidade de emissões é produzida durante a produção do carvão vegetal, devido à baixa eficiência do processo. O fator de emissão de CO₂ dos fornos quenianos varia entre 1058 a 3027 por cada 1 kg de carvão produzido (Pennise, *et al.*, 2004). O forno retangular brasileiro tem o menor fator de emissão do CO de aproximadamente 543 g/kg devido à alta eficiência e melhor controle do processo.

Tabela 9: Emissões³³ de CO₂ para cada 1 MJ de energia útil

Combustível/fogão	Emissões [g equivalente de CO ₂ , g-C]			
	Produção	Transporte	Uso-final	Total
GLP	8,5	0,6	35,4	44,5
Querosene, fogão com pavio	5,7	0,7	39,2	45,6
Lenha (eucalipto), fogão tradicional	0,0	1,1	22,6	23,8
Lenha (eucalipto), fogão eficiente	0,0	0,7	26,7	27,4
Carvão vegetal	174,1	1,6	39,6	215,3

Fonte: Bailis *et al.* (2004)

O efeito estufa e o potencial de aquecimento global

O gás carbônico, metano e óxido nitroso, dentre outros, são chamados gases de efeito estufa porque permitem que a luz solar atravesse a atmosfera e impedem que o calor escape para o espaço, da mesma forma que uma estufa. A capacidade de impedir a dispersão do calor depende da concentração destes gases, logo quanto maior a sua concentração maior o aquecimento. Além disso, o aquecimento atmosférico dos gases de efeito estufa depende do tempo de vida dos gases na atmosfera. Segundo OTA (1991), em Floor e van der Plas (1992), a contribuição de cada um dos gases de efeito estufa proveniente das atividades humanas, em 1991, era CO₂ (55%), diversos CFC's - clorofluorcarbonos (24%), CH₄ (15%) e N₂O (6%). Os Estados Unidos contribui 21% de todos os gases de efeito estufa e o resto originou-se dos países da OECD, Europa Oriental e Rússia (22%), China e Ásia Central (7%) e outros países em desenvolvimento (27%).

³³ Quando considerar o efeito estufa, a biomassa originada de reflorestamento tem emissão líquida de CO₂ nula independentemente da eficiência de utilização.

O aquecimento global é o aumento do efeito estufa pelas atividades antropogênicas. O gás dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) são os principais GEEs que têm o maior potencial no aquecimento global, conforme apresentado na Tabela 10. O potencial de aquecimento global (PAG) dos gases de efeito estufa é a quantidade equivalente de CO₂ que causaria o mesmo efeito de aquecimento global e expresso em gigagramas equivalente de carbono (GgC). O PAG é calculado pela Equação iv.

$$PAG = \sum m_i \times f_{PAGi} \quad \text{Equação iv}$$

em que:

m_i emissão de gás de efeito estufa i em massa, Gg-equivalente de carbono (GgC);

f_{PAGi} fator de potencial de aquecimento do gás de efeito estufa i de acordo com a metodologia do IPCC³⁴ que é igual a 1, 56 e 280 para o CO₂, CH₄ e N₂O respectivamente durante um período de 20 anos conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa³⁵

Gás	Vida média na Atmosfera [anos]	Potencial de aquecimento global (PAG)		
		20 anos	100 anos	500 anos
CO ₂	50-200	1	1	1
CH ₄	12±3	56	21	6,5
N ₂ O	120	280	310	170

Fonte: IPCC (1996)

Segundo a Tabela 10, num período de 100 anos, o metano possui um potencial de aquecimento 21 vezes maior do que o dióxido de carbono, o qual possui valor 1 na citada escala. O óxido nitroso (N₂O) embora tenha uma pequena participação nos gases estufa (6%), ele possui um tempo de vida de 120 anos e tem um PAG de 310 vezes maior que o CO₂. O processo de aquecimento global tende a aumentar os desastres naturais tais como inundações, avalanches, nevascas, furacões, tornados e tempestades.

³⁴ Painel Intergovernamental sobre Mudança de Clima

³⁵ Considerados somente os gases mais importantes provenientes da utilização de combustíveis para cocção. Há 13 clorofluorcarbonos provenientes de outras atividades antropogênicas que não foram apresentados nesta tabela.

2.4.2 Poluição do ar em ambientes fechados

Acredita-se que a poluição do ar em ambientes fechados era um assunto importante, desde os tempos pré-históricos, quando o homem começou a morar em regiões de climas temperados, há aproximadamente 200 mil anos atrás (Bruce *et al.*, 2002b). O clima frio obrigou-o a construir e morar em abrigos e usar o fogo para cocção, aquecimento e iluminação. Ironicamente, o fogo, que possibilitou ao homem desfrutar os benefícios dos abrigos, resultou em poluição do ar em ambientes fechados, como se verifica pela fuligem que se encontra em cavernas pré-históricas (Bruce *et al.*, 2002b).

A poluição do ar em ambientes fechados é o maior potencial de risco à saúde, pois, geralmente, as pessoas permanecem dentro de casas na maior parte do dia (von Schirnding, *et al.*, 2000). Ezzati e Kammen (2002) mostram que as mulheres e crianças são as mais prejudicadas como elas ficam mais tempo dentro de casa e na cozinha, quando preparam comidas. Por exemplo, no Quênia, as mulheres na faixa da idade entre 15 e 49 anos são as mais responsáveis pela preparação de alimentos, permanecendo assim, aproximadamente 5 horas, dentro de casa e próximos de fogões, conforme apresentado na Tabela 11. Desta forma, os efeitos dessa poluição são comuns entre crianças e mulheres.

Tabela 11: Exposição à poluição para diferentes grupos de idade no Quênia

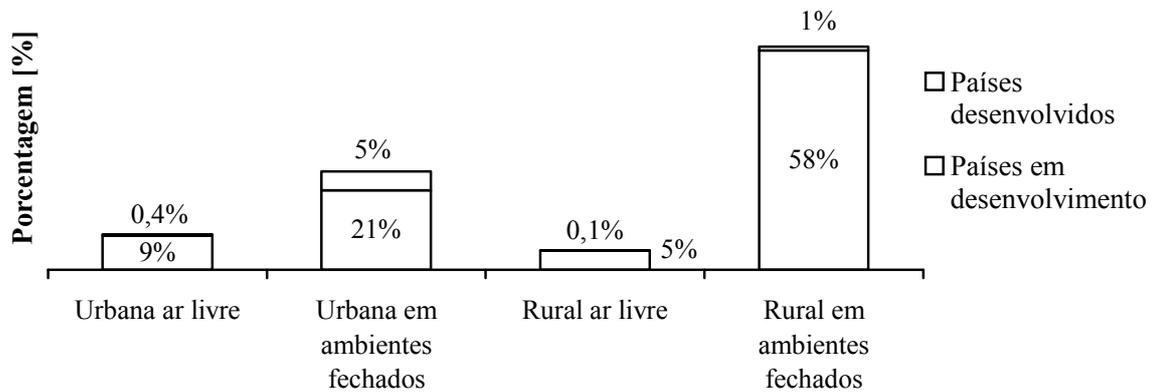
Grupo de idade	Fração do tempo dentro de casa		Fração de tempo perto de fogão		Probabilidade de preparar comida.	
	Mulheres	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres	Homens
0-4	0,43	0,44	0,20	0,20	0,00	0,00
4-14	0,40	0,26	0,23	0,13	0,39	0,02
15-49	0,54	0,24	0,38	0,06	0,98	0,11
50+	0,39	0,30	0,24	0,13	0,27	0,19
Média	0,45	0,30	0,27	0,13	0,48	0,06

Fonte: Ezzati e Kammen (2002).

A poluição do ar em ambientes fechados é predominante nos países em desenvolvimento, conforme apresentado na Figura 6, e suas vítimas somam mais de um bilhão de pessoas (Goldemberg e Villaneuva, 2003). Este tipo de poluição corresponde a cerca de 90% de toda poluição. Observa-se também que dois terços de exposição à poluição ocorrem em domicílios rurais nos países em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, concentrações de poluição em

ambientes fechados são semelhantes às concentrações ao ar livre (Reddy *et al.*, 1997), causado principalmente pelos setores de indústria e de transporte.

Figura 6: Porcentagem da população exposta à poluição do ar nas áreas rurais e urbanas.



Fonte: Reddy *et al.* (1997) adaptado de Smith (1993).

Substâncias particuladas em suspensão (TSP)

Os níveis de concentração³⁶ de TSPs variam de acordo com a metodologia utilizada na medição e condições ambientais do local. Smith (1993) e Ezzatti *et al.* (2000) apresentam emissões de TSP relacionadas à cocção no Quênia, na Índia e na China como mostrado na Tabela 12.

³⁶ A concentração de um determinado poluente no ar é medida por meio da massa de poluente encontrada em um dado volume de ar, e, é expresso em microgramas por metro cúbico de ar, ou $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 12: Concentração de TSP em ambientes fechados nos países em desenvolvimento

País	Ano	Características de amostra		Níveis de TSP
				($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Quênia	1999	Fogão a lenha de 3 pedras	durante combustão	3.764
			não durante combustão	1.346
		Fogão a lenha eficiente	durante combustão	1.942
			não durante combustão	312
		Fogão tradicional a carvão vegetal	durante combustão	823
			não durante combustão	388
Fogão eficiente a carvão vegetal (KCJ ³⁷)	durante combustão	316		
	não durante combustão	50		
Índia	1982	Cozimento 15 minutos		
		Lenha		15.800
		Esterco seco		18.300
		Carvão vegetal		5.500
China	1987	Cozimento por lenha – durante 24h		2.600 (partículas inaláveis)

Fonte: Smith (1993) e Ezzatti *et al.* (2000).

As emissões de TSP por quantidade de energia útil na panela também variam de acordo com a eficiência da combinação entre o fogão e combustível. Smith *et al.* (2000) apresenta estimativas de TSP por quantidade de energia útil produzida, em várias combinações de combustíveis e fogões, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Fatores de emissão de TSP por quantidade de energia útil produzida

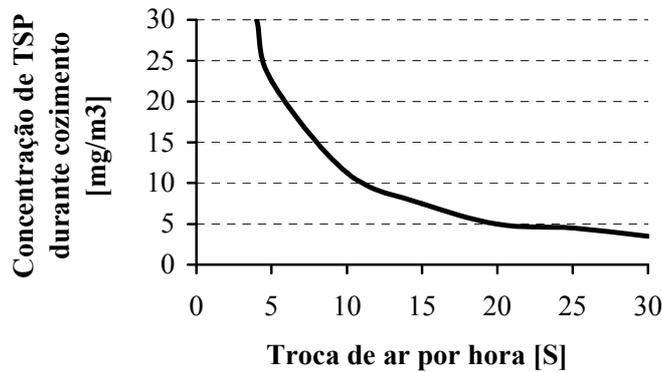
Combustível	TSP	
	[g/MJ de energia útil]	[g/kg de combustível]
GLP	0,0209	0,514
Querosene	0,0239	0,516
Carvão vegetal	0,5277	2,375
Lenha/fogão tradicional	0,3776	1,038

Fonte: Smith *et al.* (2000)

Não há uma relação direta entre emissões de TSP e a quantidade de combustível utilizado. A concentração de TSP depende, parcialmente, do tipo de fogão e da ventilação do local onde o fogão está sendo utilizado (Zhang *et al.*, 1999). A maior ventilação pode diminuir significativamente a concentração das substâncias particuladas conforme apresentado na Figura 7. Quanto maior número de troca de ar por hora [S] na cozinha, menor o nível de concentração de TSP.

³⁷ Refere-se ao Kenya Ceramic Jiko, um fogão eficiente a carvão vegetal e é mais utilizado no Quênia.

Figura 7: Variação de concentração das substâncias particuladas e a ventilação



Nota:

As concentrações refletem as condições típicas na utilização do carvão vegetal na taxa de 1,5 kg/h, fator de emissão de TSP de 2g/kg, tempo de cozimento de 3 horas e volume de cozinha de 40 m³.

Fonte: Smith (1987) em Wallenstein (2003)

PM₁₀

PM₁₀ são substâncias particuladas (TSP) inaláveis com diâmetro igual ou inferior a 10 microns, denominadas como PM₁₀. A exposição diária à PM₁₀, também chamada indicador de exposição (E) para uma pessoa, é calculada pela equação v:

$$E = \sum_{i=1}^m C_i \times t_i \tag{Equação v}$$

em que,

C_i concentração de PM₁₀ em ambiente *i* em [µg/m³]

t_i tempo de permanência em ambiente *i*, $\sum_{i=1}^m t_i = 24 \text{ horas}$.

m número de ambientes em que a pessoa permanece em um dia.

A exposição média, C_{média} por dia é calculada pela equação vi:

$$C_{\text{média}} = \frac{E}{24} \tag{Equação vi}$$

O gás monóxido de carbono, CO

O CO é um gás incolor, inodoro e venenoso, produzido principalmente pela combustão incompleta devido a falta de ar suficiente. Os sentidos do corpo do ser humano não detectam o CO; desta forma, os níveis de poluição pelo CO podem aumentar até os níveis fatais, sem manifestar nenhum sinal, tais como irritação de garganta ou tosse. O CO passa para a corrente sanguínea pelos pulmões e se liga à hemoglobina, formando carboxiemoglobina (COHb), impedindo-a de carregar o oxigênio dos pulmões até as células do corpo. Entretanto, existe número limitado das pesquisas sobre o envenenamento por CO devido ao consumo do carvão vegetal.

O carvão vegetal tem o maior fator de emissão de CO de todos os combustíveis, como apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Fatores de emissão de CO por tipo de combustível

Combustível	CO	
	[g/MJ de energia útil]	[g/kg de combustível]
GLP	0,6076	15,0
Querosene	0,8186	18,0
Carvão vegetal	61,13	275,0
Lenha/fogão tradicional	24,19	66,5

Fonte: Smith (2000).

Durante a utilização do carvão vegetal nas condições típicas numa cozinha de 40 m³, consumo de 1,7 kg/h, fator de emissão de 74 g/kg e circulação de ar de 5-20 por hora, a concentração de CO é estimada em torno de 528 mg/m³ (Zhang *et al.*, 1999). A concentração de CO é uma função de tempo, volume da cozinha e a ventilação do ar na cozinha (ou outro lugar onde o fogão está sendo utilizado), como apresentado na equação vii.

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = \frac{F \times E_f}{V} - S \times C(t).$$

Equação vii

onde:

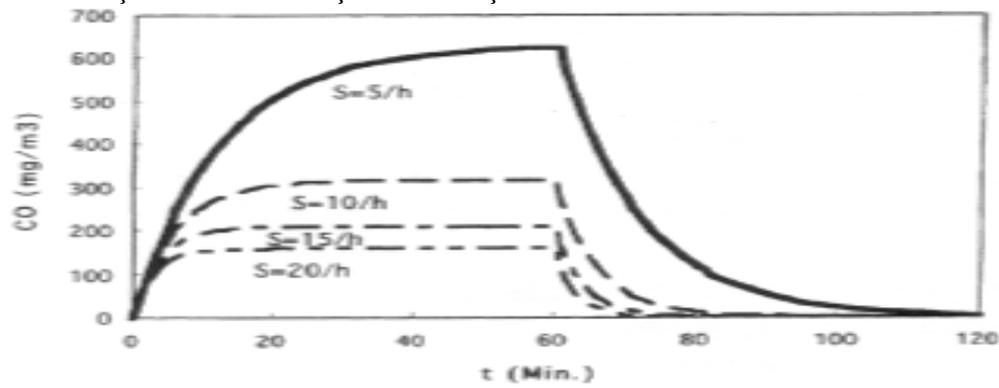
C concentração do CO

F a taxa de queima de combustível [kg/h]

- E_f fator de emissão de CO do combustível [g/kg]
 t tempo de cozimento [h]
 V volume da cozinha [m^3]
 S taxa de troca de ar (circulação) na cozinha [h^{-1}]

Quanto maior a taxa de circulação de ar na cozinha, menor concentração de CO, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8: Concentração de CO e a variação de ventilação



Nota:

A lenha foi utilizada num fogão sem chaminé em uma cozinha com variação de circulação do ar. O tempo de cozimento, t , igual zero no acendimento da lenha e $t=60$ quando o fogo foi apagado.

Fonte: Zhang *et al.* (1999).

Padrões e limites de poluição em ambientes fechados

Como parte dos esforços para diminuir impactos de poluição do ar, em 1970, foi instituída, nos Estados Unidos, a lei conhecida como *Clean Air Act Amendments*, que estabeleceu uma série de padrões de qualidade do ar ambiente nos Estados Unidos, *National Ambient Air Quality Standards, NAAQs*. Os NAAQS deveriam ser cumpridos até o início do ano 1975 para seis poluentes responsáveis pelos efeitos sobre a saúde humana. Entre os gases, estão incluídos óxido de enxofre, óxido de nitrogênio e monóxido de carbono.

A concordância sobre os níveis mais seguros da qualidade do ar ainda é difícil, devido à complexidade na definição e no estabelecimento dos padrões e limites. Existe uma grande variação na metodologia de medição, condições ambientais e susceptibilidade das pessoas aos

poluentes (USEPA, 2004). Os limites recomendados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, USEPA, para PM₁₀ e PM_{2,5} são 150 µg/m³ e 65 µg/m³ respectivamente durante 24 horas, enquanto para o CO, é de 10.000 µg/m³ (10 mg/m³) num intervalo de oito horas ou 30 mg/m³ em uma hora. A Organização Mundial de Saúde (WHO) destaca que não há nível seguro de concentração de PM₁₀ e por isto não define o limite a ser considerado como máximo.

A maioria das cidades norte americanas raramente ultrapassa estes níveis enquanto em residências rurais nos países subdesenvolvidos as concentrações chegam até mais de 20 vezes (Bruce, 2000b). A Tabela 15 apresenta uma comparação de níveis de concentração de PM₁₀ e CO dos países em desenvolvimento e os níveis recomendados pela WHO e USEPA.

Tabela 15: Comparação de emissões de PM₁₀ e CO com os padrões recomendados pela WHO e USEPA

Poluente	Concentrações típicas nos países em desenvolvimento		Limites recomendados			
			WHO (1999)		USEPA (1997)	
	Período	Nível	Período	Limite	Período	Limite
Particulados, PM ₁₀ [µg/m ³]	Anual	Não há, considerado semelhante ao nível de período de 24 horas	Anual	Não há	Anual	50
	24 horas	300-3.000+	24 horas		24 horas	150
	Durante a utilização do fogão	300-20.000+ 30.000+				
Monóxido de carbono [ppm ³⁸]	24 horas	2-50+	8 horas	10	8 horas	9
	Durante a utilização do fogão	10-500+	1 hora	30	1 hora	35
			15 minutos	100		
	COHb (%) ³⁹	1.5-13%	COHb (%)	Crítico: <2,5% Não fumantes: 0,5-1,5% Fumantes: 10%		

Fonte: Bruce *et al.* (2000b).

Efeitos da poluição em ambientes fechados sobre saúde.

A utilização residencial dos combustíveis sólidos nos países em desenvolvimento causa altos riscos à saúde pela emissão de substâncias particuladas e o gás CO. Os efeitos adversos sobre

³⁸ Partes por milhão, o número de moléculas de um poluente em um milhão moléculas do ar.

³⁹ Nível de concentração sanguínea de carboxiemoglobina ou envenenamento de CO.

a saúde são sérios na maior parte dos países em desenvolvimento devido ao aumento no consumo dos combustíveis sólidos e conseqüente poluição do ar em ambientes fechados. Segundo World Bank (1993), a poluição do ar em ambientes fechados nestes países é responsável por aproximadamente metade de todas as doenças causadas pelas condições domésticas ambientalmente péssimas.

Os efeitos de PM₁₀ sobre a saúde são significantes mesmo com menor níveis de concentração (WHO, 1999). As PM₁₀ conseguem atingir as regiões mais baixas do sistema respiratório e podem aumentar a gravidade das infecções respiratórias, particularmente, o aumento da frequência de bronquite crônica, aumento do risco de câncer de pulmão e de morte prematura (Ezzatti, 2000). Por outro lado, como o envenenamento pelo CO interfere a oxigenação do sangue (anoxia crônica), isto pode resultar em danos ao coração e ao cérebro, percepção prejudicada e asfixia. Em doses menores, o envenenamento de CO pode causar fadiga, dores de cabeça e náusea (Malilay, 1999). As pessoas com doenças cardiovasculares ou respiratórias, crianças, idosos e mulheres grávidas são indivíduos de alto risco ao envenenamento por CO.

O número de pesquisas sobre este assunto é relativamente menor, não obstante, as informações disponíveis mostram que a poluição em ambientes fechados causa várias doenças e infecções agrupadas em 5 categorias e discutidas a seguir.

Infecção Respiratória, Acute Respiratory Infections (ARI): Há evidências de uma ligação causal entre a má saúde e as infecções agudas das vias respiratórias causadas pela queima de combustíveis sólidos (Ezzatti e Kammen, 2002). As infecções são a causa primária de morbidade e mortalidade entre crianças com idade de menos de 5 anos, provocando maior número de mortes do que a subnutrição, diarreia, ou outras doenças infantis, como sarampo e parotidite. As doenças causadas por estas infecções causam mais de 4 milhões de mortes por ano entre crianças de menos de 5 anos, contribuindo com 25% de todas as mortes nessa faixa de idade (WHO, 1995 e Ezzatti e Kammen, 2002). Na Índia, as infecções e doenças causadas pela poluição do ar em ambientes fechados são responsáveis pela morte de 270 mil crianças com menos de 5 anos de idade (Smith, 2000).

Van Horen e Eberhard (1994), apresentando a situação em Zimbábue, notaram que o risco de contrair uma doença de via respiratória foi cinco vezes maior nos domicílios rurais sem energia elétrica do que nos domicílios urbanos com energia elétrica. As residências rurais utilizam a lenha para cocção e iluminação enquanto as residências urbanas utilizam a energia elétrica para iluminação e cocção junto com outros combustíveis tais como querosene e GLP, reduzindo assim a poluição do ar em ambientes fechados. As construções mal ventiladas e a instalação de cozinhas dentro de casas aumentam a gravidade da poluição. No Quênia, por exemplo, o número das infecções causadas pela poluição é maior nas áreas rurais onde a maioria das residências, geralmente, consiste de pequenas construções de usos múltiplos. Nestas áreas o mesmo cômodo é utilizado para cozinhar, dormir e trabalhar e, em muitos casos, o volume interno total de ar é menor do que 40 m³ (Goldemberg, 2003).

Efeitos adversos durante a gravidez: As mulheres expostas à poluição do ar durante sua gravidez têm maior probabilidade de perder a criança pré-natal (*stillbirth*) ou que a criança nasça com menos peso. Na Guatemala, por exemplo, as crianças nascidas em residências onde há utilização de bio-combustíveis pesam menos do que as crianças nascidas em residências onde há utilização de gás de cozinha (Saatkamp, 2000).

Doença obstrutiva crônica de pulmão, GOLD (Chronic Obstructive Lung Disease) e outras doenças cardíacas entre adultos: Esta é uma doença que se desenvolve depois de muito tempo de exposição aos gases poluentes e, quando acontece nos países em desenvolvimento, está diretamente relacionada com a queima de combustíveis sólidos.

Câncer no pulmão: Além da presença de compostos carcinogênicos na fumaça proveniente da queima de lenha, ainda não é comprovada a relação entre a queima de biomassa e câncer pulmonar. Contudo, o maior número de casos de câncer de pulmão entre mulheres não fumantes nos países subdesenvolvidos sugere que há uma relação entre ambos (Bruce *et al.*, 2000). Smith (1999) mostra que a utilização do carvão mineral para cocção e aquecimento do ar ambiente, na China, aumenta o risco de câncer de pulmão às pessoas expostas à poluição, por um fator de 3 a 9.

2.4.3 Desflorestamento e degradação da Terra

O desflorestamento é um fenômeno complexo que está prejudicando a qualidade de vida da geração atual e do futuro. Segundo UNEP (2004), dois terços de todos os países ou 1 bilhão de pessoas são vítimas de conseqüências ecológicas, econômicas e sociais, causadas pelo desflorestamento. As causas de desflorestamento incluem as mudanças climáticas e atividades humanas tais como a coleta e utilização da lenha.

Sendo uma fonte renovável de energia, em princípio, a utilização da biomassa pode ser a opção mais sustentável de todas no fornecimento de energia para cocção. Porém, foi comprovado que o uso de lenha e carvão vegetal está relacionado ao desflorestamento, principalmente, quando o consumo destes combustíveis é maior do que reflorestamento. Considerando a relação entre o consumo de biomassa para fins energéticos e suas utilizações não-energéticas, Kammen *et al.* (2002) lembram que não pode ser concluído que o consumo residencial de biomassa é a única causa de desflorestamento e degradação da terra. Ao contrário, os autores insistem em que o desflorestamento é, freqüentemente, a causa de escassez da biomassa.

O consumo energético da biomassa, porém, pode aumentar a degradação da terra em alguns casos, por exemplo, a colheita de lenha de uma floresta que já é degradada. Seu consumo neste caso pode privá-la da recuperação. Quando a disponibilidade de biomassa diminui as famílias pobres voltam utilizar resíduos agrícolas e esterco seco em lugar de lenha. Esta tendência prejudica o abastecimento de forragem para animais e a proteção do solo. Além disso, o consumo exorbitante de biomassa pode até afetar a hidrologia e prejudicar as fontes de água (Kammen, *et al.* 2002).

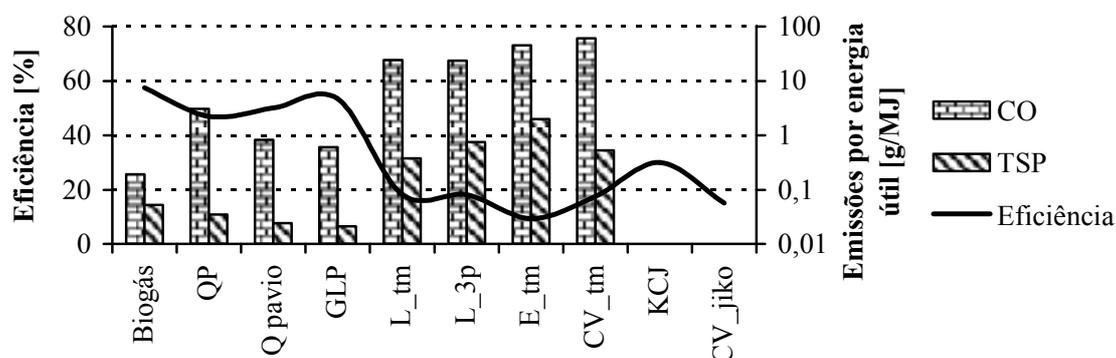
2.4.4 Definição de energia limpa para cocção

A energia limpa para cocção é produzida de maneira eficiente gerando menos substâncias poluentes tais como CO₂ e produtos de combustão incompleta: CO, CH₄, CONM e TSP. Esta parte apresenta a classificação de diferentes combinações de fogões e combustíveis em ordem de eficiência e de emissão dos gases de combustão que são responsáveis pela poluição.

Menor poluição do ar em ambientes fechados.

A queima de bio-combustíveis sólidos libera maior quantidade de CO e TSP por MJ de energia produzida do que a queima dos combustíveis gasosos e líquidos (Kammen, 1995 em Goldemberg e Johansson, 1995 e Zhang *et al.*, 1999). Em alguns casos, as emissões dos fogões a bio-combustíveis sólidos são até 50 vezes maiores do que as dos combustíveis gasosos. Conclui-se, portanto, que todos os fogões que utilizam combustíveis gasosos ou líquidos são relativamente os mais limpos, conforme apresentado na Figura 9. Quanto menor a eficiência da combinação de fogão e combustível, maior é a emissão de substâncias particuladas.

Figura 9: Emissões de CO e TSP para diferentes combustíveis e fogões



Nota:

Biogás: fogão a biogás; QP: fogão a querosene pressurizado; Q-pavio: Fogão a querosene a pavio; GLP: fogão a GLP; L_tm: fogão a lenha tradicional de metal; L_3p: fogão a lenha de três pedras; E_tm: fogão a esterco seco tradicional de metal; CV_tm: fogão a carvão vegetal tradicional de metal; KCJ: Fogão eficiente a carvão vegetal do Quênia; e CV_jiko: fogão tradicional a carvão vegetal do Quênia.

Fonte: Smith (1993) e Zhang *et al.* (1999).

Menos poluição ao meio ambiente

Do ponto de vista ambiental, Smith *et al.* (2000) mostram que os parâmetros mais importantes na avaliação da poluição de uma combinação de fogão e combustível são os indicadores de emissão do combustível (IQE) e a eficiência total no consumo do mesmo (η). Sobretudo, o mais importante é o índice ambiental do fogão (IAF) que relaciona os indicadores de emissão e a eficiência global no uso de combustível, na equação viii.

$$IAF = \ln[\eta/(1 - IQE)]$$

Equação viii

em que:

$$IQE = 1/(k + 1)$$

Equação ix

em que:

k é a soma de razões em peso de CO/CO₂, CH₄/CO₂, CCONM/CO₂ e TSP/CO₂. Quando k diminui, o valor de IQE aumenta aproximando 1 e aumenta o valor do IAF. Se o valor de k for zero, o valor de IQE é igual 1 e o IAF é infinitivamente alto que significa zero emissão.

Também, η é calculada pela equação x,

$$\eta = ENC \times ETC$$

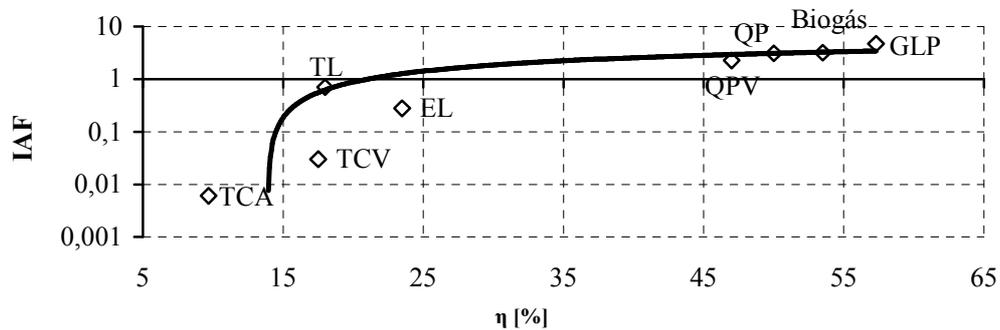
Equação x

em que,

ENC representa a eficiência de transformação da energia contida no combustível (na forma química) em calor (energia térmica) pela combustão, e
ETC é a eficiência de transferência de calor para a panela (energia útil).

Todos os parâmetros nas equações v, vi e vii são obtidos através de testes de emissão de fogões. As combinações de fogões e combustíveis com maior IAF são as mais limpas, logo, poluem menos o meio ambiente. Quanto maior o valor do IAF, menos poluente é a combinação de fogão e combustível. O fogão a lenha tradicional tem eficiência global e IAF maior do que o fogão tradicional a carvão vegetal. Todos os fogões a combustíveis gasosos ou líquidos têm maior eficiência global e são relativamente os mais limpos, como apresentado na Figura 10.

Figura 10: Variação do Índice Ambiental de Fogão (IAF) e a eficiência de conversão e transferência



Nota:

QP: fogão a querosene pressurizado; QPV: fogão a querosene com pavio; TCV: fogão tradicional a carvão vegetal; TL: fogão a lenha tradicional; EL: fogão a lenha eficiente; TCA: fogão tradicional a resíduos de casca de arroz; Biogás: fogão a biogás, GLP: fogão a GLP.

Fonte: Smith *et al.* (2000).

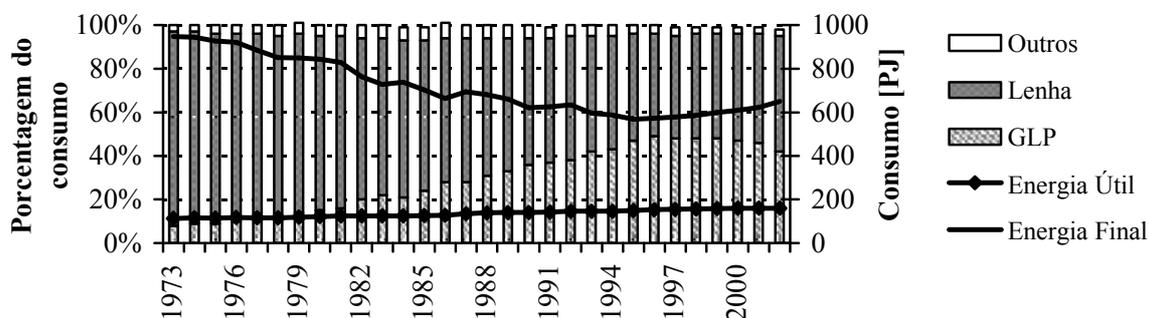
Combinando os resultados da Figura 9 e Figura 10, conclui-se que o biogás é o combustível mais limpo de todos, seguido pelo GLP e querosene em fogão pressurizado conforme a escada energética discutida na seção 2.5.1. Em geral, todos os combustíveis gasosos se qualificam como combustíveis limpos para cocção.

2.5 Transição energética: substituição e uso de combustíveis múltiplos

A transição energética se refere a um aumento no consumo dos combustíveis modernos e decréscimo no consumo dos combustíveis tradicionais, como a biomassa. De modo geral, o processo de transição é impulsionado pelo desenvolvimento socioeconômico e pela melhoria da renda familiar. A transição energética pode diminuir o consumo *per capita* de energia e as quantidades de emissões de gases poluentes devido à introdução de tecnologias mais eficientes.

Sendo um processo evolucionário, a transição energética ocorre durante um longo intervalo de tempo. Por exemplo, no Brasil, a contribuição de lenha no consumo energético domiciliar diminuiu de 90%, em 1973, para 47%, em 1996 e depois aumentou para 53%, em 2002 (BEN, 2003). Por outro lado, a participação do GLP aumentou, substituindo a lenha e o carvão vegetal até o ano 1996 quando contribuía até 49% do consumo. Após 1996, a participação da lenha começou aumentar e do GLP diminuir, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11: Evolução no consumo de combustíveis para cocção no Brasil, 1973-2002



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (2003).

Nas últimas décadas, o crescimento vertiginoso da urbanização e da população brasileira são alguns dos fatores que, em parte, explicam a difusão e a expansão do consumo do GLP e a diminuição da importância da lenha no Brasil. Outros fatores que contribuíram para a expansão incluem planejamento e organização das empresas distribuidoras de GLP, melhoria de segurança ao consumidor, garantia de suprimento do combustível, incluindo a entrega regular aos domicílios e os esquemas comerciais das distribuidoras, que incluem assistência técnica ao usuário (WLPGA, 2004).

Desde a crise de energia dos anos 70, foram realizados programas de fogões eficientes para diminuir o consumo de biomassa nos países em desenvolvimento, iniciados pelos seus governos ou pelas organizações internacionais. A crise, também conhecida como choque de petróleo, impediu as famílias pobres de subir a escada energética (seção 2.5.1) para os combustíveis fósseis, como o GLP e querosene; conseqüentemente, a dependência da biomassa aumentou ainda mais (Ezzatti, *et al.*, 2000). Os benefícios múltiplos dos fogões eficientes na redução de poluição em ambientes fechados e no meio ambiente impulsionaram o design e implementação dos programas de fogões eficientes.

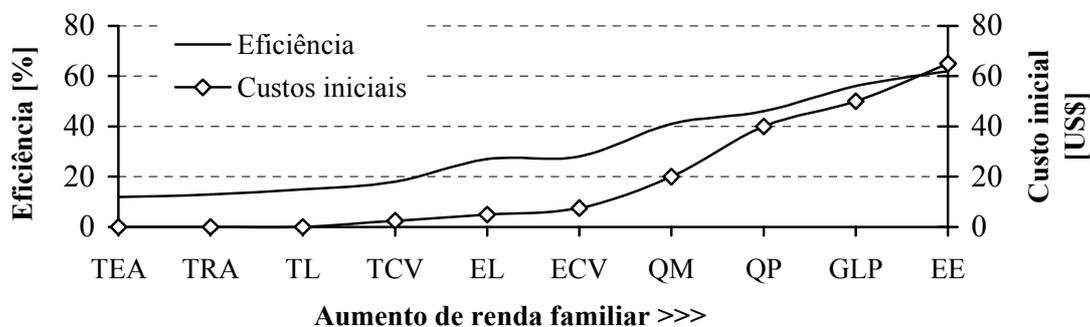
2.5.1 Teoria e crítica do modelo de ‘escada energética’

O modelo “escada energética” é utilizado para descrever as dinâmicas na escolha de combustíveis para cocção em domicílios. Baldwin (1986), Smith (1987), Hossier & David (1988), Leach & Means (1988) e Leach (1992) em Masera *et al.* (2000) explicam a hipótese

principal do modelo: na medida em que as famílias melhoram suas condições de vida, abandonam a utilização dos combustíveis tradicionais e os trocam pelos mais eficientes, mais convenientes e menos poluentes.

As diferentes opções para fornecer energia são caracterizadas por preço, eficiência, limpeza e conveniência na utilização. Cada uma das características se correlaciona às outras de alguma forma: os combustíveis tradicionais são os mais poluentes, menos convenientes no uso, por exemplo, enquanto os combustíveis modernos são os mais limpos e mais eficientes, convenientes, são também os mais caros. A Figura 12 apresenta estes combustíveis e suas posições relativas na escada energética. Deslocando-se para o lado direito, há o aumento de custos, eficiência e também o grau de comercialização de combustíveis e fogões. A lenha, esterco seco e resíduos agrícolas representam o degrau da posição mais baixa da escada. O carvão vegetal, carvão mineral e querosene representam os próximos degraus na escada e, na posição mais alta, situam-se a energia elétrica e o GLP.

Figura 12: Comparação de eficiência e custos de fogões



Nota:

TEA, TRA, TL, TCV: fogões tradicionais a esterco seco, resíduos agrícolas, lenha e carvão vegetal; EL e ECV: fogões eficientes a lenha e carvão vegetal; QM e QP: fogão a querosene com pavio e a querosene de pressão; GLP e EE: fogão a gás e fogão a chapa elétrica quente. Eficiências referem-se somente ao consumo dos combustíveis e os custos iniciais são custos de adquirir fogões.

Fonte: Reddy (1997)

O modelo de escada energética é caracterizado pela sua forma simples de apresentar a relação entre a escolha do combustível e o nível de renda do usuário. O modelo apresenta uma

idéia de que o subir pela escada está associado ao abandono dos combustíveis e tecnologias que eram utilizados anteriormente. A realidade, porém, não está de acordo com esta transição progressiva e unidirecional sugerida neste modelo.

Mais recentemente, surgiram outras opiniões para explicar a tendência de transição energética em domicílios, notavelmente, o trabalho de Masera *et al.* (2000). Os autores enfatizam que a transição energética é função de quatro fatores essenciais: (a) custos e acessibilidade; (b) eficiência e conveniência na utilização; (c) cultura; e (d) quantidade de emissões por quantidade de energia produzida. A troca de combustível, portanto, é um processo interativo em que alguns fatores empurram o usuário para a utilização dos combustíveis modernos e outros o puxam de volta para a utilização dos combustíveis tradicionais. É um processo bi-direcional; assim como o consumidor pode subir a escada energética, ele pode também descer, voltando a usar a lenha e outros combustíveis tradicionais em determinadas situações.

De modo geral, raramente a lenha é substituída completamente, mesmo com a disponibilidade dos combustíveis modernos. Por exemplo, Reddy (1997) mostra que a utilização de biomassa no Paquistão e no Vietnã é comum tanto para a classe pobre quanto para a classe rica, em proporções de 91,4% e 60,9%, respectivamente. Nas áreas faveladas de Campinas, Jannuzzi (1991) mostra que a lenha ainda correspondia a uma parcela significativa no consumo doméstico para cocção, apesar da disseminada presença do GLP. Cerca de 40% dos domicílios utilizava a lenha tanto em fogões especialmente construídos para este fim, quanto em fogões improvisados.

2.5.2 Fatores determinantes na escolha de combustível

A escolha de algum tipo de combustível é complexa e dinâmica. Davis (1998), citando o trabalho do Leach (1987), numa pesquisa no sul da Ásia, lista quatro fatores mais importantes na escolha de combustível. São eles: renda familiar, preços relativos dos combustíveis, custos de fogões e disponibilidade de combustíveis. Em alguns casos, a escolha de combustível é feita de maneira que ela garanta a segurança da oferta de outra fonte de energia. Por exemplo, Jannuzzi (1991) salienta que fogões a lenha são utilizados nas áreas faveladas para aquecimento de água para banho porque a utilização de chuveiros elétricos causa quedas de tensão, queima de fusíveis

e, conseqüentemente, interrupções de serviços de energia elétrica nas unidades residenciais. Neste caso, a utilização de lenha era uma estratégia para minimizar riscos na oferta de energia elétrica, que é insegura nas áreas faveladas devido às conexões ilegais e ao baixo padrão técnico das instalações. Um outro exemplo ocorre em Filipinas, onde mostra que a lenha e carvão vegetal são mantidos em estoque como combustíveis de emergências, no caso da falta de GLP (WEC, 1999).

O preço dos combustíveis é também importante na escolha. Davis (1998) mostra que o uso de combustíveis múltiplos é comum em domicílios de baixa renda como uma estratégia orçamentária de economia familiar. A população de baixa renda é muito sensível às variações de preços. Quando algum tipo de combustível torna-se mais caro, a lenha é o substituto favorito. Na preparação de refeições que consomem mais energia, as opções mais baratas são escolhidas. Jannuzzi (1991) mostra que a população de baixa renda prefere o uso de fogão a lenha como meio de cocção de feijão e de outros alimentos de longo tempo de cozimento, porque custa mais barato do que a utilização do fogão a gás ou elétrico. Em alguns casos, não obstante, o preço não é um determinante na escolha de combustível. Numa vila em Serra Leoa, dois terços das famílias não trocariam a lenha por outros combustíveis devido à facilidade que o fogão a lenha oferece na preparação das comidas típicas da região (WEC, 1999).

A escolha também depende da disponibilidade de combustível. Por exemplo, nas cidades de Joe Slovo e Khayelitsha, na África do Sul, apesar de ser caro, o querosene é utilizado pela maioria de residências devido a sua disponibilidade e vendas até em quantidades menores (Mehlwana e Qase, 1996). Leach e Gowan (1987) em Davis (1998), revisando várias pesquisas sobre energia para cocção, resumem os fatores que influenciam a oferta e a demanda de um determinado combustível na Tabela 16.

Tabela 16: Fatores determinantes na escolha de combustível

Oferta	Demanda
<ul style="list-style-type: none"> • Preço e disponibilidade de combustível • Tempo e trabalho necessário na coleta e utilização de combustível • Localização: urbana ou peri-urbana • Características de combustíveis e 	<ul style="list-style-type: none"> • Renda familiar • Número de pessoas na família • Clima • Cultura (dieta, modo de preparo de comidas) • Custo e eficiência de fogão

Fonte: Leach e Gowan (1987) em Davis (1999).

2.5.3 Disseminação de fogões e fornos eficientes a biomassa

A utilização de fogões eficientes foi considerada como a medida ideal para conservar energia e diminuir desmatamento e emissão de gases poluentes. A maioria dos programas de fogões eficientes teve expectativas de atingir a eficiência térmica de 75% ou mais baseada em resultados dos testes laboratoriais. Contudo, a maior parte deles falhou técnica e socialmente porque não consideravam as condições de cocção em situações reais de uso (WEC, 1999).

Foi comprovada também que a utilização dos fogões eficientes, todavia, não necessariamente diminui o consumo de combustíveis para cocção porque a economia realizada pelos fogões eficientes é normalmente neutralizada pelo novo aumento no consumo. Dutt e Ravindranath (1993) mostram um exemplo desta situação na Tailândia em que quando a família economiza em gastos para energia, aumenta gastos em outras necessidades, por exemplo, em compra de mais comidas que precisam de mais energia no seu preparo. Em muitos países, o setor informal é o mais envolvido na produção e comercialização destes fogões. Todavia, as limitações no setor informal em termos de capacidade, qualidade e custos de produção impedem a maior disseminação destes tipos de fogões (Eberhard, 1992).

O desenvolvimento e a disseminação de fogões eficientes a biomassa começaram nos anos 80. Executados por agências governamentais e não governamentais, estes programas visaram a acelerar a transição energética para os combustíveis e tecnologias mais limpas a preços mais acessíveis. Alguns exemplos destes programas em China, Índia e Quênia são apresentados a seguir.

Programa Nacional de Fogões Eficientes da China

No início dos anos 1980 o governo chinês começou o Programa Nacional de Fogões Eficientes, PNFE, com a missão de disseminar fogões eficientes a biomassa e a carvão mineral para cocção e aquecimento. O programa, administrado pelo Ministério de Agricultura da China, tinha instalado 130 milhões de fogões eficientes no início dos anos 1990, quando foi concluído (Smith e Zhang, 2004). A partir daí, o Ministério direcionou sua atenção ao apoio a empresas fabricantes de fogões e, nos meados de 1990, introduziu o sistema de certificação e padronização dos fogões. Atualmente, a comercialização dos fogões eficientes é conduzida pelo setor privado e

monitorada por administrações municipais. Durante o período de 1982 a 1999, o programa chinês de fogões tinha instalado 175 milhões de fogões a biomassa em residências rurais da China (UNDP, 2002). Smith e Zhang (2004) estimam que em 1998, dentre 236 milhões de residências rurais, 185 milhões tinham fogões eficientes a biomassa ou a carvão mineral. Calcula-se que nos últimos 20 anos, possivelmente, 90% de todos os fogões eficientes no mundo foram instalados na China.

Um fogão eficiente na China custava cerca de US\$ 10 com um subsídio indireto do governo de US\$ 0,84 (UNDP, 2002), equivalendo a 0,5% da renda média por ano das famílias nas áreas rurais. O custo total de disseminar 110 milhões de fogões eficientes, entre 1983 e 1989, foi aproximadamente US\$ 1 bilhão, com apenas 16% do montante (US\$ 158 milhões) investido pelo governo chinês em treinamento, promoção, monitoramento e subsídios para as famílias de baixa renda (Geller, 2003). O programa chinês instalou unidades de pesquisa e desenvolvimento e apoiou as empresas rurais na fabricação, instalação e manutenção de fogões eficientes, beneficiando-se da experiência e ampla infra-estrutura previamente desenvolvida pelo programa de disseminação de biodigestores e instalação de pequenas usinas hidroelétricas (UNDP, 2002, Geller, 2003). A maioria dos fogões eficientes tem poupado biomassa em até 25% e tem melhorado a qualidade do ar em ambientes fechados para os usuários (Smith, 1993 em Geller, 2003).

Programa Nacional de Chulhas Eficientes da Índia

O Programa Nacional de Chulhas Eficientes (PNCE), *National Program on Improved Chulhas (NPIC)*, foi lançado na Índia em 1984, visando a diminuir a demanda para os combustíveis provenientes da biomassa, através de melhoria da eficiência de combustão dos fogões tradicionais, “*chulhas*” (Hanbar e Karve, 2002). O PNCE tem componentes de pesquisa e desenvolvimento, treinamento técnico e empreendedorismo, conscientização e publicidade. O PNCE teve como meta distribuir fogões eficientes subsidiados para cada domicílio como parte de conscientizar a sociedade indiana sobre os benefícios de melhorias de eficiência no consumo de biomassa. A idéia era que os benefícios seriam o incentivo para os domicílios comprarem e utilizarem fogões eficientes, mesmo sem subsídio do programa. Um fogão eficiente *chulha* custa em torno de US\$ 4,50, do qual o governo subsidia a metade do preço.

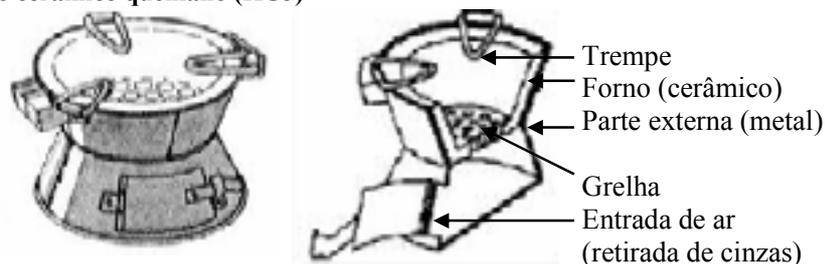
Em 2001, o programa tinha disseminado fogões eficientes para somente 32,77 milhões de domicílios (27%), entre os 120 milhões domicílios estimados na Índia. Hoje, apenas um terço dos fogões instalados funcionam e a maioria deles não conseguiu poupar energia ou eliminar fumaça de cozinhas (UNDP, 2002). Não há informações sobre o grau de conscientização alcançado, mas o programa criou uma boa infra-estrutura de pesquisa e desenvolvimento, mão-de-obra treinada em empreendedores, em várias partes da Índia (Hanbar e Karve, 2002).

Disseminação do fogão cerâmico do Quênia

No Quênia, pelo menos 700 mil de fogões eficientes, KCJ (*Kenya Ceramic Jiko*), estão sendo utilizados em mais de 50% de residências urbanas e 16% das áreas rurais (UNDP, 2002). Os programas de disseminação destes fogões começaram em 1982. A disseminação de fogões eficientes KCJ é considerada um dos programas bem sucedidos na região da África. Atualmente, a fabricação e comercialização dos fogões empregam cerca de 200 grupos de artesãos e a produção está numa taxa de 13 mil unidades/mês. A metodologia de disseminação destes fogões foi replicada em muitos outros países africanos, tais como Tanzânia, Sudão, Uganda, Zâmbia, Ruanda e Burundi (Kammen, 1995). Com a expansão crescente do mercado, competição entre grupos de fabricantes e avanços em inovações tecnológicas, o preço unitário dos fogões caiu de US\$ 15 para US\$ 1-3, dependendo do tamanho, design e qualidade do fogão.

O fogão KCJ, na Figura 13, que utiliza o carvão vegetal, é composto de uma parte cerâmica que atua como isolante de calor, possibilitando assim, a transferência à panela de 25% a 40% de todo calor produzido pela queima do carvão vegetal. A parte cerâmica absorve 20-40% do calor e 10-30% é emitido junto com gases de combustão. O KCJ é mais comum nas áreas urbanas, não obstante, sua utilização nas áreas rurais é limitada devido aos altos custos. Um fogão KCJ tem a vida útil de 1,5 – 2 anos e custa em torno de US\$ 5, que é relativamente mais caro para as famílias de baixa renda (Ezzatti e Kammen, 2002).

Figura 13: Fogão cerâmico queniano (KCJ)



Fonte: REPP (2004)

Fornos eficientes na produção do carvão vegetal no Senegal

O forno eficiente “casamance” foi introduzido no Senegal nos anos 70, na época em que havia maior preocupação com o desflorestamento. Este tipo de forno foi desenvolvido como uma versão melhorada de fornos tradicionais com o objetivo de diminuir o desmatamento. Porém a idéia de eficiência não foi bem recebida pelos comerciantes do carvão vegetal: a melhoria na produção do carvão vegetal e outros investimentos de longo prazo, como a diminuição do desflorestamento, não lhes interessavam porque comprometiam sua subsistência econômica. (Denton, 2004). A autora ressalta que com maior disponibilidade de madeira, literalmente, não há motivo convincente para os produtores de carvão vegetal mudarem a tecnologia atual de produção. A autora conclui que os produtores considerarão a importância das tecnologias, eficientes se a madeira for um *commodity* comercializado.

2.5.4 Programas de subsídios aos preços de querosene e GLP.

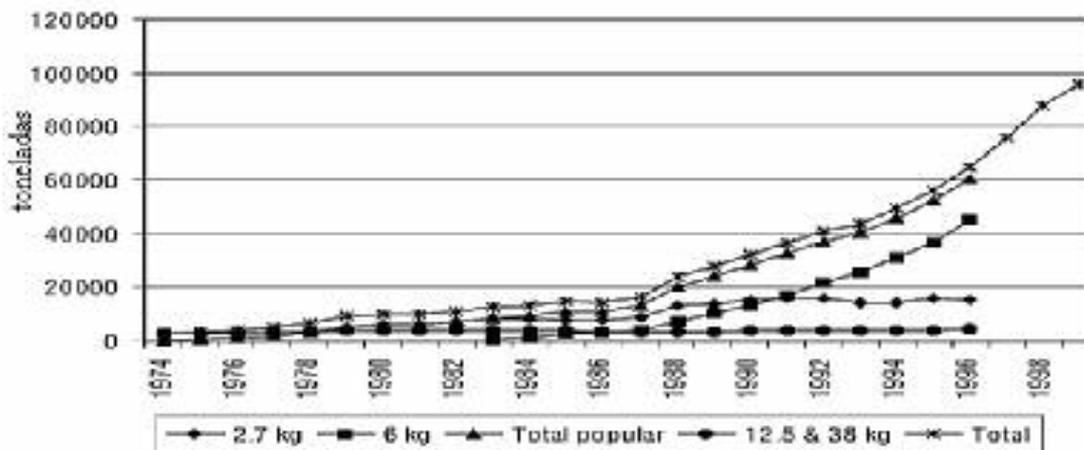
O subsídio é considerado como qualquer intervenção para manter preços de combustíveis (ou outros serviços) ou custos de produção de energia abaixo dos preços reais do mercado. O subsídio pode ser aplicado no lado de oferta ou no lado de consumo do combustível ou nos dois. Esta parte procura-se avaliar a importância de subsídios na disseminação e utilização dos combustíveis comerciais, principalmente o GLP e querosene.

Programa de “butanização” no Senegal

O objetivo do programa de GLP, no Senegal, era substituir uma parcela de carvão vegetal por GLP, nas áreas urbanas. Sokona (2001) ressalta que o programa começou em 1974 com a

retirada da taxa alfandegária na importação de todos os itens ligados ao GLP. O consumo cresceu de 3.000 toneladas, em 1974, para 15.000 toneladas, em 1987. Até 1987, mesmo com taxa alfandegária zero, o programa ainda não tinha conseguido atrair maior número de consumidores, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14: Evolução de consumo do GLP em vários segmentos de mercado no Senegal, 1974-1999.



Nota

Total popular é o consumo de GLP em botijões populares de 2,75 kg e de 6 kg.

Fonte: Sokona (2001)

Em 1987, para motivar mais o consumo do gás e manter preços finais constantes, o governo introduziu a política de racionamento no consumo de recursos florestais e subsídio aos preços do GLP. O governo aumentou a taxa de licenciamento da utilização de madeira, limitou a produção do carvão vegetal somente a algumas áreas específicas e aumentou o preço final do carvão vegetal (Denton, 2004). Três estruturas de preços foram estabelecidas para o GLP comercializado em botijões de 2,75 kg, 6 kg e 38 kg. Cada uma das estruturas incluía componentes de custo de realização na refinaria, impostos de portos, estabilização (subsídio), margens de distribuição e impostos sobre valor agregado, *Value added tax, VAT*. Somente o GLP em botijões menores (botijões populares de 2,75 kg e 6 kg) para a utilização residencial foi subsidiado. Um dos resultados da aplicação de subsídio foi um aumento abrupto no consumo do GLP em botijões populares de 2,75 kg e 6 kg e, em geral, o consumo aumentou de 15 mil toneladas, em 1987, para 100 mil toneladas em 2000, segundo apresentado na Figura 14.

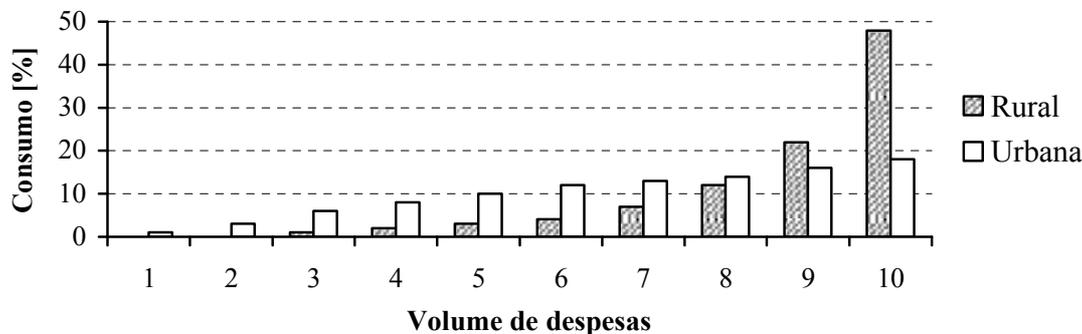
Em 1998, antecipando a liberalização do setor petrolífero do país, o governo aprovou a lei que exigiu revisão de preços mensalmente e a retirada de subsídio de forma gradual, numa taxa de 20% até o ano 2002. Não foi possível levantar informações sobre os efeitos da retirada de subsídios no consumo do GLP no Senegal. O Departamento de Energia do Senegal estima que o programa de butanização possibilitou uma economia de 70 mil toneladas de madeira e 90 mil toneladas de carvão vegetal. Em suma, o consumo de madeira diminuiu 700 mil m³, equivalente a 15% do consumo atual da lenha do país (Denton, 2004). Hoje, 80% de residências em Dakar, a Capital do Senegal, utiliza o GLP para cocção e o programa de butanização neste país é considerado um sucesso na comercialização do GLP nas áreas urbanas na África.

Todavia, os consumidores rurais foram excluídos e a redução de preços do GLP não os beneficiou (Denton, 2004) e, ao contrário a população rural ainda continua a utilizar a lenha e o carvão vegetal. Os altos custos dos fogões a gás e do GLP nas áreas rurais, comprovam a impraticabilidade de consumo nestas áreas onde a população tem dificuldades financeiras até em comprar o querosene para iluminação. A política de subsídio cruzado impôs taxas nos preços de todos os combustíveis derivados de petróleo, inclusive o querosene. Sendo assim, os consumidores pobres nas áreas rurais, injustamente pagam mais caro na compras de querosene para favorecer o consumo do GLP nas áreas urbanas.

Subsídio de GLP e querosene na Índia

Na Índia, o governo ainda subsidia o preço do GLP e do querosene vendidos por empresas estatais (Gangopadhyay *et al.*, 2004). Empresas privadas não vendem o GLP subsidiado, ainda assim são ativas em algumas regiões onde o mercado é favorável. O GLP é considerado como um combustível para as famílias de alto nível de renda; por isso, o consumo *per capita* é maior para as famílias ricas do que para os pobres. Conforme apresentado na Figura 15, as famílias ricas respondem por 50% de todo consumo nas áreas rurais, enquanto esta proporção é de 63% nas áreas urbanas em que o gás é mais utilizado entre os cinco níveis mais altos de classificação em termos de volume de despesas. Observa-se que a penetração do GLP é mais concentrada nas áreas urbanas onde, aproximadamente, todas as famílias têm acesso ao combustível. Assim sendo, as famílias urbanas se beneficiam mais com o subsídio do gás e isto revela que o mecanismo de subsídio é altamente ineficiente na melhoria do bem estar dos pobres e na redução de consumo de combustíveis tradicionais na Índia.

Figura 15: O consumo do GLP por classes sociais na Índia.



Fonte: Gangopadhyay *et al.* (2004)

O querosene destinado para o consumo residencial é também subsidiado na Índia. Todavia, uma grande parcela dele é ilegalmente desviada para o consumo em outros setores, principalmente na adulteração de gasolina e diesel, no setor automotivo (Gangopadhyay *et al.*, 2004). Segundo os autores, 50% de querosene subsidiado é desviado desta forma. Em 1999-2000, o governo da Índia investiu US\$ 1,56 bilhões como subsídio nos preços de querosene, não obstante, somente metade deste valor (US\$ 0,78 bilhões) beneficiou os consumidores residenciais. A diferença maior entre o preço do diesel e o preço do querosene subsidiado é o motivo para atrair maior número de pessoas nesta fraude. Entre 1999 e 2000, o preço de diesel era 3 vezes maior que o do querosene: o preço médio do diesel variava entre US\$ 0,20 e 0,24/litro, enquanto o preço do querosene variava entre US\$ 0,06 e 0,08.

Subsídio no preço do GLP no Brasil⁴⁰

Em torno de 98% de 46,5 milhões de domicílios no Brasil têm acesso ao GLP e sua penetração nas áreas rurais se dá em torno de 93% (IBGE, 2002). O uso doméstico do gás comercializado em botijões de 13 kg começou em 1937 e a sua produção no Brasil iniciou em 1955. Em 2002, a produção era de cerca de 8.902 milhões de m³ e a diferença entre a demanda e o consumo, de aproximadamente 40%, foi completada pelo GLP importado. O consumo do GLP *per capita* é em torno de 31,35 kg/ano, sendo equivalente a 1.488 MJ/ano. A forma de

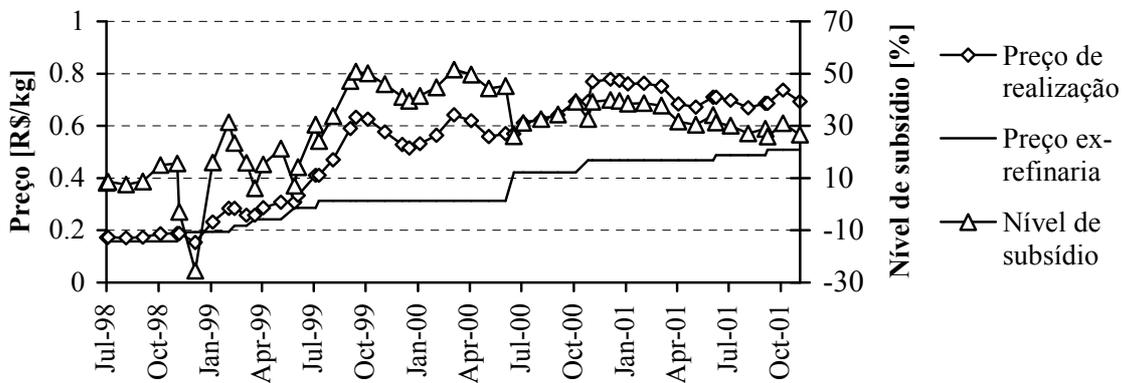
⁴⁰ Seção baseada no artigo “LPG subsidies in Brazil: an estimate”, Jannuzzi G. D. M. e Sanga G. A., publicado no Energy for Sustainable Development Journal, v.III, no.3, pp.127-129.

comercialização mais comum é de engarrafamento em botijões de 13 kg. Estima-se que existem mais de 70 milhões de vasilhames deste tipo em circulação pelo país. Os cilindros de 45 kg de gás também são largamente comercializados, principalmente para a utilização no setor comercial. Outros recipientes com capacidades diferentes também podem ser encontrados, mas em número muito menor. A venda do GLP a granel é feita em caminhões e vagões-tanque pressurizados que abastecem diretamente os botijões fixos.

O consumo residencial do GLP no Brasil atingiu o valor máximo, em 2002, de 7 milhões de toneladas (ou equivalente a 10 milhões de m³), o que equivale a 280 PJ. Entre 2001 e 2002, o consumo diminuiu por 5% (equivalente a 9,35 PJ), depois de dois anos sucessivos com crescimento de 3% e 4% (ANP, 2004). Consequentemente, a porcentagem de participação do setor residencial no consumo do GLP caiu de 82% em 2001 para 70% em 2003. Ao mesmo tempo, a utilização do gás natural vem aumentando nos últimos 10 anos, no setor residencial. Houve um crescimento de 600% no consumo residencial do gás natural nos últimos 10 anos, atingindo em 2002 o valor de 179 milhões de metros cúbicos. Entre 2001 e 2002, o consumo do gás natural aumentou para 39 milhões de m³, equivalente a 1,4 PJ.

Historicamente, o Brasil tem praticado a política de subsídio cruzado na comercialização dos derivados de petróleo durante algumas décadas, favorecendo preços baixos do GLP. A estrutura de preço era composta de quatro categorias: preço de realização, tributos, impostos e margens de distribuição. O valor de subsídio ao GLP variava com o tempo, como apresentado na Figura 16, que também contém variações do preço de realização, preço da refinaria. Observa-se que a porcentagem de subsídio era máxima, no valor de 50% entre outubro 1999 e fevereiro 2000 e era mínima em dezembro de 1998 com valor de -25%. Neste mês o consumidor do GLP pagava 25% mais do que o preço de realização nas refinarias. Os preços de derivados de petróleo, no Brasil, são reajustados periodicamente, de acordo com variações de preços de petróleo no mercado internacional e as políticas de preços do país.

Figura 16: Variação de preço e porcentagem de subsídio para O GLP no Brasil, 1998-2001



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Petrobras (2004).

Em maio de 2001, os preços do GLP foram liberados para dar continuidade à desregulamentação do sub-setor petrolífero, ANP (2004). Em dezembro de 2001, o preço de um botijão do GLP saindo da refinaria, sem impostos estaduais no Rio de Janeiro era de R\$ 9 (US\$ 3,56), sendo que R\$ 3,47 (US\$ 1,37) era subsidiado, conforme apresentado na Tabela 17. A retirada do subsídio de GLP, em janeiro de 2002, aumentou o preço final do botijão em 6%. O preço aumentaria ainda mais se não houvesse a redução de 25% no preço de realização nas refinarias, depois da queda do preço do petróleo no mercado internacional e a valorização cambial da moeda nacional (Petrobras, 2004). Em dezembro 2002, o preço do botijão de GLP no Rio era de R\$ 25,05 e os custos de realização, tributos e a margem de distribuição subiram para R\$ 11,09 (US\$ 2,97), R\$ 5,71 e 8,74, respectivamente. A porcentagem de margem de distribuição é por volta de 50% do preço final.

Tabela 17: Estrutura de preço do GLP em dezembro de 2001 e janeiro de 2002 no Rio de Janeiro

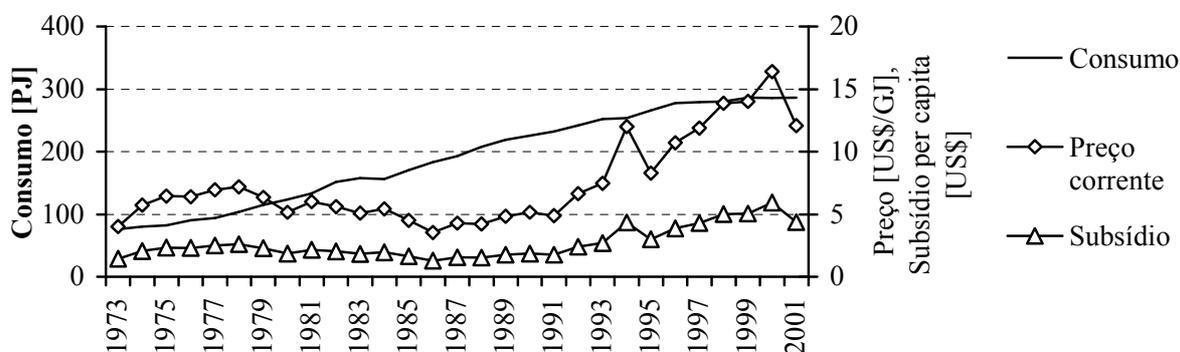
Componentes de preço (para o botijão de 13 kg)	Dezembro de 2001	Janeiro de 2002	
		Todos os consumidores	Consumidores de baixa renda
Custo de realização	9,00	6.67	6.67
Tributos	3,76	3.36	3.36
Margem de distribuição	13,02	13.71	13.71
Subsídio (baixa renda possui vale gás)	-3,47	0	-7.50
Preço final	22,30	23,74	16,24
Subsídio (relativo aos custos de realização e tributos)	27%	0	75%
Subsídio (relativo ao preço final)	16%	0	32%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP e Petrobras (2004).

Utilizando informações da Figura 16 e da Tabela 17, a porcentagem de subsídio é estimada em torno de 30% do preço do GLP saindo da refinaria e 18% no preço final do GLP. O valor anual do subsídio é calculado, portanto, como 18% do preço final do GLP. O valor de subsídio pode ser estimado pela utilização das informações anuais de volume de venda e consumo. De 1973 até 2001, o consumo de GLP aumentou 4 vezes e o valor do subsídio foi estimado por volta de US\$ 8,23 bilhões em preços correntes. Corrigindo pela inflação e considerando os preços constantes de 2001, o valor de subsídio é calculado em torno de US\$ 2,93 bilhões.

Considerando o consumo de energia útil *per capita* de 1 GJ/ano (seção 2.1.1), o consumo do GLP *per capita* é estimado em torno de 2 GJ/ano⁴¹, ou 40,32 kg, equivalente a 3 botijões de 13 kg. Utilizando os dados históricos de consumo do GLP no Brasil e a estimativa do consumo *per capita*, os valores médios de subsídio *per capita* no preço do GLP são apresentados na Figura 17. O valor do subsídio *per capita* em 2001 é calculado em torno de US\$ 4,38.

Figura 17: Evolução do consumo, preço (corrente) e subsídio para o GLP no Brasil, 1973-2001



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (2003)

Desde janeiro de 2002, quando foi retirado o subsídio no preço de GLP, o governo brasileiro começou a praticar uma política social de apoio à população de baixa renda com o vale gás, equivalente a R\$ 7,50/mês (US\$ 2,4), na aquisição de GLP para o uso doméstico. Os beneficiados por este programa são famílias com renda mensal *per capita* de até meio salário mínimo⁴². No ano 2002, o governo federal gastou R\$ 650 milhões (US\$ 349 em valores

⁴¹ Na hipótese de que a eficiência de fogão a gás é em torno de 50%.

⁴² Salário mínimo aprovado em junho 2004 é de R\$ 260 (US\$ 83)

constantes de 2001) para financiar o *vale gás*, beneficiando 6,7 milhões de famílias. Este valor correspondeu a 4,8% dos gastos do governo para os programas de assistência social. No ano 2003, o número de beneficiados do programa aumentou para 7,9 milhões de famílias, cerca de 20% da população, e o subsídio nesse ano foi de US\$ 462 milhões, em preço constante de 2001.

Durante o período de 2002 e 2003, o programa *vale gás* foi equivalente ao subsídio médio de US\$ 16 *per capita* por ano⁴³. O valor total do subsídio desde 1973, então, é a soma de US\$ 2,93 bilhões, US\$ 349 milhões e US\$ 462, isto é, de US\$ 3,7 bilhões. O programa *vale gás* foi lançado para auxiliar somente a parte da população de baixa renda, que é altamente afetada pelo aumento dos preços de combustíveis. A aplicação de subsídios para todos os consumidores do GLP, sem distinção de renda, seria mais caro e desnecessário para o mercado que já está estabelecido.

2.6 Resumo do Capítulo

Entre as famílias pobres, a cocção de alimentos e o aquecimento de água para banho representam a maior parte do consumo de energia, girando em torno de 90% e 100% do consumo residencial. Há vários tipos de combustíveis utilizados para cocção, tais como sólidos (carvão vegetal, lenha, carvão mineral), líquidos (querosene), gasosos (GLP, biogás) e energia elétrica. O consumo *per capita* de energia para cocção é constante em torno de 1 GJ/ano. Na maioria das áreas rurais, a energia para cocção, na forma de biomassa, é disponível sem custo monetário, não obstante os consumidores urbanos pagam pela energia que consomem. As despesas com energia entre as famílias pobres nas áreas urbanas e semi-urbanas representam até 22% das despesas familiares, embora o ideal seja uma proporção entre 5% e 10% como é o gasto pelas famílias ricas.

O consumo energético da lenha para cocção é responsável por apenas 7% do desmatamento, todavia, a maior preocupação por enquanto é o consumo crescente do carvão vegetal nas áreas urbanas da África. O consumo e a produção do carvão vegetal são praticados de maneiras ainda muito ineficientes, causando grande pressão sobre recursos naturais nas áreas

⁴³ Considerando o tamanho médio de uma família de baixa renda com 3-4 pessoas.

onde o combustível é produzido. O consumo do GLP e do querosene nas áreas rurais é limitado devido aos altos custos e falta de infra-estrutura para sua comercialização. Além dos preços de combustíveis e da renda familiar, a escolha de combustível para cocção depende de vários outros fatores; assim torna-se um fenômeno dinâmico e bidirecional.

A quantidade de emissões em ambientes fechados devido à utilização de combustíveis tradicionais em fogões ineficientes coloca o usuário em patamares de alto risco à saúde. Os combustíveis líquidos e gasosos são relativamente os mais limpos do que os sólidos por que emitem menores quantidades de CO₂ e produtos de combustão incompleta, tais como CO e CH₄. A queima dos combustíveis gasosos e líquidos é mais eficiente do que dos combustíveis sólidos. Por exemplo, a combustão do querosene e GLP é 3-7 vezes mais eficiente do que a combustão da lenha em fogões tradicionais.

Os efeitos adversos dos particulados, PM₁₀, por exemplo, bem como dos impactos ambientais, justificam os motivos para a redução da poluição do ar em ambientes fechados. Espera-se que estes efeitos aumentem nos países em desenvolvimento, devido ao aumento na preferência pelos combustíveis sólidos e à demanda crescente da energia para cocção impulsionada pela alta taxa de crescimento de população. Verifica-se, então, a necessidade de maior intervenção nos países em desenvolvimento, onde já há altos níveis da poluição e a situação precária dos serviços de saúde.

A substituição de combustíveis para cocção, ao longo da escada energética, pode reduzir a poluição em ambientes fechados. Entretanto, os combustíveis são progressivamente mais caros subindo a escada, o que impede a penetração dos combustíveis limpos e tecnologias mais eficientes. O conhecimento dos fatores que determinam a transição energética é importante na formação de políticas interventoras na oferta de energia para cocção. Além disso, também é importante estudar as dinâmicas de transição energética para projetar a demanda de vários tipos de combustíveis. Na avaliação ambiental, o modelo de transição energética pode também ser utilizado na projeção de quantidades de emissões de gases e outras substâncias poluentes e suas conseqüências.

Para diminuir a demanda de energia para cocção e desmatamento, programas de fogões e fornos eficientes foram introduzidos ao lado do consumo e da produção do carvão vegetal e lenha. Mais recentemente, além de melhoria de eficiência na produção e no consumo dos combustíveis para cocção, a importância dos fogões eficientes surgiu como uma medida para diminuir a poluição do ar em ambientes fechados. O maior número de fogões eficientes foi disseminado nos países que tiveram participação significativa do setor privado na fabricação e comercialização dos fogões. O financiamento pelos governos, porém, foi necessário nas atividades, como treinamento, promoção e monitoramento de qualidade.

Por outro lado, houve promoção do GLP e querosene como os substituintes da lenha e do carvão vegetal. A promoção subsidiada para o GLP e querosene foi praticada como a medida para manter preços mais acessíveis aos usuários. A aplicação de subsídios era a maior causa de distorção de preços dos demais combustíveis derivados do petróleo. Contudo, além do ônus nas finanças públicas e distorção de preços, o subsídio aumentou o consumo do GLP e diversificou a oferta da energia para cocção no setor residencial. Tais programas de subsídios, no entanto, são caros e beneficiam mais os usuários afluentes do que os pobres que não têm condições de adquirir o GLP e querosene, mesmo com os preços subsidiados. Assim sendo, a maioria dos programas de subsídios não tem maior impacto na melhoria da qualidade de vida dos pobres nas áreas rurais. O desvio de utilização do GLP e do querosene subsidiados ocorre com muita frequência e torna os programas de subsídios ainda mais caros.

Capítulo 3

Acesso e uso de energia para cocção na Tanzânia.

Este Capítulo apresenta a situação atual de demanda e oferta dos combustíveis para cocção na Tanzânia e a situação socioeconômica, acesso e custo de energia, emissão de gases poluentes e iniciativas para melhoria de oferta e consumo de energia para cocção. Para refletir as diferenças entre graus de atendimento e qualidade de energia para cocção, são feitas comparações entre a Tanzânia e outros países.

3.1 Características socioeconômicas

A Tanzânia situa-se entre as latitudes 1° e 12° ao sul do Equador e longitudes 29° e 39° ao leste da África junto ao Oceano Índico. A Tanzânia possui uma área de 945.090 km², sendo a maior parte formada por planaltos de altitude entre 1.000 e 1.500 m. A Tanzânia é cercada por oito países, incluindo Quênia e Uganda (norte), Ruanda, Burundi e República Democrática do Congo (oeste) e Zâmbia, Malavi e Moçambique

Figura 18: Mapa da Tanzânia



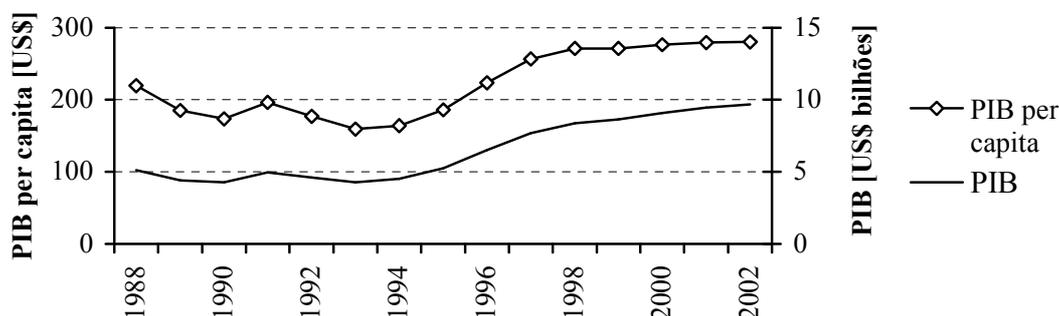
Fonte: www.maps.com

(sul). Ao leste, a Tanzânia forma fronteira com o Oceano Índico. Os dois maiores lagos da África, o Tangânica e o Vitória, situam-se nas fronteiras do norte e do oeste do país. O clima, na maior parte, é tropical e varia, de acordo com características geográficas e a distância do Oceano Índico, de árido, semi-árido e montanhoso para florestal e savana. Nas regiões montanhosas, a temperatura varia entre 10°C a 20°C e no resto do país a temperatura não cai menos de 20°C. Na média, o país recebe chuva variável de 500 mm a 2500 mm (URT, 2004).

A capital política da Tanzânia é Dodoma localizada no planalto central do país. A maior concentração da população se encontra nas cidades maiores como Dar es Salaam, Mwanza e Arusha. Segundo o censo demográfico de 2002, a população do país possui aproximadamente 35 milhões de habitantes, distribuídos em 25 regiões (URT, 2004). A média de densidade demográfica no país, em 2002, era de 38 habitantes/km². A cidade de Dar es Salaam é a capital comercial do país e tem a densidade populacional de 1.793 hab/km², seguida por Mwanza (150 hab/km²) e Kilimanjaro (104 hab/km²). A região com a densidade mais baixa é Lindi, que tem em torno de 12 hab/km². A taxa anual de urbanização em Dar es Salaam era por volta de 6%, entre 1988 e 1998; a taxa anual de crescimento da população do país é de 2,9% (World Bank, 2002). A população atual da cidade é de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes com número de moradores por família em torno de 5 pessoas (Malimbwi, 2001).

O PIB da Tanzânia, no ano 2002, foi de US\$ 9,4 bilhões com uma taxa de crescimento em torno de 6,3%. O nível de renda nacional bruta (RNB) *per capita*, no ano 2002, era de US\$ 280. O PIB *per capita* vem melhorando de 1995 até 1998, acompanhando o crescimento do PIB, conforme apresentado na Figura 19. A renda mensal da maioria da população na cidade de Dar es Salaam varia entre TSH 20.000 (US\$ 20) e TSH 200.000 (US\$ 200) segundo Malimbwi (2001). O Departamento de Estatísticas da Tanzânia estima a renda mensal da cidade em torno de US\$ 40.

Figura 19: Evolução do PIB *per capita* entre 1988 e 2002 na Tanzânia



Fonte: URT (2004).

A análise de despesas mensais *per capita* da população mostra que 20% da população (1º Quartil) gasta menos de TSH 3.015 (US\$ 3,0). Outro quartil, no outro lado extremo (Q5), apresenta o grupo com o nível de despesas maior do que US\$ 19,20 por mês. Os níveis de despesas *per capita* em Dar es Salaam são maiores do que os nacionais, conforme apresentado na Tabela 18. Os dados da Tabela 18 são fornecidos pelo Departamento de Estatísticas da Tanzânia (NBS) e mostram maior discrepância com a informação de renda *per capita* encontrada em Malimbwi (2001).

Tabela 18: Quartis⁴⁴ de despesas mensais *per capita* na Tanzânia

Quartil	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Tanzânia [TSH]	3.015	5.003	6.819	9.649	19.359
Dar es Salaam [TSH]	3.279	5.116	7.108	9.796	23.717

Fonte: NBS (2003).

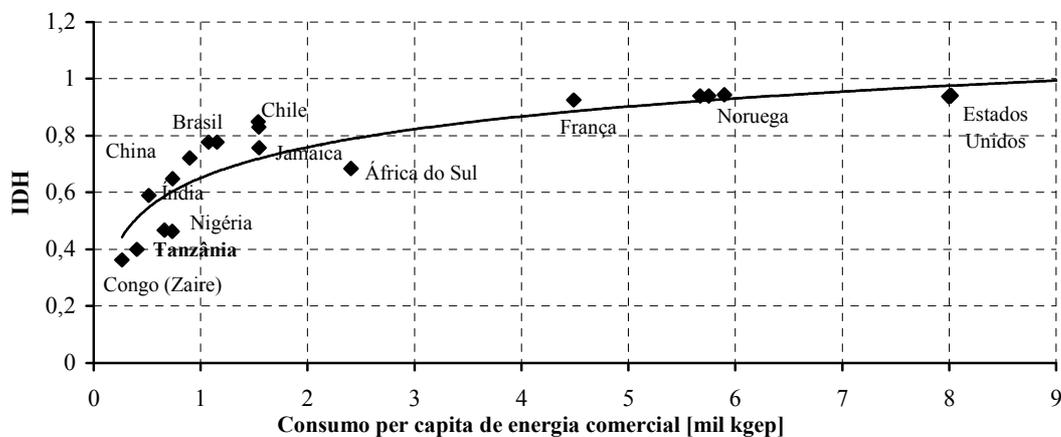
A Tanzânia tem o IDH relativamente menor que diversos outros países em desenvolvimento e o consumo *per capita* de energia comercial⁴⁵ é menos de 500 quilogramas equivalentes de petróleo (kgpe), como apresentado na Figura 20. Como para outros países subdesenvolvidos, o baixo IDH corresponde ao baixo consumo dos combustíveis comerciais, se

⁴⁴ Os quartis são valores da variável que dividem a distribuição da frequência em 5 partes iguais. O Q1, 1º quartil é o valor da variável de modo que o número de observações inferiores a Q1 é 20% e o número de observações superiores é 80%.

⁴⁵ Energia comercial refere-se a fonte de energia de alta qualidade e eficiência de combustão normalmente comercializado em mercados abertos. Inclui, por exemplo, a energia elétrica e os derivados de petróleo e exclui as fontes tradicionais tais como bio-combustíveis não processados.

comparado com os países desenvolvidos. O petróleo e energia elétrica representam, respectivamente, apenas 7% e 2% da oferta de energia, enquanto o carvão mineral, energia eólica e solar, juntos representam em torno de 1% do consumo. A biomassa responde por 90% de oferta de energia primária (Mwandosya e Meena, 1999) e o WEC (1999) estima que a área arborizada na Tanzânia é de 388 mil km² e o potencial de produção de energia da biomassa é 34,5 milhões de toneladas (510 mil TJ) por ano.

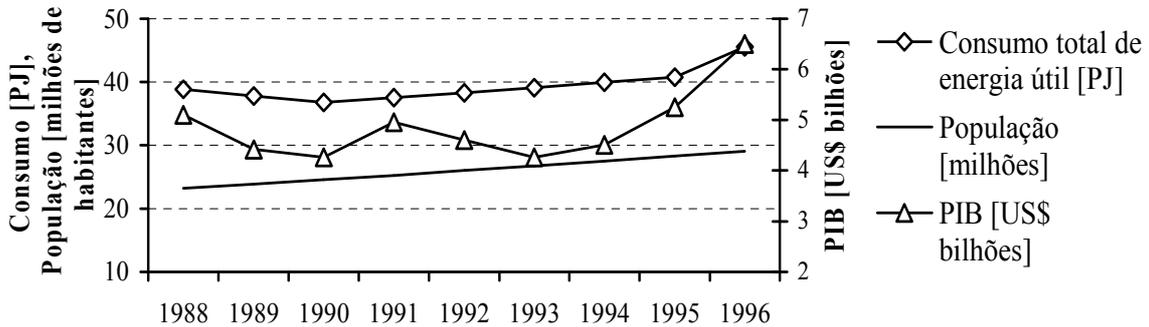
Figura 20: Comparação de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e consumo de energia *per capita* da Tanzânia e de outros países em 2002



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de World Bank (2004) e UN (2004).

O setor residencial é o maior consumidor de energia: em 1990 foi responsável por cerca de 80% do consumo, em torno de 561 mil TJ. A evolução do consumo de energia útil no setor residencial mostra uma relação linear com o aumento da população e não há uma relação direta com variações de PIB. O consumo *per capita* durante o período de 1988 e 1996 é de 1,5 GJ por ano, conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21: Evolução no consumo de energia útil no setor residencial da Tanzânia, 1988-1996.



Nota:

- Foi considerado o consumo de lenha, carvão vegetal e GLP. A informação sobre o uso do querosene não faz a distinção entre uso de querosene para cocção e para iluminação.
- Considerou-se eficiência de fogões a lenha de 15% e de fogões a carvão vegetal, 20%.

Fonte: FAO (1995), Bank of Tanzania (2004).

3.2 Oferta e consumo dos principais combustíveis para cocção em Dar es Salaam.

Esta parte apresenta a situação atual de uso e mercado de várias fontes de energia para cocção (carvão vegetal, querosene e GLP) na Tanzânia. Mwandosya e Meena (1999) estimam que o consumo anual de lenha e carvão vegetal no país é em torno de 32 milhões de metros cúbicos dos quais um terço é oriundo da colheita de madeira para produção da lenha e carvão vegetal, enquanto que os dois terços restantes vêm de desmatamento para atividades agrícolas. O consumo de biomassa *per capita* varia entre 0,5 m³ a 2,10 m³/ano e a média é de 1,5 m³/ano.

A maioria das residências em Dar es Salaam utiliza mais de um tipo de combustível para cocção (Malimbwi, 2001) conforme apresentado na Tabela 19. O carvão vegetal é o combustível mais preferido e é utilizado com maior frequência do que os outros. A utilização de outros combustíveis na segunda e terceira preferência ocorre somente como alternativa, nos casos onde é mais conveniente utilizar os outros combustíveis ou há falta de oferta do combustível mais preferido. A preferência para o carvão vegetal aumentou durante o período de 10 anos, entre 1991/92 e 2000/01, de 51% para 69%, respectivamente (Malimbwi, 2001). Hosier e Kipondya (1993) e Ishengoma e Ngaga (2001) em Malimbwi (2001), estimam este percentual em torno de 73% e 86% respectivamente. Segundo Malimbwi (2001), custos altos de energia elétrica e a piora

das condições financeiras da população estão entre as maiores causas de queda na preferência para querosene e energia elétrica.

Tabela 19: Preferência na utilização de combustíveis para cocção em Dar es Salaam, em 2001

Tipo de combustível	Preferência de escolha [porcentagem de domicílios]		
	Primeira	Segunda	Terceira
Carvão vegetal	69	25	3
Querosene	25	53	5
Energia elétrica	4	6	17
GLP	1	2	0
Outros (lenha, etc.)	1	14	75

Fonte: Malimbwi (2001).

Neubauer (2002) apresenta a evolução na porcentagem de utilização de várias fontes de energia para cocção na cidade, entre 1990 e 2000. Segundo a Tabela 20, a porcentagem de utilização dos fogões tradicionais a carvão vegetal diminuiu durante este período, de 64,10% para 43,70% numa taxa constante aproximadamente em torno de 4%. Por outro lado, a porcentagem de utilização dos fogões eficientes a carvão vegetal aumentou de 13,13% em 1990 para 26,25% numa taxa anual de 7%. A porcentagem de utilização dos fogões elétricos e fogões a querosene também aumentou numa taxa de 3% e 2%, respectivamente. Quando extrapoladas, as porcentagens de penetração, em 2004, são 35,7%, 35,7%, 22,8% e 3,9% para os fogões tradicionais, eficientes, querosene e energia elétrica, respectivamente.

Tabela 20: Porcentagem de utilização de diferentes tipos de fogões em Dar es Salaam.

Combustível/fogão	Porcentagem de utilização (%)	
	1990	2000
Carvão vegetal fogões tradicionais	64,10	43,70
Carvão vegetal fogões eficientes	13,13	26,25
Querosene	18,75	21,88
Energia elétrica	3,0	4,0
Gás e outros	1,0	4,0

Fonte: Neubauer (2002).

No ano 1990, somente 4,9% de residências no país utilizava fogões eficientes a carvão vegetal, segundo Mwandosya e Meena (1999). Desde então, a taxa de penetração dos fogões é estimada em torno de 3% por ano e prevista para chegar à saturação de 90%, no ano 2020. Malimbwi (2001) calcula a taxa de penetração dos fogões eficientes na Tanzânia e em Dar es Salaam em torno de 26% e 41%, respectivamente, durante 1998 e 2001.

3.2.1 *Carvão vegetal*

O carvão vegetal é a maior fonte de energia para cocção nas áreas urbanas na Tanzânia. O combustível é considerado localmente como uma fonte moderna diferentemente da lenha, dos resíduos agrícolas e do esterco seco. O carvão vegetal pode ser adquirido em quantidades pequenas, não estraga, mesmo em períodos longos de armazenagem, e queima-se facilmente mesmo em fogões simples. É uma fonte doméstica de energia cuja produção e utilização não precisa de alta tecnologia. Com estas características, o carvão vegetal torna-se uma das opções mais baratas para cocção no país. A produção, distribuição e venda do carvão vegetal constituem uma das maiores indústrias do setor informal oferecendo emprego e renda para a maioria das pessoas nas áreas rurais e urbanas já que não há alternativas melhores para sobreviver (Malimbwi, 2001).

Produção do carvão vegetal

Aproximadamente todo carvão utilizado na Tanzânia é produzido em fornos tradicionais de caieira, *earth mound*, semelhantes aos fornos quenianos, apresentados em Pennise *et al.* (2004) e mencionados na seção 2.3.2. Estes fornos, conforme apresentado na Tabela 8, têm rendimento de carvoejamento entre 21% e 34%, segundo testes realizados em 2004. Mwandosya e Meena (1999) mostram que os fornos utilizados na Tanzânia têm rendimento em torno de 1 kg de carvão vegetal para cada 6 kg de madeira utilizada, coerente com o valor apresentado por Pennise *et al.* (2004). O consumo do carvão vegetal para cocção é cerca de 43,1 milhões de sacos (o peso médio de 28 kg) por ano, equivalente a 1.200 milhões de toneladas (Malimbwi, 2001). Devido ao desmatamento nas áreas periféricas da cidade, a distância dos pontos de produção de carvão vegetal até a cidade aumentou de 50 km, nos anos 70, para 200 km, nos anos 90.

Segundo Malimbwi (2001), a intensidade de colheita de madeira nas áreas de produção do carvão vegetal é maior nas áreas não preservadas ($9,81 \pm 2,3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$) do que nas florestas preservadas ($3,55 \pm 0,8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$). A taxa média de colheita de madeira é de $6,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$. Nestas áreas, a maior parte da madeira colhida é utilizada na produção do carvão vegetal (75%), madeiramento (12%), atividades agrícolas (7%) e outros (6%). Malimbwi (2001) mostra que não existem regulamentação e gerenciamento das áreas arborizadas. O reflorestamento ocorre,

somente, através da reprodução natural de capoeiras e brotos e há poucos programas de reflorestamento nas áreas de produção do carvão vegetal. O incremento médio por ano, *mean annual increment (MAI)*, foi de 2,3 m³/ha nas florestas preservadas e de 1-2 m³/ha nas áreas não preservadas. A maior parte do carvão vegetal consumido em Dar es Salaam é produzida nas áreas não preservadas (Malimbwi, 2001). Comparando as taxas de consumo e reflorestamento para produção do carvão vegetal, conclui-se que o consumo é três vezes maior do que o reflorestamento. Somente um terço de todas as madeiras consumidas anualmente é recuperada pelo reflorestamento, dessa forma a utilização de madeira para produção do carvão não é sustentável. Conclui-se também que o CO₂ produzido na produção do carvão vegetal não é completamente reabsorvido pelo reflorestamento, em vez, se acumula na atmosfera aumentando o inventário dos gases de efeito estufa.

Consumo de carvão vegetal per capita:

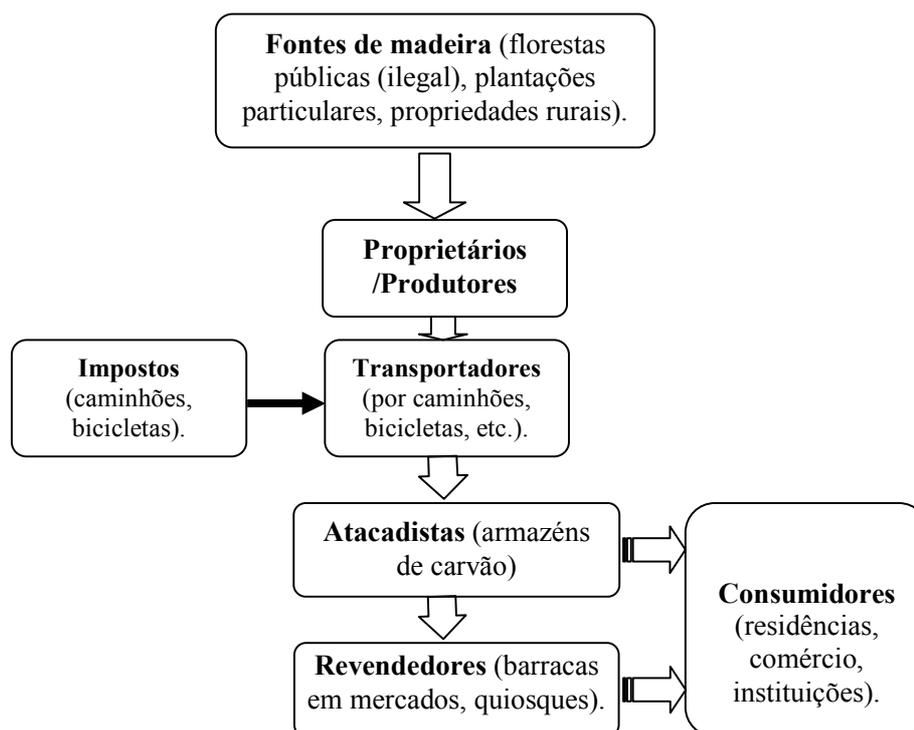
No ano 1998, o consumo do carvão vegetal na cidade de Dar es Salaam era em torno de 360 mil toneladas, respondendo por aproximadamente 50% do consumo total no país (Mwandosya e Meena, 1999). Em média, o consumo *per capita* é em torno de 168 kg/ano ou 5,25 GJ/ano de energia. Considerando a eficiência média de combustão de 20%, e a perda de 20%, devido ao manuseio e transporte, a energia útil *per capita* é de 1,05 GJ, o que representa um valor médio de energia útil consistente com os valores encontrados na literatura (seção 2.1.1).

Malimbwi (2001), considerando somente o setor residencial, estima o consumo do carvão para cocção em torno de 345 mil t/ano. Citados por Malimbwi (2001), Hosea e Kipondya (1993) calculam o gasto por família em torno de 77 kg/mês e Ishengoma e Ngaga (2001) estimam em torno de 87 kg/mês, sugerindo um aumento no consumo do carvão no nível familiar. O consumo diário para uma família de 5 pessoas é em torno de 2,8 kg e o consumo diário na cidade fica na faixa de 800 a 1400 toneladas (Malimbwi, 2001). Sendo o número médio de moradores por residência equivale a 5, o consumo *per capita* é de aproximadamente 0,6 kg/dia. Considerando a eficiência média dos fogões a carvão vegetal em termos de 20% e o poder calorífico inferior (PCI) do carvão vegetal igual a 30,8 MJ/kg (IPCC, 1996), o consumo de energia útil *per capita* é aproximadamente 1,35 GJ/ano.

Indústria do carvão vegetal da Tanzânia

A comercialização do carvão vegetal em Dar es Salaam é envolve agentes numa cadeia razoavelmente complexa de tal forma que, se torna difícil identificar todos eles e suas atividades. A Figura 22 apresenta a estrutura simplificada de comercialização do carvão vegetal nesta cidade.

Figura 22: Cadeia de comercialização de carvão vegetal na Tanzânia.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Malimbwi (2001).

Os produtores de carvão vegetal e madeiras estão localizados nas áreas rurais e representados por agências na cidade. As agências atacadistas são comerciantes que também possuem ou alugam meios de transporte para levar o produto à cidade. Existem também transportadores independentes que são contratados apenas para o transporte. Outro grupo é de transportadores que usam bicicletas e a maioria são moradores das áreas periféricas das cidades, perto dos pontos de produção do carvão. Os transportadores podem vender o carvão para atacadistas, revendedores ou aos próprios consumidores finais, o caso dos transportadores que usam bicicletas.

Para a produção do carvão vegetal, assim como para outras utilizações de recursos florestais das áreas arborizadas na Tanzânia, deve haver permissão e licenciamento da Diretoria de Florestas e Apicultura (DFA). A taxa média de impostos para cada sacola de carvão que pesa 28 kg é de TSH 400 (US\$ 0,40), segundo Malimbwi (2001). Todavia, a produção e a comercialização do carvão vegetal são menos controladas e fiscalizadas. Os produtores, normalmente, não pagam para utilizar a madeira colhida para produção do carvão vegetal. Os impostos pela colheita de madeira, *stumpage fee*, reflorestamento, e os custos dos efeitos prejudiciais causados pela perda de vegetação não são inclusos no preço final do carvão vegetal. O preço final do carvão inclui somente os custos de mão-de-obra, transporte, manuseio e margens cobradas por revendedores (Malimbwi, 2001).

Estima-se a média de 6 mil de sacos entram na cidade por dia, mas esta é uma estimativa conservadora, pois há grande volume de carvão vegetal transportado durante a noite para sonegação de impostos. O percentual do carvão vegetal não fiscalizado chega até 41% do volume total. Em 2000, a arrecadação dos impostos da importação do carvão vegetal à cidade era de TSH 4,5 milhões (US\$ 4,2 mil) por dia, representando o potencial de arrecadar US\$ 20 mil/mês ou US\$ 240 mil/ano. Sendo TSH 3.500 (US\$ 3,2) o preço de varejo de um saco de carvão, considerando somente o número de sacos fiscalizados, a comercialização do carvão vegetal em Dar es Salaam movimentava uns US\$ 7,5 milhões/ano.

3.2.2 Querosene e GLP.

O querosene é geralmente utilizado para iluminação das residências sem energia elétrica. Segundo CEEST (1997), 90% da população da Tanzânia, em 1990, utilizava o querosene para iluminação usando lanternas de pavio. Nas áreas urbanas, onde existe o maior acesso à energia elétrica, o querosene é utilizado para cocção em fogões de pavio ou fogões pressurizados. Os fogões a querosene mais comuns têm eficiência em torno de 35% (TaTEDO, 2002) e emitem grande quantidade de fumaça, durante sua utilização e também quando são apagados. Em 1990, o país consumiu 79 mil toneladas de querosene (CEEST, 1997), porém a fonte não distinguiu as proporções do consumo para cocção e para iluminação. Se todo querosene fosse utilizado para

coção, supriria a energia suficiente para 1,4 milhões⁴⁶ de pessoas. O querosene pode ser adquirido em quantidades pequenas, o que o faz um combustível com preços mais acessíveis do que GLP.

O CEEST (1997) calcula que o consumo do GLP foi de 5,0 mil toneladas, em 1990, e TaTEDO (2002) ressalta que o consumo caiu para 3,6 mil toneladas ou 0,1 kg *per capita* em 2001. O consumo do gás nas áreas rurais é praticamente nulo e, de modo geral, é mais comum em algumas áreas urbanas entre consumidores de alto nível de renda. Durante o ano fiscal 2003/04, o governo da Tanzânia diminuiu impostos aduaneiros ao GLP de US\$ 0,26/kg para US\$ 0,13/kg e, teve como resultado um aumento de consumo de 50%. O consumo atual do gás não foi apresentado, entretanto pode ser estimado em torno de 5 mil toneladas, baseado no relatório do TaTEDO (2002). Todo o GLP consumido no país é importado.

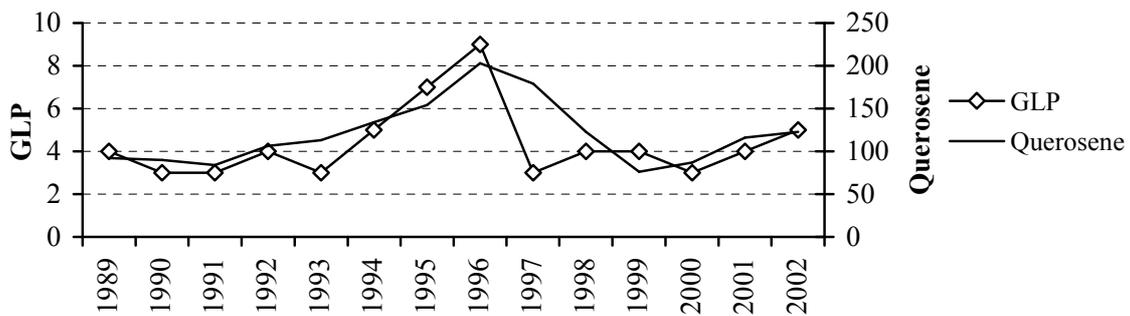
A distribuição do GLP na Tanzânia para o uso residencial, que responde por 63% do consumo anual total, é feita em botijões de 15 kg. Recentemente, para possibilitar a aquisição do gás em menores quantidades, foram introduzidos botijões menores de 6 kg, integrados com bico de gás e trempe (TaTEDO, 2002). Além de ser vendido a preços relativamente baixos, a integração do bico de gás e trempe evita a necessidade de comprar um fogão a gás. Na primeira compra, o preço do gás e o conjunto de botijão de 6 kg, bico de gás e trempe varia entre US\$ 50-70. Em 2001, os preços do GLP, dos quais 35-40% eram impostos, eram entre US\$ 1.312/t, em Dar es Salaam e, US\$ 1.512/t, em outras cidades do interior. O preço do GLP importado, ainda no porto e sem impostos, era de US\$ 470/t.

O consumo do querosene e do GLP seguiu a mesma trajetória, entre 1989 e 2002. Houve um decréscimo no consumo dos dois combustíveis de 1989 até 1996 quando o consumo de cada um chegou ao nível máximo. Entre 1996 e 2000 o consumo do querosene e do GLP caiu drasticamente de 203 e 9 mil toneladas para 87 e 3 toneladas, respectivamente (AFREPREN, 2004) devido ao aumento de preços dos derivados de petróleo no Golfo Pérsico (seção 2.2.2, Figura 3). O Golfo Pérsico é o maior fornecedor dos combustíveis derivados de petróleo

⁴⁶ Foi considerada a demanda *per capita* de 1 GJ/ano, eficiência de fogão a querosene em torno de 40% e o poder calorífico inferior do querosene de 44,45 GJ/t.

utilizados na Tanzânia. Após 2000, os preços do GLP e querosene começaram a cair e o consumo dos dois combustíveis vem crescendo numa taxa de aproximadamente 30% por ano conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23: Evolução no consumo do querosene e GLP na Tanzânia, 1989-2002



Fonte: Elaboração própria a partir de AFREPREN (2004).

3.2.3 Combustíveis não convencionais: biogás, carvão mineral e gás natural

Biogás:

A Tanzânia tem aproximadamente 15 milhões de cabeças de gado que podem produzir cerca de 40 milhões toneladas de esterco por ano (Kassenga, 1997). Existem também grande quantidades de resíduos orgânicos que podem ser decomposto e produzir o biogás. A tecnologia de biodigestão foi introduzida nos anos 50, mas a sua disseminação em larga escala para utilização doméstica e institucional iniciou em 1975. Em 1994, o Centro de Mecanização Agrícola e Tecnologias Rurais da Tanzânia (CAMARTEC) tinha construído 1000 unidades de biodigestores (AFREPREN (2002), Sheya e Mushi (1999)). O modelo mais popular dos biodigestores, batizado como “CAMARTEC”, é adaptado dos modelos chineses, que têm uma cúpula fixa e utiliza estrume como matéria de insumo. Este modelo de biodigestor consome quantidades maiores de água, às vezes até em volumes maiores do que o consumo diário de um domicílio rural. O seu custo médio é em torno de US\$ 1.000. Outro modelo de biodigestor de baixo custo foi desenvolvido, utilizando-se a experiência do Vietnã e da Índia (Hifab/TaTEDO, 1998). Este modelo custava US\$ 80 porque é construído com tecnologia simples e matérias mais baratas. O consumo de água foi significativamente reduzido e pôde produzir o biogás com menos consumo de estrume.

A tecnologia de biodigestores foi desenvolvida para aplicação nas áreas rurais. Porém, a instalação, operação e manutenção dos biodigestores são logicamente difíceis. O alto custo e o consumo elevado de água e estrume estão entre os maiores empecilhos na disseminação e adaptação dos biodigestores. Assim sendo, o potencial do biogás como um combustível para cocção na matriz energética da Tanzânia é marginal. A situação atual de disseminação desta tecnologia não é conhecida apesar da presença de alguns programas de disseminação em execução (Kassenga, 1997).

Carvão mineral

A reserva de carvão mineral é estimada em torno de 1.200 milhões de toneladas entre as quais 200 milhões são betuminosos, com um potencial de uso para cocção (URT, 2003). Os campos de produção do carvão são concentrados na área sudoeste do país. A produção atual é de 100 mil t/ano, sendo que a maior parte deste carvão é utilizada na produção de energia elétrica com a capacidade de somente 6 MW, produzindo 20 GWh, em 2001. O carvão betuminoso disponível na Tanzânia é de qualidade média com 24% de conteúdos voláteis, 10% cinza e 0,6% enxofre. Seu valor calorífico é em torno de 29,30 MJ/tonelada e a densidade é cerca de 850 kg/m³ o que equivale a 3 a 4 vezes mais do que a do carvão vegetal. O mercado do carvão mineral, no setor residencial da Tanzânia, praticamente não existe (URT, 2003).

Há limitações logísticas no transporte, na comercialização e na utilização do carvão mineral. Os campos de produção do carvão vegetal situam-se longe das cidades onde se encontram os consumidores domésticos (URT, 2003). Apesar da presença de uma ferrovia e rodovias que ligam as cidades e os campos de produção, os custos de transporte são muito altos, assim, os preços do carvão mineral aos consumidores finais se tornam maiores do que os preços do carvão vegetal, querosene e energia elétrica. Já que o carvão mineral se queima lentamente em fogões domésticos e produz mais calor que causa superaquecimentos, sua utilização para cocção é altamente limitada.

Gás natural

A Tanzânia possui reservas de gás natural em torno de 0,98 trilhões pés cúbicos ou 27,73 milhões de m³. O gás foi descoberto numa ilha em Songosongo, no sudeste da Tanzânia em 1974. A jazida é localizada *off-shore*, a uma distância de 25 km da costa no Oceano Índico. No entanto, o gás é utilizado para geração de energia elétrica (115 MW) e outros consumos industriais em Dar es Salaam. Há um gasoduto de 12 polegadas de diâmetro que leva o gás até a cidade, numa distância de 225 km.

3.3 Comparação de custos de energia

Os preços médios de combustíveis variam, dependendo de custos de transportes, custos operacionais e impostos. Hosier e Kipondya (1993), citados por Foster (2000), mostraram uma grande variação entre preços praticados⁴⁷ e preços reais⁴⁸ na utilização de 5 combustíveis mais comuns para cocção em Dar es Salaam na Tanzânia em 1990. De acordo com os autores, a energia elétrica é a mais barata de todas. O governo da Tanzânia promove a utilização da energia elétrica através de subsídios no preço final ao consumidor. Em 1990, 94% do preço da energia elétrica para os consumidores residenciais era subsidiado para melhorar sua acessibilidade. O custo para utilizar a energia elétrica numa residência com a demanda mensal de 320 MJ (89 kWh) era de TSH 657,99 (US\$ 1,5)⁴⁹ em preço praticado, mas o preço real seria TSH 3.779,93 (US\$ 8,6).

Hosier e Kipondya (2003), em Foster (2002), mostram que há subsídios praticados nos preços de carvão vegetal e de lenha. Somando os custos reais dos combustíveis para cocção e seus custos mensais, observa-se que o carvão vegetal é a opção mais barata da lista. A Tabela 21 apresenta os custos para utilizar os 5 combustíveis para cocção numa residência com a demanda mensal de 320 MJ.

⁴⁷ Preço praticado é o preço de um combustível no mercado

⁴⁸ O preço real corrige as distorções no preço devido aos subsídios e aos custos adicionais como impostos, tributos e paridade para os combustíveis importados.

⁴⁹ Valor corrente de 1993

Tabela 21: Custos⁵⁰ de energia para cocção em Dar es Salaam, em 1990

Combustível	Custo de energia útil [US\$/MJ]		Custo mensal do fogão (amortizado) [US\$]	Custo total para o consumo de 320 MJ [US\$]	
	Praticado	Real		Praticado	Real
Lenha	0,009	0,012	n/a	2,869	3,841
Carvão vegetal (tradicional)	0,008	0,013	0,051	2,665	4,162
Carvão vegetal (eficiente)	0,005	0,009	0,285	2,027	3,026
Querosene	0,012	0,021	0,076	3,894	6,731
GLP	0,007	0,010	0,475	2,789	3,747
Energia elétrica	0,001	0,024	1,044	1,499	8,610

Fonte: Hosier e Kipondya (1993) em Foster (2000).

Aproximadamente 10 anos depois desta observação de Hosier e Kipondya (1993), TaTEDO (2002) mostra que a utilização do carvão vegetal em fogões eficientes é ainda a alternativa mais barata para cocção. Enquanto o custo de energia elétrica por MJ se manteve constante durante dez anos, custo de lenha triplicou, de carvão vegetal e querosene dobrou e de GLP quintuplicou. O GLP sofreu o maior aumento de preço ao contrário do querosene e energia elétrica que pode significar a continuidade de aplicação de subsídios aos dois. A utilização do GLP custa duas a três vezes mais do que a do carvão vegetal num fogão eficiente, conforme apresentado na Tabela 22.

⁵⁰ Preços originais em TSH convertidos em US\$ corrente de 1993 que é equivalente a TSH 439.

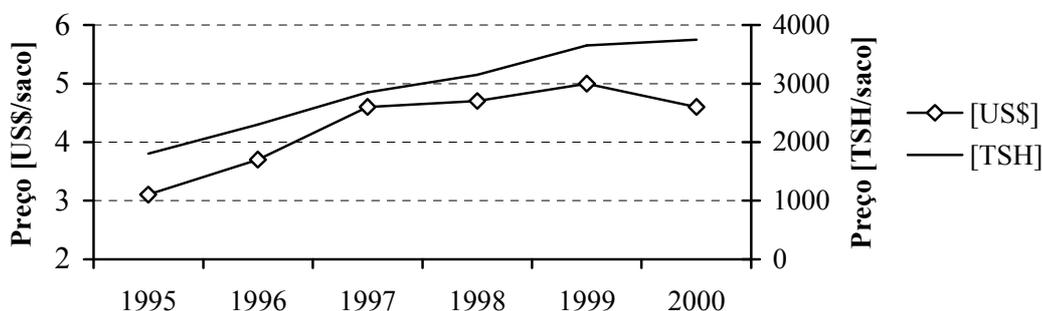
Tabela 22: Custos de energia para cocção em Dar es Salaam, em abril de 2002

Combustível	Unidade	Preço ao cons. [US\$/unidade]	Poder calorífico inferior		Valor calorífico MJ/unidade	Eficiência de fogão	Energia útil (MJ)	Custo de energia útil [US\$/MJ]
GLP	kg	1,30	47,31	GJ/ton	47,31	55%	26.021	0,050
Querosene (fogão a pavio)	litro	0,43	37,5	GJ/m ³	37,5	35%	13.125	0,033
Querosene (fogão pressurizado)	litro	0,43	37,5	GJ/m ³	37,5	50%	18.750	0,023
Eletricidade residencial	kWh	0,10	3,6	MJ/kWh	3,6	80%	2.880	0,035
Carvão vegetal (fogões tradicionais)	kg	0,12	20,1	GJ/ton	20,1	20%	4.020	0,031
Carvão vegetal (fogões eficientes)	kg	0,12	20,1	GJ/ton	20,1	35%	7.035	0,018
Lenha fontes nativas	kg	0,08	14,8	GJ/ton	14,8	17%	2.516	0,031

Fonte: TaTEDO (2002).

A evolução do preço corrente do carvão vegetal entre 1995 e 2000 mostra um aumento de TSH 1.000/saco a TSH 3.800/saco (Malimbwi, 2001). Quando os preços são convertidos em dólar americano (US\$), a tendência mostra a queda no preço. Em termos econômicos, esta tendência sugere que a oferta do carvão vegetal é maior do que sua demanda e o aumento do preço em moeda local é atribuído somente pela inflação. O preço médio do carvão vegetal neste intervalo é de US\$ 4/saco de 28 kg ou US\$ 0,14/kg, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24: Evolução de preço do carvão vegetal em Dar es Salaam, 1995-2000



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Malimbwi (2001).

3.4 Energia para cocção, poluição do ar e efeitos sobre a saúde

Como foi discutido na seção 2.4 deste trabalho, a produção e utilização de energia para cocção é uma das maiores causas de emissões de GEE. Sendo equipamentos simples, de pequeno porte e frequentemente fabricados sem maior precisão ou controle de qualidade, os fogões domésticos produzem quantidades elevadas de emissões (CEEST, 1997). Em um país como a Tanzânia, onde 80% da energia é consumida no setor residencial, o consumo de energia para cocção tem maior impacto na quantidade de emissões de GEE do país.

3.4.1 Emissões de GEE no consumo de energia para cocção

As estimativas de emissões de GEE do setor residencial da Tanzânia são apresentadas por CEEST (1997) na Tabela 23.

Tabela 23: Emissões de GEEs no setor residencial e comercial na Tanzânia, em 1990

Combustível	Consumo (PJ)	Emissões [GgC]				
		CO ₂	CH ₄	NO _x	N ₂ O	CO
Carvão vegetal	23,08	2167,16	1,10	2,35	0,07	82,75
Lenha	513,65	39.856,66	173,92	33,57	1,20	1014,53
Querosene e GLP	3,73	264,74	0,02	0,19	n.a	0,05

Fonte: CEEST (1997).

3.4.2 Emissões de GEEs na produção do carvão vegetal

A produção do carvão vegetal (CV), base de carbono produz, além do carvão, líquidos condensados (LC), cinza e os gases CO₂, CO, CH₄, compostos orgânicos não metânicos e substâncias particuladas em suspensão (TSP), como apresentado na Equação xi.

$$\text{Madeira} = CV + LC + \text{Cinza} + CO_2 + CO + CH_4 + CONM + TSP \quad \text{Equação xi}$$

O CEEST (2001) estima que a produção de carvão vegetal na Tanzânia, em 1990, era em torno de 741 mil toneladas, consumindo 7.7 milhões de toneladas de madeira. As estimativas de emissões de GEEs na Tanzânia pela produção do carvão vegetal, em 1990, era como apresentadas na Tabela 24, que inclui também as estimativas de emissões no Brasil e no Quênia em 1996 para comparação.

Tabela 24: Emissão de GEEs na produção de carvão vegetal na Tanzânia, Quênia e no Brasil

	Produção [Mt]	Emissões [Mt]					
		CO ₂	CO	CH ₄	CONMs	NO _x	N ₂ O
Tanzânia (1990)	0,74	10,3	0,26	0,240	-	0,008	0,0003
Quênia (1996)	2,20	3,1	0,49	0,097	0,20	0,00014	0,00032
Brasil (1996)	6,40	8,6	2,00	0,310	0,47	0,00016	0,00028

Fonte: CEEEST (2001), Pennise *et al.* (2004).

3.4.3 Poluição do ar e impactos sobre a saúde

Nenhuma informação foi encontrada sobre os impactos de utilização do carvão vegetal sobre a saúde na Tanzânia. Todavia, as ARIs estão entre as doenças que levam, com maior frequência, pacientes com menos de 5 anos aos ambulatórios, como apresentado na Tabela 25. Em Dar es Salaam, as ARIs ocupam o segundo lugar de todas as consultas médicas com 13%, perdendo só para a malária que lidera com 50% (Mtasiwa *et al.*, 2003).

Tabela 25: Número de pacientes ambulatoriais com doenças e infecções de vias respiratórias em Dar es Salaam entre crianças de menos de cinco anos

Infecções/doenças	1998	1999	2000
Infecções Respiratórias Agudas (ARIs)	2.306	8.530	6.401
Outras doenças de vias respiratórias	658	2.301	1.555
Total	80.862	214.023	175.120
Porcentagem ARI de todas as doenças	3%	4%	4%

Fonte: TSED (2004).

A contribuição de ARIs no número de mortes em Dar es Salaam, entre crianças de menos de 5 anos, é relativamente menor contribuindo entre 1% e 2% das mortes, conforme apresentado na Tabela 26.

Tabela 26: Número de mortes causadas pelas ARIs na Tanzânia entre crianças com menos de 5 anos.

Infecção/Doença	1998	1999	2000
Infecções Respiratórias Agudas (ARIs)	49	140	59
Outras doenças de vias respiratórias	28	46	27
Total	3.306	7.676	6.595
Porcentagem ARI de todas as mortes	1,5%	1,8%	1%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de TSED (2004).

3.5 Programas de fogões eficientes na Tanzânia

O fogão eficiente tanzaniano, *jiko bora*, foi desenvolvido adotando-se e modificando-se o fogão cerâmico do Quênia (KCJ). O *jiko bora* é também feito de metal e de material cerâmica que pode possibilitar a eficiência máxima de 44%. Os fogões eficientes a carvão vegetal são móveis, sem chaminé, têm grelha e controlador de ar. O diâmetro de fornalha é de 250 mm e altura do fogão é de 220 mm. Para facilitar o movimento do ar no fogão e a retirada de cinzas, furos de 15 a 22 mm são feitos na grelha. Há mais de 10 modelos dos fogões eficientes com preços variáveis entre US\$ 3,00 a US\$ 20,00 e alguns dos mais populares são apresentados na Figura 25.

Figura 25: Fogões a carvão vegetal na Tanzânia



Fogão tradicional de forma cilíndrica com todas as partes em metal



Fogão eficiente de forma de ampulheta⁵¹



Fogão eficiente de forma cilíndrica; fusão do fogão tradicional e KCJ.



Fogão eficiente de forma cônica com duas câmaras de isolante cerâmico

Fonte: REPP (2004)

Não há informações consistentes e mais atualizadas sobre a quantidade de fogões eficientes disseminados na Tanzânia. Karekezi (2003) estima que foram em torno de 54 mil fogões eficientes a carvão vegetal desde 1988. Mwandosya e Meena (1999) estimam que, em 1990, este número era em torno de 79 mil unidades, utilizados em apenas 4,9% de residências urbanas.

O desenvolvimento de fogões eficientes e a popularização das tecnologias limpas são subsidiados indiretamente através de financiamentos na fabricação de fogões eficientes e na produção de carvão vegetal. A primeira iniciativa de ampliar o uso dos fogões eficientes a carvão vegetal, no nível nacional, foi lançada em 1988, num projeto financiado pelo Banco Mundial (em

⁵¹ O corpo composto de dois vasos cônicos (chapa de aço) que se comunicam nos vértices por um orifício com diâmetro menor do que suas extremidades.

torno de US\$ 268.000) e realizado na cidade de Dar es Salaam pelo Ministério de Energia e Minas (MEM) da Tanzânia entre 1988 e 1990 (World Bank, 2003). O projeto adaptou o modelo de fogão cerâmico queniano. Em 1992, TaTEDO assumiu do MEM as atividades de disseminação dos fogões eficientes em treinamento de artesãos na fabricação de fogões, administração de empréstimos aos grupos de produtores e oferecimento de suporte técnico.

Entre 1997 e 1998, TaTEDO realizou outro projeto para avaliar a difusão dos fogões eficientes nas áreas urbanas do país. Este projeto originou-se do fato de que a produção dos fogões eficientes na cidade não cresceu satisfatoriamente, na medida em que foi previsto anteriormente: a demanda em 1995 era somente de 4.000 unidades em vez de 12.000 unidades por mês. O total de US\$ 25.724 foi investido neste projeto pelo UNDP-GEF.

De 1999 a 2003, TaTEDO realizou outro projeto sobre desenvolvimento de fontes de energia renovável e conservação do meio ambiente. O projeto, que valeu cerca de US\$ 200.000 e foi financiado pela Instituição Humanitária para a Cooperação com os Países em Desenvolvimento (HIVOS), Agência Norueguesa de Cooperação para o Desenvolvimento (NORAD) e União Européia, teve como objetivo melhorar a qualidade de vida da população, através do uso de energia limpa e sustentável para a maior parte da população. O projeto foi realizado em Dar es Salaam e em outras 4 regiões do interior. Ao mesmo tempo, a UNEP financiou um projeto de US\$ 125.000, através do programa AREED⁵², visando a apoiar o desenvolvimento de empreendimentos na área de energia renovável e eficiência energética (AREED). Das informações nos quatro parágrafos acima, o valor de subsídio é estimado por volta de US\$ 390 milhões.

⁵² AREED é um programa para o desenvolvimento de empresas de energia rural na África financiado pela Fundação Nações Unidas, originou-se de uma parceria do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e o E+CO, uma instituição de investimentos em energia. O AREED busca desenvolver novas empresas de energia sustentável, que usem tecnologias limpas, eficientes e/ou sustentáveis, para satisfazer às necessidades de energia de populações atualmente sub-atendidas por meios energéticos convencionais. Contudo, o objetivo do AREED é reduzir as conseqüências negativas sobre a saúde e o meio ambiente, derivadas da utilização dos padrões energéticos em vigor, estimulando, ao mesmo tempo, o crescimento local. Maiores informações no site: <http://www.ared.org/>.

3.6 Resumo do capítulo

A Tanzânia tem a renda *per capita* relativamente muito baixa e esta diretamente impede a adoção dos combustíveis comerciais, como o GLP e querosene, e a energia elétrica para cocção. O setor energético do país é altamente predominado por biomassa, a característica típica dos países subdesenvolvidos, sendo que o setor residencial é o maior consumidor. A produção do carvão vegetal é também praticada de maneira ineficiente e é uma das maiores causas de desmatamento. Todas as atividades de comercialização do carvão vegetal oferecem o meio de sobrevivência econômica no setor informal para milhares de pessoas. As políticas de preços e os mecanismos de fiscalização não garantem que o preço do carvão vegetal reflita seu custo econômico e social. Não há esforços adequados na coleta de taxas de utilização de madeira, *stumpage fee*, e de impostos na comercialização do carvão vegetal na cidade; dessa forma, os custos reais de desmatamento não são incluídos no preço final ao consumidor.

Na oferta de energia para cocção em Dar es Salaam, a utilização do carvão vegetal em fogões eficientes apresenta a opção mais barata para cocção do que a utilização do GLP ou querosene. O consumo de querosene é também comum na Tanzânia, pois 84% da população o utiliza para iluminação. O seu consumo, entretanto, é altamente impulsionado pelo baixo grau de atendimento de energia elétrica nas áreas rurais. Em Dar es Salaam, 43% de domicílios já usa o querosene em combinação com outros combustíveis para cocção. A utilização de biogás, mais apropriado nas áreas rurais, é limitada devido aos altos custos de instalação e operação.

Como em outros países maiores consumidores de biomassa, já houve programas de disseminação de fogões eficientes na Tanzânia. Porém, a sua efetividade e seus impactos não são conhecidos porque não existem informações consistentes sobre o número de fogões disseminados e os benefícios alcançados. Depois de 15 anos desde o primeiro programa de fogões eficientes começou na Tanzânia, em 2003 uma nova abordagem com a visão comercial foi lançada, juntando-se às iniciativas de disseminar fogões eficientes no país.

Capítulo 4:

Análise quantitativa de impactos de substituição de combustíveis tradicionais em Dar es Salaam, na Tanzânia

Como foi discutido nos capítulos anteriores, há várias intervenções para melhorar a oferta e qualidade de energia para cocção. Estas intervenções, necessárias para reduzir a demanda de energia para cocção, consumo de fontes de energia primária, poluição do ar e desflorestamento incluem a substituição de fogões e combustíveis tradicionais por fogões eficientes e combustíveis modernos. A implementação destas intervenções, porém, tem impactos que se estendem não somente a demanda dos energéticos e a redução da poluição, mas também a diminuição de emissão dos gases efeito estufa e a economia em termos de custos para introduzir e utilizar novas tecnologias e novos combustíveis. Neste capítulo, procura-se identificar as intervenções possíveis e os maiores impactos na sua realização na cidade de Dar es Salaam, na Tanzânia, entre 2005 e 2025.

4.1 Metodologia

A análise é feita para a cidade de Dar es Salaam, localizada no lado leste do país ocupando a área aproximada de 1.392 km². É a maior cidade do país, com a população de 2,5 milhões de habitantes constituindo 7% da população do país. A cidade consome aproximadamente metade do carvão vegetal (360 mil t/ano) produzido no país e sua população possui poder aquisitivo relativamente melhor do que a média do país. Considera-se que o sucesso na adaptação de novas tecnologias e combustíveis modernos em Dar es Salaam pode se propagar rapidamente para

outras cidades do país. Além disso, há mais informações documentadas sobre o consumo de energia e outras características socioeconômicas em Dar es Salaam do que no resto do país.

A primeira etapa da análise é identificar as intervenções possíveis para diminuir a demanda de energia para cocção e poluição do ar em ambientes fechados. A identificação baseia-se nas informações desenvolvidas nos Capítulos 2, 3 e 4 considerando sua relevância para a situação atual na cidade de Dar es Salaam. A Tabela 27 resume as principais opções para reduzir a poluição em ambientes fechados e emissão, de gases de efeito estufa na atmosfera. Na primeira coluna, estão as intervenções para a redução de emissões em ambientes fechados, através de melhoria de ventilação e uso de chaminé. As vantagens de melhorar a ventilação e utilização de chaminé são insuficientemente quantificadas e documentadas. Sendo assim, dificultam a avaliação de seus benefícios como intervenções para reduzir a poluição. A utilização de fogões eficientes, cujos impactos são amplamente documentados, é analisada como uma intervenção para diminuir a demanda de energia para cocção, a poluição e emissão de GEEs. Na segunda coluna, a manutenção do fogão depende do usuário, é uma intervenção necessária para o melhor funcionamento de qualquer tipo de fogão.

A terceira coluna apresenta vários combustíveis como substitutos possíveis para o carvão vegetal. Enquanto a instalação de biodigestores e a fabricação de briquetes para o consumo residencial não tiveram sucesso na Tanzânia, o emprego do carvão mineral e do gás natural é improvável em curto prazo. A utilização de energia elétrica é também improvável devido à limitação na capacidade de produção do país. É provável que o sistema elétrico do país não agüente o aumento da carga para cocção na cidade. A geração atual é de 2036 GWh/ano e atende a demanda de apenas 10% da população da Tanzânia (URT, 2003). Considerando a eficiência de fogões elétricos em torno de 75%, 2036 GWh pode oferecer energia para cocção para somente 5,5 milhões de pessoas (aproximadamente 1 milhão de famílias). O querosene já está no mercado e qualquer iniciativa de promover seu consumo através de subsídios pode enfrentar distorção de preços e desvio do seu consumo, como aconteceu na Índia. Há poucas empresas que importam e vendem o GLP na Tanzânia por iniciativas próprias, contudo a penetração do GLP no mercado é menos de 1%. Sendo o combustível mais limpo e vantajoso para diminuir a demanda energética e

a poluição, procura-se, neste trabalho, verificar os benefícios e impactos de maior desenvolvimento do mercado de GLP.

A quarta coluna apresenta as intervenções na oferta do carvão vegetal. A introdução de fornos eficientes na produção do carvão vegetal diminuirá mais rapidamente o consumo de madeira diminuindo, conseqüentemente, o desmatamento. Os programas de silvicultura precisam de longo prazo (pelo menos 7 anos) para a colheita de madeira. Isto significa que não terão resultados imediatos na diminuição de desmatamento, portanto, justifica a introdução de fornos eficientes como a medida que além de diminuir o consumo de madeira, também reduz a emissão de GEEs. A proibição da utilização do carvão vegetal, na quinta coluna, não teve sucesso no Senegal e, provavelmente, não terá também na Tanzânia. A produção e a comercialização do carvão vegetal empregam milhares de pessoas. A implementação de padrões de eficiência pode ser incorporada aos programas de fogões eficientes, como uma medida regulatória.

Tabela 27: Intervenções para reduzir desvantagens de utilização de combustíveis tradicionais.

Cozinha e fogões	Comportamento no uso	Troca de combustível	Gerenciamento ao lado de oferta	Regulamentação
1. Melhoria na ventilação	1. Manutenção de fogões	1. Briquetes ⁵³	1. Silvicultura sustentável	1. Proibir uso do carvão vegetal
2. Uso de chaminé e hood		2. Querosene	2. Melhoria na eficiência de produção do carvão vegetal	2. Estabelecer padrões de eficiência de fogões e fornos, padrões de qualidade de carvão vegetal.
3. Cozinha construída fora de casa		3. GLP		
4. Fogão eficiente		4. Biogás		
5. Fogão eficiente com chaminé		5. Energia elétrica		
		6. Carvão mineral		
		7. Gás natural		

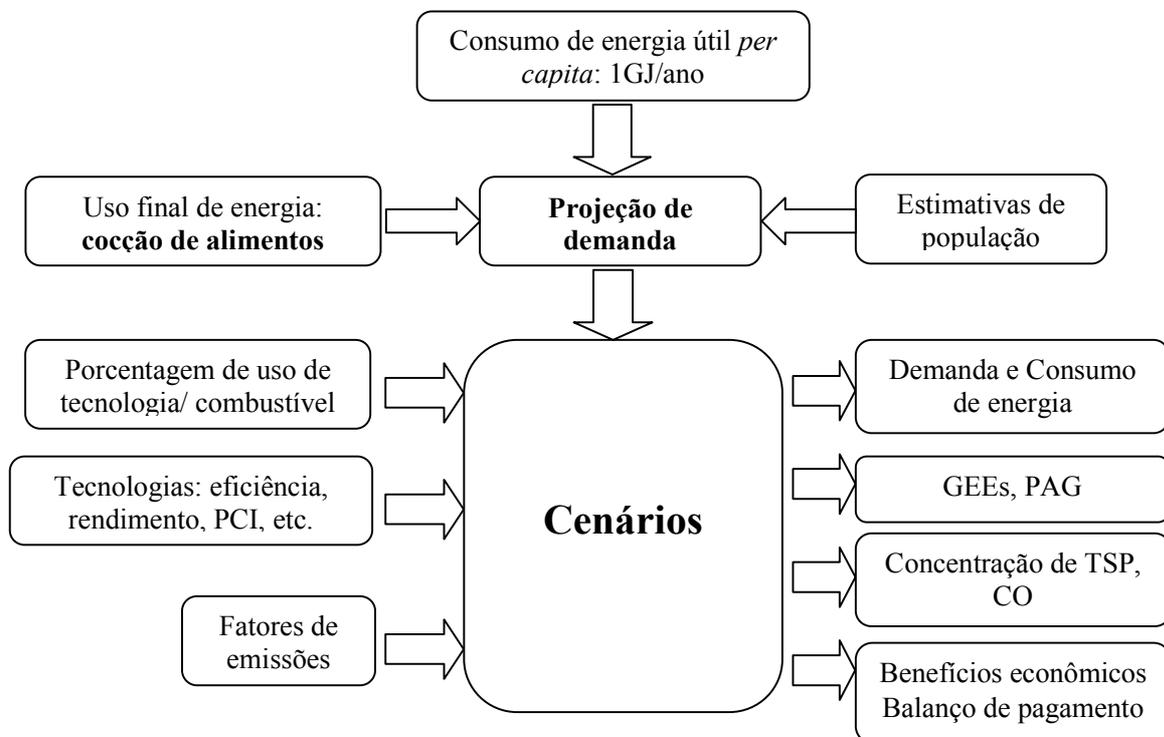
Fonte: Elaboração própria a partir da informação levantada nos Capítulos 2 e 3.

As intervenções que têm maiores vantagens na demanda energética e na poluição do ar na atmosfera e em ambientes fechados são: introdução de fogões e fornos eficientes e introdução do GLP. Estas intervenções serão analisadas em dois cenários contra o cenário de base. Os cenários não pretendem prever a demanda, apenas tem como objetivo demonstrar as possibilidades na matriz de energia para cocção e sua vantagens ou desvantagens.

⁵³ Briquetagem de finos do carvão vegetal, resíduos agrícolas, serragem e o carvão mineral.

Utilizando o valor constante do consumo de energia útil para cocção e as estimativas da população, foi possível projetar a demanda de energia do ano 2005 até 2025. O consumo de energia primária é calculado para cada um dos cenários, considerando aspectos tecnológicos (eficiência e poder calorífico de combustíveis) e variação de participação de cada um dos tipos de combustível no consumo residencial. Nesta etapa, também são calculadas emissões de gases poluentes ao meio ambiente e em ambientes fechados, utilizando fatores de emissões recomendados pelo IPCC, de 1996. O resumo desta análise é apresentado na Figura 26.

Figura 26: Estrutura de análise dos impactos de substituição combustíveis.



4.2 Ferramentas

4.2.1 Projeção de demanda

A demanda de energia para cocção é uma função de renda familiar, número de moradores numa residência e preços de combustíveis e fogões, todos representados na equação xii, aplicada separadamente para cada tipo de combustível (Fitzgerald *et al.*, 1990).

$$Q_{ij} = f(Y_i, N_i, P_{ij}, P_{ik}, A_{ij}, A_{ik})$$

Equação xii

em que,

- Q_{ij} consumo de energia j utilizada por residência i
- Y_i renda familiar de residência i
- N_i número de pessoas na residência i
- P_{ij} preço de combustível j disponível para a residência i
- P_{ik} preço de combustível concorrente k também disponível para a residência i
- A_{ij} preço de fogão pela utilização do combustível j
- A_{ik} preço de fogão pela utilização de combustível concorrente k

A estimativa de demanda de energia para cocção em Dar es Salaam é um exercício complexo devido à limitação de informação na literatura. Quanto maior a disponibilidade de informações confiáveis e mais eficazes as ferramentas empregadas no tratamento dos dados, maior a confiabilidade dos resultados obtidos.

Devido à falta de informações suficientes para quantificar todas as variáveis, a equação xii não será utilizada neste trabalho. Em substituição, será utilizada uma descrição matemática, empregando o uso de razões de eficiência energética dos combustíveis estudados. A razão de eficiência energética (REE), *Energy Efficiency Ratio (EER)*, é uma metodologia simples e extensivamente utilizada em análises técnicas de substituição de combustíveis.

A hipótese principal da metodologia é que o consumo de energia útil para cocção é constante sem restrição de classes de renda ou localidade. Portanto, o consumo de energia *per capita* é uma função de eficiência de fogões. A expressão matemática do modelo é a seguinte:

$$E_{\text{útil}} = Q_j \times \eta_j = Q_i \times \eta_i = k$$

Equação xiii

onde:

- $E_{\text{útil}}$ consumo de energia útil *per capita* para cocção, considerado constante igual a 1 GJ/ano.
- Q_j, η_j consumo e eficiência de fogão para o combustível j

Q_i, η_i consumo e eficiência de fogão para o combustível i

Os combustíveis considerados nesta análise são: carvão vegetal em fogões tradicionais e fogões eficientes, querosene e GLP.

Então, se o combustível i é substituído pelo combustível j , a demanda para o combustível j ⁵⁴ (Q_j) é igual a:

$$Q_j = \frac{\eta_i}{\eta_j} \times Q_i \quad \text{Equação xiv}$$

A demanda total de energia útil para cocção ($E_{\text{útil, total}}$) é calculada como o produto do consumo de energia útil *per capita* para cada combustível j e o número da população (P), conforme apresentado na equação xv.

$$E_{\text{útil, total}} = P \times E_{\text{útil}} = P \times \sum Q_j \times \eta_j \quad \text{Equação xv}$$

Então, o consumo total de energia para cocção, (Q_{total}), é calculado pela equação xvi:

$$Q_{\text{total}} = \sum \frac{P_j \times E_{\text{útil}}}{\eta_j} \quad \text{Equação xvi}$$

onde:

P_j é o número da população que utiliza o combustível j .

Segundo o censo demográfico de 2002, Dar es Salaam tem a população de 2.497.940 habitantes e 596.264 residências, equivalendo à média de 4,2 moradores por residência. A taxa anual de crescimento da população foi de 4,3%, entre 1988 e 2002. Nos anos anteriores, a população crescia numa taxa média de 7,8% por ano. A população de Dar es Salaam triplicou-se entre 1978 e 2002, como apresentada na Tabela 28.

⁵⁴ No caso de consumo do carvão vegetal, um fator de 1,2 é aplicado para compensar perdas do carvão como finos durante produção e manuseio.

Tabela 28: Evolução da população em Dar es Salaam, 1967-2002

Ano	1967	1978	1988	2002
População	356.286	843.090	1.360.850	2.497.940

Fonte: NBS (2004)

Neubauer (2002) sugere que a taxa de crescimento diminuiu após o ano 2005, como aconteceu em outras cidades semelhantes na África Subsaariana, de 4,3% para 3,5%, entre 2005 e 2010 e diminuirá para 2% após 2010. A população, então, é estimada pela equação xvii

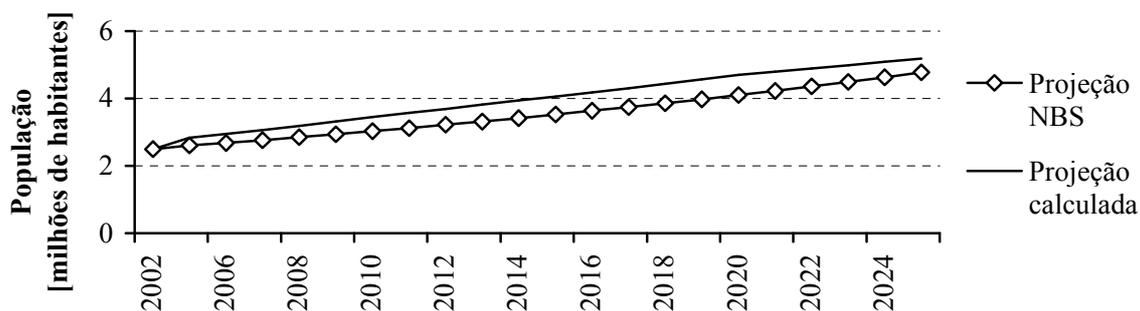
$$P = P_o (1 + \alpha)^t \quad \text{Equação xvii}$$

em que:

- P população de ano de referência (2002);
- α taxa anual de crescimento da população;
- t número do ano da projeção.

Utilizando a equação xvii e as taxas de crescimento da população por Neubauer (2002), a projeção da população é como se apresenta na Figura 27. Comparando-se com a projeção do Departamento de Estatísticas da Tanzânia (NBS), as projeções mostram o mesmo comportamento no crescimento. Os valores médios entre as duas projeções serão utilizados nas estimativas de demanda de energia.

Figura 27: Projeção da população, 2002-2025.



Fonte: Elaboração própria e estimativas a partir de dados do NBS (2004).

Utilizando a equação xv acima, a Tabela 29 apresenta a projeção de demanda da energia útil de 2005 até 2025, em intervalos de 5 anos.

Tabela 29: Projeção de demanda de energia útil para cocção

	2005	2010	2015	2020	2025
Demanda (GJ)	2.717.281	3.237.563	3.760.414	4.312.024	4.883.748

4.2.2 Estimativas de gases de efeito estufa

Nesta parte, procura-se apresentar estimativas de emissões de gases de efeito estufa pela utilização do carvão vegetal, GLP e Querosene. Para o caso do carvão vegetal, as emissões são avaliadas na produção e no consumo enquanto para o GLP e querosene e energia elétrica, são avaliadas as emissões a partir do uso final e não incluem as emissões nas fases de transformação e transporte. Os cálculos de emissões utilizam as projeções de demanda (utilizadas como consumo de energia final) e os coeficientes de emissão do IPCC. Os resultados obtidos são apenas indicativos já que os coeficientes podem não se revelar apropriados para a situação da Tanzânia. Além disto, a precisão destas estimativas depende das projeções de demanda energética na seção 4.2.1.

Emissão de carbono

A emissão de carbono (E_{carbono}) é função de consumo (Q) e de fator de emissão de uma combinação de fogão e combustível. As estimativas de emissões de carbono são calculadas pela equação xviii abaixo. A oxidação de GLP e de querosene ocorre em aproximadamente 100%, produzindo assim, relativamente menor quantidade de emissões de carbono.

$$E_{\text{carbono}} = Q \times E_{\text{fator}}$$

Equação xviii

em que

E_{carbono} conteúdo de carbono expresso em GgC;

Q consumo de energia em Terajoules TJ; e

E_{fator} fator de emissão de carbono expresso em tonelada de carbono por terajoule, tC/TJ equivalente a 22,7 para o carvão vegetal (IPCC, 1996).

Emissões de gás dióxido de carbono (CO₂)

As emissões de CO₂ são calculadas como a soma de emissões pelo consumo do carvão vegetal, querosene e GLP, pela equação xix.

$$E_{CO_2} = E_{CO_2, \text{carvão vegetal}} + E_{CO_2, \text{querosene}} + E_{CO_2, \text{GLP}} \quad \text{Equação xix}$$

O consumo de madeira na produção do carvão vegetal é insustentável, pois somente 1/3 da madeira utilizada na produção do carvão vegetal é recuperada por ano (Malimbwi, 2001). Desde modo, as emissões de CO₂, que contribuem para o inventário de GEEs serão consideradas como 2/3 de todas as emissões na produção e no consumo do carvão vegetal.

A emissão de CO₂ pela produção e pelo consumo do carvão vegetal é calculada pela equação xx abaixo.

$$E_{CO_2, \text{carvão vegetal}} = E_{\text{carbono}} \times E_r \times M \quad \text{Equação xx}$$

onde

E_r razão de emissão de CO₂ em relação ao carbono produzido (CO₂-C/C) conforme apresentado na Tabela 30; e

M razão de peso molecular para CO₂/C (44/12).

Emissões de metano, monóxido de carbono e óxido nitroso (CH₄ e CO e N₂O).

As emissões de CH₄, CO e N₂O pelo consumo do carvão vegetal também são funções da quantidade de carbono⁵⁵ produzido e são calculadas pela equação xxi abaixo.

$$E_{CH_4, CO} = E_{\text{carbono}} \times E_r \times M \quad \text{Equação xxi}$$

onde

E_r razão de emissão em relação ao carbono produzido (CH₄-C/C, CO-C/C) como apresentados na Tabela 30;

⁵⁵ Somente 87% do carvão vegetal passa por oxidação durante a queima; o resto sobra como carbono.

M razão de peso molecular para CH₄ (16/12) e CO (28/12).

Emissões de N₂O são calculadas pela equação xxii

$$E_{N_2O} = E_{\text{carbono}} \times N_r \times E_r \times M \quad \text{Equação xxii}$$

onde

N_r razões N/C para emissões de N₂O (N/C).

E_r razão de emissão em relação ao carbono produzido na base nitrogênio (N₂O-N/N), como apresentado na Tabela 30.

M razão de peso molecular para N₂O (44/28),

Tabela 30: Coeficientes e fatores de emissões de gases de efeito estufa

	N/C	CO ₂	CH ₄ -C/C	CO-C/C	NO _x -N/N	N ₂ O-N/N
Carvão vegetal	0,010	1,000	0,0014	0,06	0,121	0,007
Produção do carvão vegetal	0,010	1,000	0,0630	0,04	0,094	0,007

Fonte: IPCC, 1996

As emissões de CO₂, CH₄, N₂O e CO pelo consumo de GLP e querosene são funções de consumo e fatores de emissões, calculadas pela equação xxiii.

$$E_{CO_2, CH_4, N_2O, CO} = Q \times E_r \quad \text{Equação xxiii}$$

em que

Q consumo do GLP ou querosene [PJ];

E_r fatores de emissão de CO₂, CH₄, N₂O e CO apresentados Tabela 31.

Tabela 31: Fatores de emissão de gases de efeito estufa do querosene e GLP

	Fator [Gg/PJ]				
	CO ₂	CH ₄	NO _x	N ₂ O	CO
Querosene	71,50	0,0050	0,051	n.a	0,013
GLP	63,01	0,0011	0,047	n.a	0,010

Fonte: IPCC (1996)

A emissão total dos gases de efeito estufa, GEE, é a soma de todas as emissões de CO, CO₂, CH₄ e N₂O pelo consumo de carvão vegetal, GLP e querosene, calculadas pela equação xxiv.

$$GEE = \sum_{i=1}^n GEE_{i,j} \quad \text{Equação xxiv}$$

em que

GEE_{*ij*} emissão do gás de efeito estufa *i* pelo combustível *j*.

4.2.3 Concentração de gás monóxido de carbono e substâncias particuladas

As emissões de CO e das substâncias particuladas (PM₁₀) são estimadas pela utilização dos fatores de emissões de TSP apresentados por Smith (2000), na Tabela 13. Estas estimativas são somente indicadoras simples e não necessariamente corretas já que provavelmente há diferenças entre os fatores de emissões apresentado por Smith (2000) e os fatores reais dos fogões utilizados na Tanzânia. Além disto, os cálculos das concentrações e doses do CO e TSP são mais complexos como foi apresentado na seção 2.4.2.

A emissão de CO pela utilização de *n* combustíveis é estimada pela equação xxv abaixo, utilizando os fatores de emissões de CO apresentados por Smith (2000), na Tabela 14.

$$E_{CO} = \sum_{i=1}^n Q_i \times E_i \quad \text{Equação xxv}$$

em que:

Q_{*i*} consumo anual de combustível *i* [kg]

E_{*i*} fator de emissão de dose de CO do combustível *i* [g-CO/kg].

A dose anual de CO por pessoa é expressa pela equação xxvi abaixo.

$$\text{Concentração}_{CO} = \frac{E_{CO}}{365 \times P \times V} \quad \text{Equação xxvi}$$

Semelhantemente, o total de emissões de PM₁₀ por ano é calculado pela equação xxvii abaixo. Esta estimativa considera que todas as substâncias particuladas em suspensão (TSP) sejam PM₁₀, que prejudica à saúde.

$$E_{PM10} = \sum_{n=1}^n Q_i \times E_i \quad \text{Equação xxvii}$$

onde:

Q_i consumo anual de combustível *i* [kg]

E_i fator de emissão de dose de PM₁₀ do combustível *i* [g-PM₁₀/kg].

A concentração de PM₁₀ por pessoa por ano são calculadas pela equação xxviii abaixo.

$$\text{Concentração}_{PM10} = \frac{E_{PM10}}{365 \times P \times V} \quad \text{Equação xxviii}$$

onde:

P a população exposta às emissões de PM₁₀, considerada em torno de metade da população e o tempo de exposição de 8 horas por dia.

V volume médio de ar respirado por pessoa em m³, aproximadamente 15,5 m³/dia (Fischer, 2001).

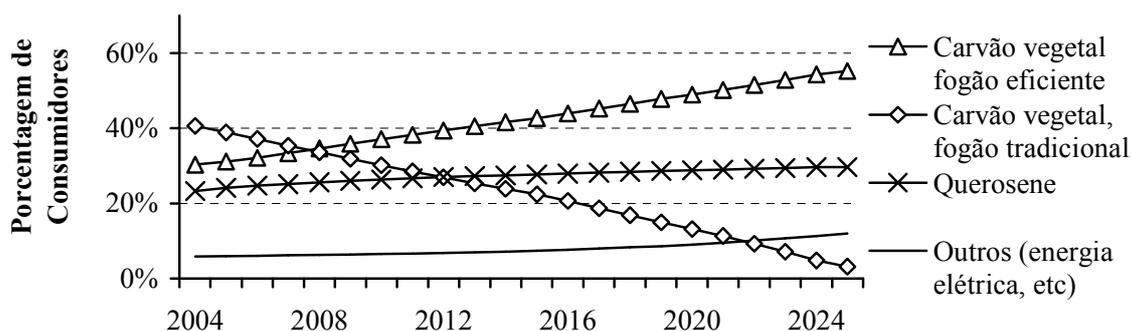
4.3 Descrição de Cenários da análise

Os cenários de análise são construídos baseados nas estimativas e projeções das porcentagens de consumo do carvão vegetal, querosene, GLP e energia elétrica, apresentadas por Malimbwi (2001), Neubauer (2002), e Mwandosya e Meena (1999). Três cenários foram desenvolvidos como alternativas de oferecimento de energia para cocção em Dar es Salaam do ano 2005 até 2025.

4.3.1. Cenário I: Cenário de base

Este é o cenário *business as usual* (BAU) que considera a mudança na composição da matriz energética do setor residencial seguindo a situação atual. Há mínima possibilidade para acontecerem maiores intervenções na oferta de energia para cocção. A penetração dos fogões eficientes em 2005 é estimada em torno de 30% com a taxa de aumento de 7% por ano. A penetração de fogões eficientes atinge o valor máximo de 55%, em 2025. Cerca de 3% de residências continuará a utilizar o carvão vegetal em fogões tradicionais como apresentado na Figura 28. A porcentagem das residências que utiliza o querosene aumenta de 23% para 29% e a porcentagem de utilização dos outros combustíveis (a energia elétrica e GLP) passa de 6% para 12%.

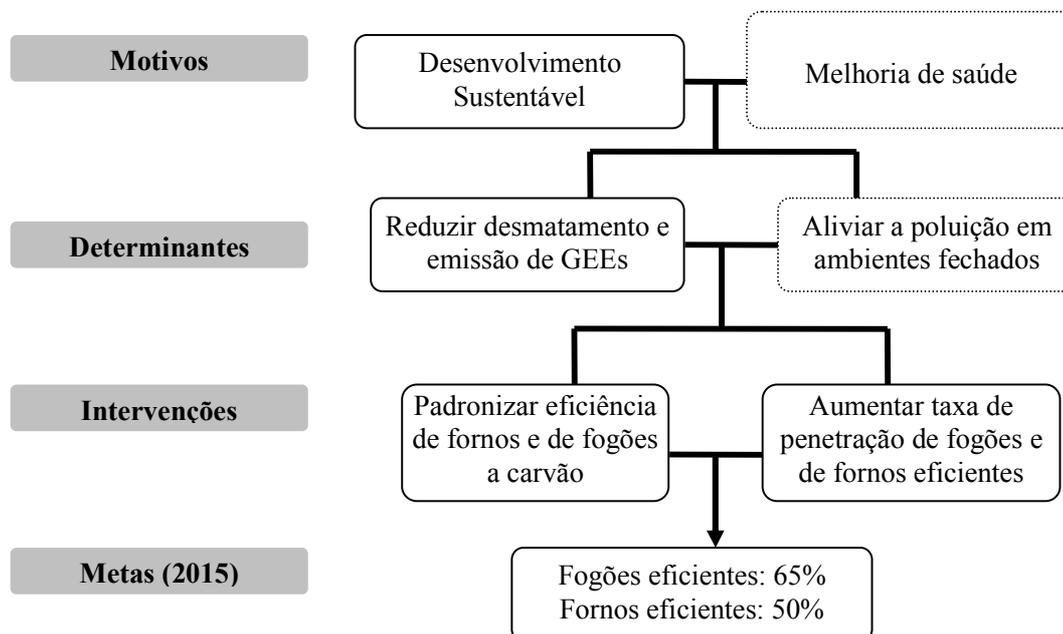
Figura 28: Projeção da utilização de diferentes combustíveis em Dar es Salaam no Cenário I



4.3.2 Cenário II: Melhoria de eficiência na produção e no consumo do carvão vegetal.

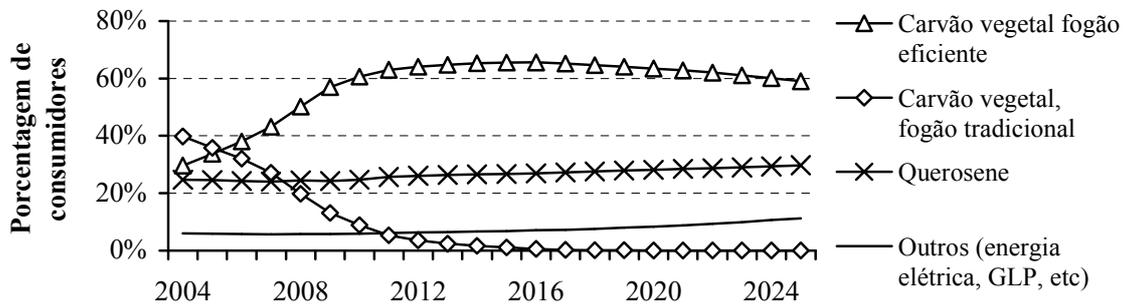
O Cenário II é uma intervenção que visa a diminuir a demanda de energia para cocção, emissões de gases de efeito estufa e desmatamento, através da utilização de fogões e fornos eficientes a carvão vegetal. A redução no consumo do carvão vegetal também pode aliviar a poluição do ar em ambientes fechados, e assim melhorar a saúde dos usuários. O resumo do Cenário II é apresentado na Figura 29.

Figura 29: Esquema de hipóteses do Cenário II



O Cenário II considera uma possibilidade de aumentar a eficiência no consumo e na produção do carvão vegetal nos primeiros 10 anos do período em consideração. A percentagem de penetração dos fogões eficientes é elevada para 20% nos primeiros 5 anos e depois é mantida numa taxa média de 10% até o ano 2015. Após 2015, a percentagem de penetração diminui para 60%, em 2025, devido ao aumento na penetração dos fogões a querosene, energia elétrica e a GLP, conforme apresentado na Figura 30. A percentagem de utilização dos fornos eficientes (não apresentada na Figura 30) aumenta de 1% para 50%, em 2015.

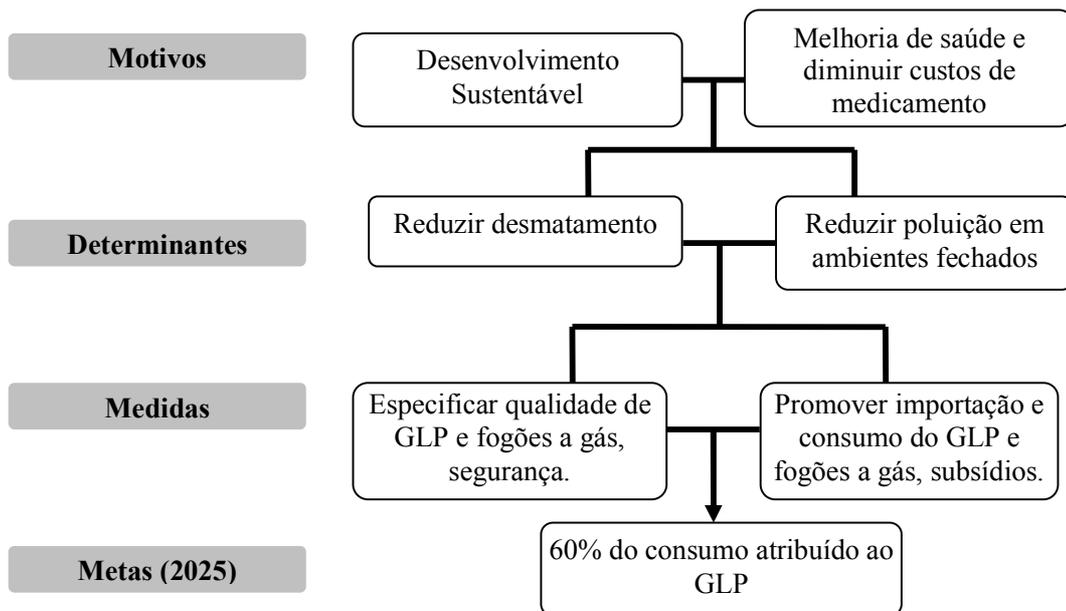
Figura 30: Projeção da utilização de diferentes combustíveis em Dar es Salaam no Cenário II



4.3.3 Cenário III: Substituição do carvão vegetal por GLP

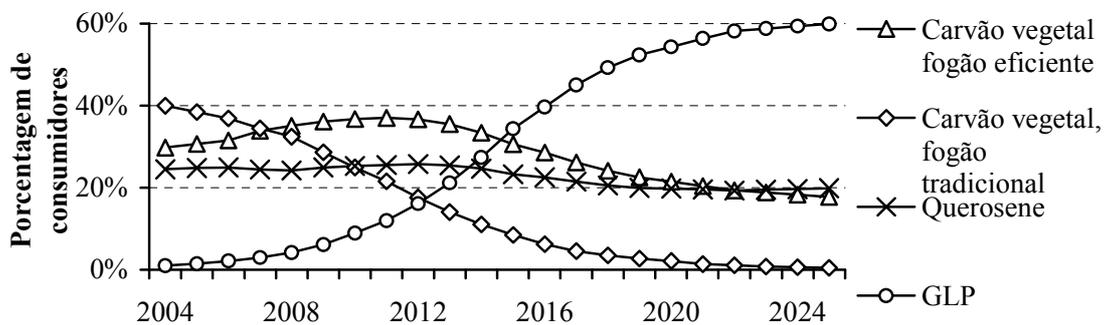
O objetivo do Cenário III é diminuir a poluição do ar em ambientes fechados, através da substituição do carvão vegetal por GLP. Além disso, essa substituição diminuirá o consumo de madeiras e, conseqüentemente, diminuirá o desmatamento. É considerado, neste cenário, que o consumo do GLP aumentará nos próximos 20 anos até atingir a penetração de 60%, no ano 2025. Esta intervenção inclui também a introdução de fornos eficientes na produção do carvão vegetal durante os primeiros 10 anos, referidos como período de transição à maior utilização do GLP. O resumo do Cenário III é apresentado na Figura 31.

Figura 31: Esquema de hipóteses do Cenário III.



A penetração do GLP é lenta no começo e aumenta rapidamente após 2011. A taxa de crescimento de penetração é de 50% nos primeiros cinco anos e depois diminui para 40% até 2015 e, após 2015 a taxa média de crescimento diminui para 15% por ano. Esta projeção foi desenvolvida considerando o perfil de introdução do GLP no Senegal, apresentado na seção 3.2.1, que tem características socioeconômicas semelhantes às da Tanzânia. As porcentagens de utilização do carvão e querosene aumentam até valores máximos em 2010 e, após 2010, diminuem para 20% cada uma em 2025, conforme apresentado na Figura 32.

Figura 32: Projeção da utilização de diferentes combustíveis em Dar es Salaam no Cenário III



4.4 Resultados

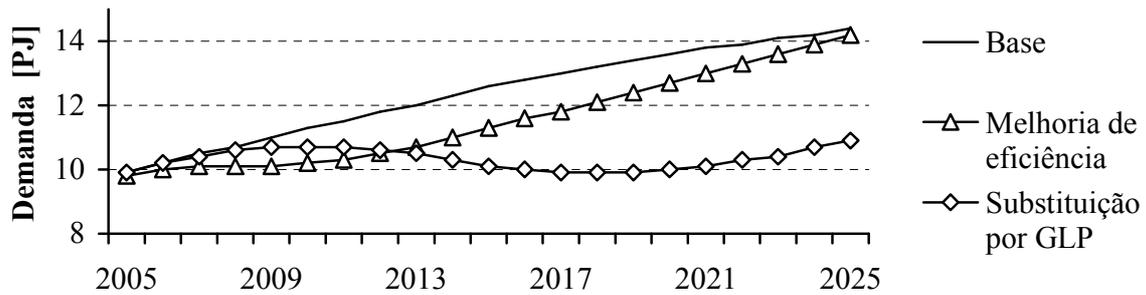
Esta parte apresenta resultados das estimativas de demanda de energia para cocção, consumo de fontes de energia primária, emissões de gases de efeito estufa e poluição do ar em ambientes fechados. As estimativas em cada um dos três cenários foram calculadas utilizando um modelo de análise em Microsoft Excel desenvolvido a partir das ferramentas apresentadas na seção 5.2.

4.4.1 Demanda de energia para cocção

Como visto na Figura 33, no Cenário I, a demanda de energia para cocção aumenta progressivamente de 10 PJ para 14 PJ, em 2025. Nos Cenários I e II, a demanda é igual em 2025, porém, no Cenário II, ela aumenta com taxas relativamente menores nos primeiros anos. Sendo o consumo total cumulativo, em 2025, a área sob a curva no Cenário II é menor em relação ao Cenário I. A substituição do carvão vegetal por GLP no Cenário III, mostra-se como uma intervenção mais efetiva na conservação de energia. Neste cenário, a demanda aumenta nos

primeiros cinco anos e depois cai, quando a adaptação do GLP começa a crescer em maiores volumes, porém, volta a crescer após 2020 de acordo com o crescimento da população até atingir o valor máximo de 11 TJ, em 2025.

Figura 33: Projeção de demanda de energia para cocção em Dar es Salaam



4.4.2 O consumo de energia primária

Eficiência no consumo do carvão vegetal

A eficiência de consumo do carvão vegetal é calculada pela equação xxix

$$\eta_{consumo} = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{final}}} \times 100\% \quad \text{Equação xxix}$$

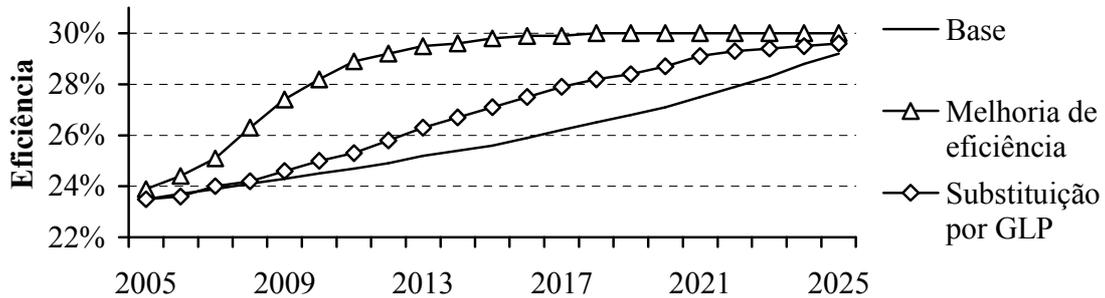
em que

$E_{\text{útil}}$ o consumo de energia útil proveniente do carvão vegetal;

E_{final} o consumo do carvão vegetal pela utilização dos fogões eficientes e dos tradicionais, em proporções α e β .

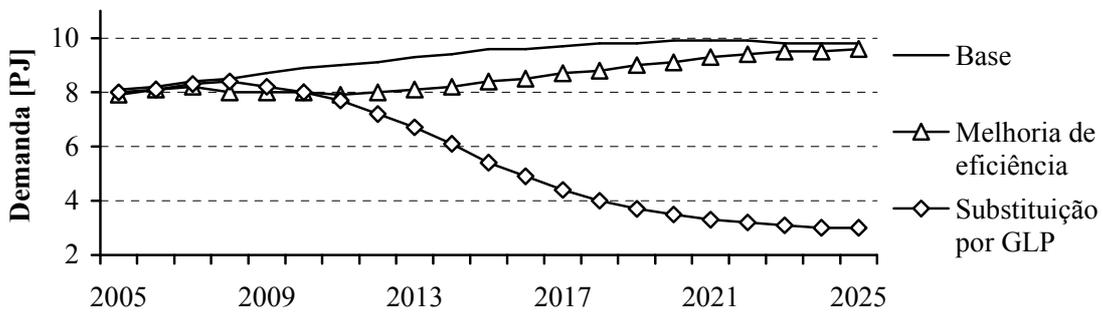
No Cenário I, a eficiência global aumenta linearmente até o valor máximo de 29,5%, em 2025, enquanto, no Cenário II a eficiência aumenta logaritmicamente nos primeiros 10 anos, atinge o valor máximo de 30% em 2017 e se mantém constante até 2025. No Cenário III, a eficiência aumenta de 23,8% para aproximadamente 29% em 2025, como apresentado na Figura 34.

Figura 34: Projeção de eficiência no consumo do carvão vegetal, 2005-2025.



A demanda de carvão vegetal, no Cenário I, aumenta progressivamente até o valor máximo de 10 TJ/ano, em 2021. No Cenário II, a taxa de aumento da demanda diminui nos primeiros anos; após 2012 a demanda começa a aumentar numa taxa constante até atingir o valor máximo de 9 TJ/ano em 2025 conforme apresentado na Figura 35. Com a substituição do carvão vegetal por GLP no Cenário III, a demanda de carvão vegetal diminui até 3 TJ/ano, em 2025.

Figura 35: Projeção de demanda do carvão vegetal em Dar es Salaam



Eficiência global na produção e consumo do carvão vegetal

A eficiência global na produção do carvão vegetal pela utilização de fornos tradicionais e os eficientes é calculada pela equação xxx.

$$\eta_{produção} = \frac{\alpha \times \eta_{eficientes} + \beta \times \eta_{tradicionais}}{\alpha + \beta} \times 100\% \tag{Equação xxx}$$

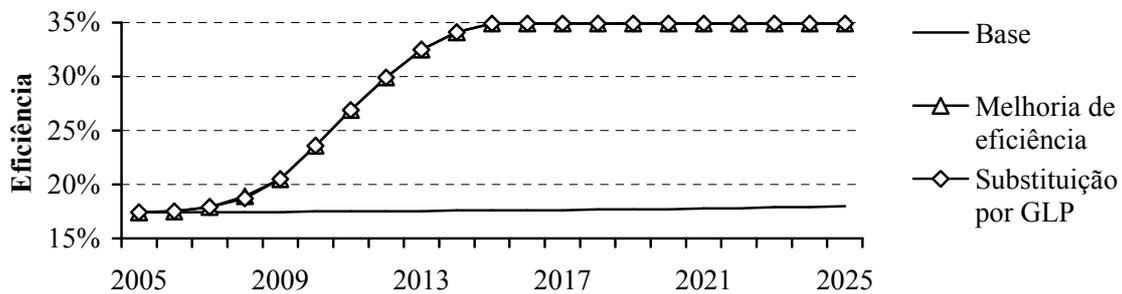
em que,

$\eta_{eficiente}$, $\eta_{tradicional}$ eficiências de fornos eficientes e tradicionais respectivamente;

α, β proporções de utilização dos fornos eficientes e tradicionais respectivamente.

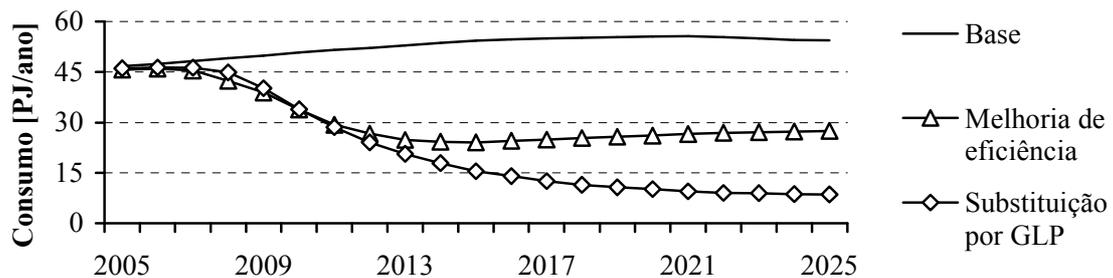
No Cenário I, o valor máximo de eficiência é de 18%, em 2025. Nos Cenários II e III a utilização dos fornos eficientes aumenta para 50% em 10, anos atingindo a eficiência de 35%, considerada máxima no processo de carvoejamento.

Figura 36: Evolução de eficiência na produção do carvão vegetal, 2005-2025



No Cenário I, o consumo de madeira na produção do carvão vegetal aumenta de 46 PJ/ano para o valor máximo de 58 PJ/ano, em 2020 e depois cai para 54 PJ/ano, em 2025. Com a introdução de fornos eficientes no Cenário II, o consumo de madeira cai para 27 PJ/ano em 2025. No Cenário III, o consumo de madeira cai para 7 PJ/ano, conforme apresentado na Figura 37.

Figura 37: Projeção do consumo de madeira na produção de carvão vegetal.



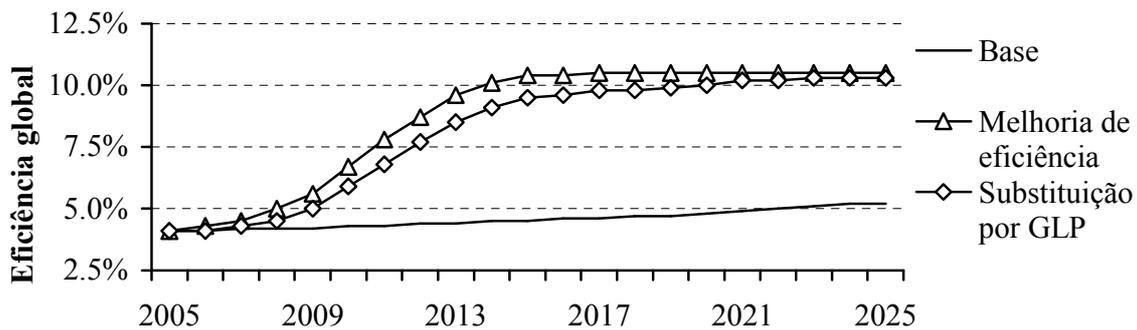
Eficiência global (η_{global}) é o produto da eficiência de produção e da eficiência de consumo do carvão vegetal, ou, eficiência de conversão de madeira para o carvão vegetal e, finalmente, em energia útil como apresentada na equação xxxi.

$$\eta_{global} = \frac{E_{\text{útil para cocção}}}{E_{\text{primária de madeira}}} \times 100 \%$$

Equação xxxi

O valor máximo da eficiência na conversão de madeira em energia útil é de apenas 6% no Cenário I, enquanto que nos Cenário II e III fica em torno de 10%.

Figura 38: Eficiência global na conversão de madeira em energia útil.

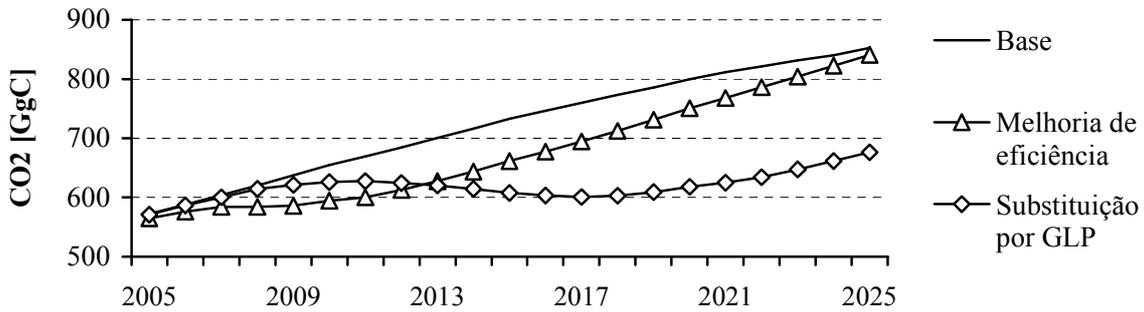


4.4.3 Emissão de gases de efeito estufa

Emissões do gás monóxido de carbono (CO_2)

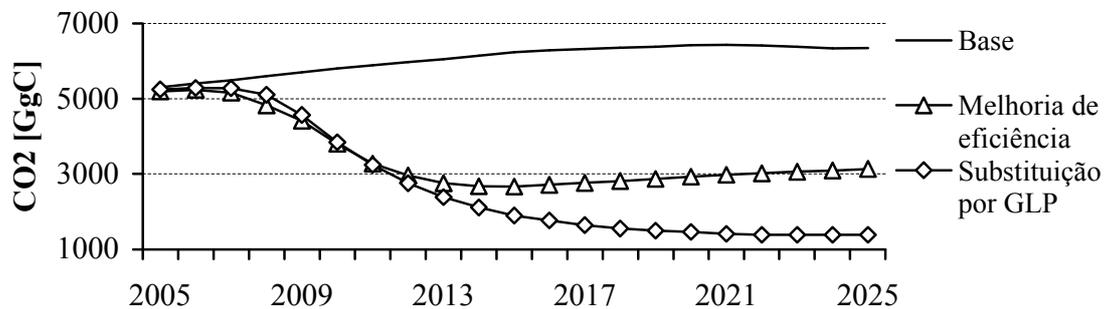
O CO_2 , sendo o mais importante entre os gases de efeito estufa, suas emissões são calculadas como o total das emissões no consumo do carvão vegetal, querosene e GLP e na produção do carvão vegetal. Considerando somente o consumo dos energéticos, ($E_{CO_2} = E_{CO_2, \text{carvão vegetal}} + E_{CO_2, \text{GLP}} + E_{CO_2, \text{querosene}}$), as emissões do CO_2 são maiores nos Cenários I e II, atingindo o valor de 800 GgC/ano (0,8 Mt/ano), em 2025. A quantidade cumulativa (a área abaixo da curva) das emissões no Cenário II, porém, é menor do que no Cenário I. A substituição do carvão vegetal por GLP diminui as emissões para menos de 700 GgC/ano (0,7 Mt/ano) conforme apresentado na Figura 39.

Figura 39: Emissões de CO₂ no consumo dos energéticos para cocção



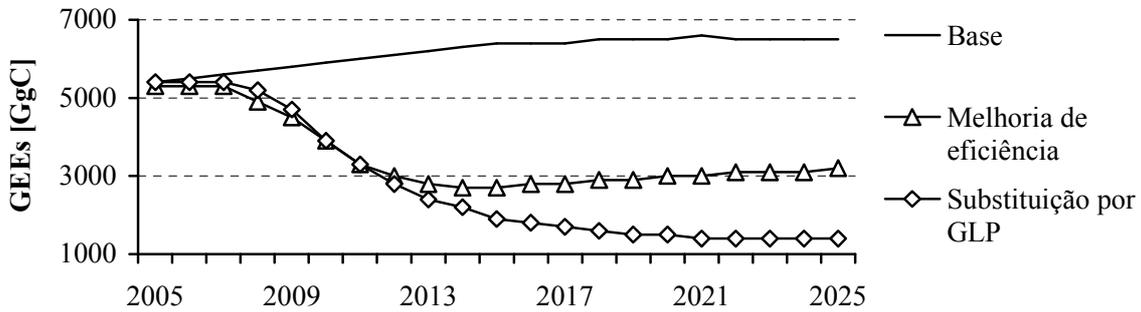
Considerando as emissões de CO₂ no consumo do carvão vegetal, querosene e GLP e na produção do carvão ($E_{CO_2} = E_{CO_2,carvão\ vegetal} + E_{CO_2,GLP} + E_{CO_2,querosene} + E_{CO_2,produção\ do\ carvão\ vegetal}$), a substituição dos fogões tradicionais, no Cenário II, diminui as emissões para metade das projeções no Cenário I e elas são menos de 1500 GgC/ano (1,5 Mt/ano), no Cenário III, como apresentado na Figura 40.

Figura 40: Emissões de CO₂ no consumo de energia para cocção e na produção do carvão vegetal



As emissões de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) são calculadas, incluindo as da produção do carvão vegetal. Estas emissões, predominadas por CO₂, são maiores no Cenário I enquanto no Cenário II, diminuem para somente 3000 GgC/ano, no Cenário II, e para 1500 GgC/ano, no Cenário III, em 2025, conforme apresentado na Figura 41.

Figura 41: Projeção de emissões de gases de efeito estufa.

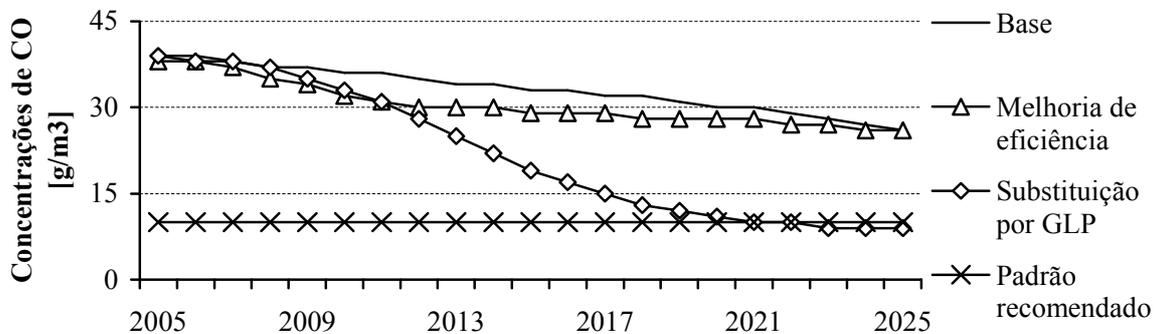


4.4.4 Concentrações de gás monóxido de carbono e substâncias particuladas.

Gás monóxido de carbono

Nos Cenário I e II, as concentrações de CO *per capita* diminuem lentamente de 40 g/m³ para 25 g/m³ em 2025. Substituindo o carvão por GLP no Cenário III, os níveis de concentração emissões caem progressivamente para menos de 10 g/m³ após do ano 2023. Esta estimativa, entretanto, não inclui emissão de CO na produção do carvão vegetal e foi considerado que metade da população da cidade é constantemente exposta à poluição durante 8 horas por dia.

Figura 42: Concentração *per capita* de CO

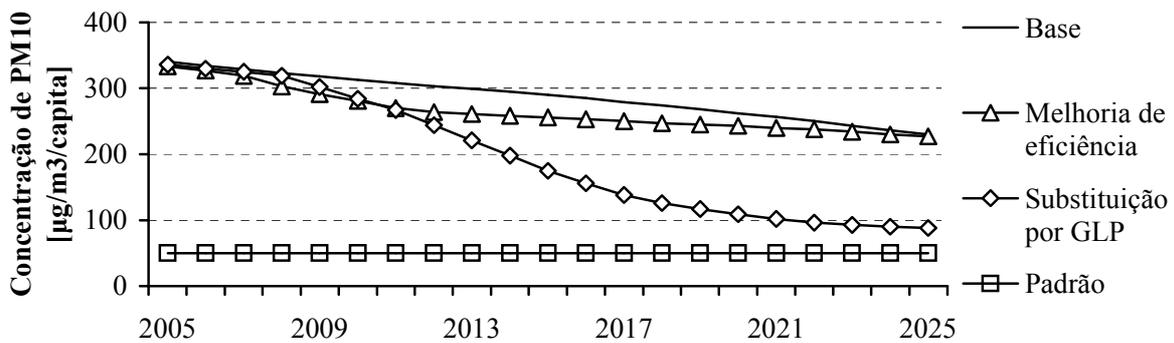


Substâncias particuladas em suspensão (TSP).

As concentrações de TSP *per capita* são maiores nos Cenários I e II diminuindo de 340 µg/m³ para 230 µg/m³ em 2025. Pela introdução do GLP no Cenário III as concentrações *per capita* diminuem constantemente para menos de 100 µg/m³ em 2025. Todas as substâncias particuladas em suspensão (TSP) foram consideradas como de menos de 10 micrometros (PM₁₀),

capazes de causar efeitos adversos à saúde. A WHO recomenda que na falta de medidores de $PM_{2.5}$ ou PM_{10} , devem ser utilizados medidores de TSP (WHO, 1999).

Figura 43: Concentração *per capita* de TSP



4.5 Discussões

Esta parte apresenta a discussão sobre os resultados da análise obtidos na seção 4.4. Ela apresenta uma discussão sobre os custos do GLP e quais seriam os investimentos necessários para promover a sua utilização. No lado de demanda, procura-se analisar os custos do GLP no orçamento familiar e apresenta uma breve comparação de preços com carvão vegetal e querosene. São discutidos também, emissões de gases de efeito estufa e concentrações de gás monóxido de carbono e substâncias particuladas em suspensão.

4.5.1 Economia na utilização de fogões eficientes e substituição do carvão vegetal

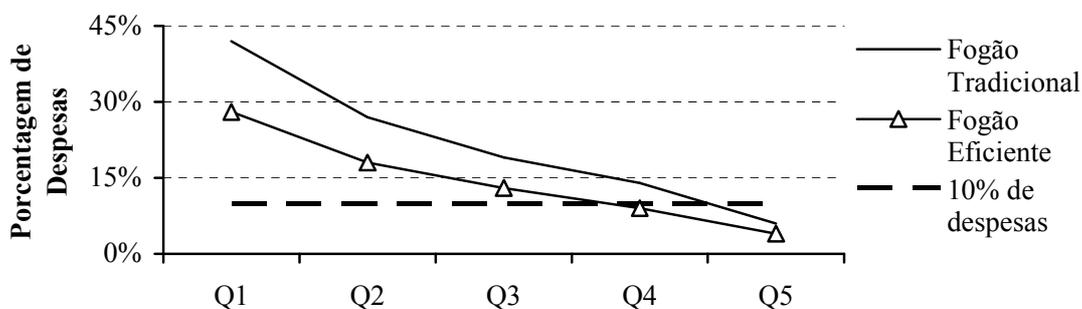
A economia em custos de energia é o fator importante na escolha de combustível. Esta parte analisa a poupança pela utilização dos fogões eficientes e os custos adicionais de utilizar o GLP (com isenção de impostos) em vez de carvão vegetal em fogões tradicionais. Não obstante, a análise não considera todos os fatores apresentados na seção 2.5.2 que determinam a escolha de um combustível para cocção. A poupança no consumo de um combustível corresponde à economia em termos de despesas a mesma. Porém, a substituição de tecnologias e combustíveis para cocção pode aumentar os custos e as despesas para a energia.

Substituição dos fogões tradicionais a carvão vegetal pelos mais eficientes

Considerando uma família de cinco pessoas, que utiliza somente o carvão vegetal em torno de 840 kg/ano (168 kg/ano *per capita*), a utilização de um fogão eficiente pode diminuir o consumo para 560 kg por ano. Na hipótese de que o preço do carvão vegetal é de US\$ 0,12/kg, a utilização de um fogão eficiente pode resultar numa economia de US\$ 36,00/ano. Este significa um período de *payback* de menos de 2 meses para o fogão eficiente tanzaniano, que custa entre US\$ 3,5 e US\$ 4,5, e sem custos operacionais.

Utilizando informações de despesas *per capita* na Tabela 18 e o consumo da energia útil *per capita* de 1 GJ/ano, observa-se, na Figura 44, que a porcentagem de despesas com o carvão vegetal, utilizando-se os fogões eficientes, diminui significativamente nos quartis Q1 (42% a 28%), Q2 (27% a 18%) e Q3 (19% a 13%) da população, em Dar es Salaam. Para os quartis Q4 e Q5, as porcentagens de despesas para o carvão vegetal são menos de 10%, quando utilizados os fogões eficientes. Para os consumidores no quartil Q5, não haverá maior diferença na proporção de despesas com o carvão vegetal ou na utilização dos fogões eficientes ou dos tradicionais.

Figura 44: Porcentagem de despesas para o carvão vegetal por quartis.



Substituição do carvão vegetal por GLP

Substituindo o carvão vegetal por GLP na cocção envolve a compra de um fogão a gás e, periodicamente, a compra do GLP e custos de manutenção do fogão. Considerando uma família de cinco pessoas, e o consumo de 5 GJ/ano de energia útil, a utilização do GLP para cocção

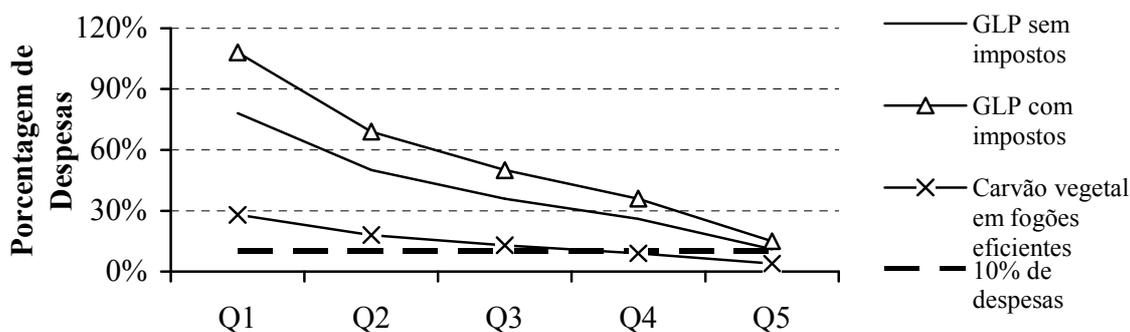
aumenta as nas despesas⁵⁶ com energia para US\$ 158,5/ano e US\$ 218/ano para os preços do GLP com isenção de impostos e sem isenção. Mesmo com isenção de impostos, o preço da energia útil pelo consumo do GLP ainda é maior do que o preço de utilizar o carvão vegetal conforme apresentado na Tabela 32.

Tabela 32: Comparação de custos de energia para cocção entre o carvão vegetal e GLP

Combustível	Preço ao consumidor [US\$/kg]	Custo de energia útil [US\$/MJ]
GLP (sem impostos)	0,86	0,040
GLP (com impostos)	0,12	0,030
Carvão vegetal (fogões tradicionais)	0,086	0,020
Carvão vegetal (fogões eficientes)	0,086	0,010

Observe-se, na Figura 45, que a porcentagem de despesas familiar para o GLP será maior do que a despesa mensal da população no quartil Q1 da população apresentado na seção 4.1. Mesmo com a isenção de impostos, a porcentagem de despesas é cerca de 70% das despesas familiar considera maior do que o valor aceitável em torno de 5 a 10%. A porcentagem de despesas para o GLP é se aproxima o valor de 10% somente para a população no quartil Q5.

Figura 45: Porcentagem de despesas para o GLP por quartis



4.5.2 Emissões de gases de efeito estufa

A substituição do carvão vegetal por GLP é a solução mais efetiva, em curto prazo, para

⁵⁶ A vida útil de um fogão a gás, que custa US\$ 70, foi considerada em torno de 10 anos. As despesas são custos atuais do GLP e do fogão a gás e são distribuídas igualmente nos primeiros 10 anos de análise.

diminuir a maior parte dos gases de efeito estufa proveniente da utilização do carvão vegetal. A utilização dos fogões e fornos eficientes é mais efetiva no longo e médio prazo. Contudo, a utilização do carvão vegetal em Dar es Salaam emite relativamente menor quantidade dos gases de efeito estufa se comparado com outros países, como apresentado na Tabela 33. Assim sendo, a utilização do carvão em Dar es Salaam não se apresenta como um alvo potencial nos planos estratégicos para diminuir as emissões dos gases na escala mundial. Todavia, como a situação no Quênia, onde a produção do carvão produz metade das emissões provenientes do consumo de combustíveis fósseis, as emissões pela produção do carvão vegetal na Tanzânia podem ser significantes no nível nacional.

Tabela 33: Emissões de gases de efeitos estufa no nível mundial pela produção do carvão vegetal na Tanzânia

	Produção/ consumo [Mt]	Emissões [Mt]		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Produção do carvão vegetal				
Tanzânia (1990)	0,74	10,3	0,240	0,0003
Dar es Salaam (estimativas em 2005)	0,26	5,3	0,110	0,00024
Quênia (1996)	2,20	3,1	0,097	0,00032
Brasil (1996)	6,40	8,6	0,310	0,00028
Consumo de combustíveis fósseis				
Quênia (1995)		6,7	-	-
Brasil (1996)		249,0	-	-
Estados Unidos (1996)		5490,0	10,09	0,26900

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de CEEST (1997), Pennise *et al.* (2004).

4.5.3 Concentrações de CO e PM₁₀

Este estudo limita-se a quantificação das emissões de CO e PM₁₀, para estima os benefícios que podem ser realizado através uma das intervenções, discutidas neste trabalho. As concentrações de CO e PM₁₀ são convertidas em efeitos sobre a saúde através de funções epidemiológicas, *epidemiological concentrations response functions*, ECRF (Fischer, 2001). Estas funções são utilizadas para quantificar os efeitos em termos de doenças e infecções, tais como mortalidade, bronquite crônica, sintomas respiratórios, etc. Vale mencionar também que os níveis de concentrações podem variar significativamente dos valores estimados devido a incertezas na metodologia utilizada.

Não há uma grande diferença entre quantidades de emissões do gás monóxido de carbono nos Cenários I e II, desde que o carvão vegetal continua sendo utilizado nos dois cenários. Em 2025, nos Cenários I e II, as concentrações de CO são 4 vezes maior do que o padrão recomendado pela WHO e USEPA. Em 2005, elas se diminuem para um valor 3 vezes maior, ainda um nível maior do que o valor recomendado. Somente no Cenário III onde os níveis de concentrações de CO podem ser diminuídos até o padrão recomendado.

Como para o CO, as concentrações de TSP *per capita* continuarão sendo maiores nos Cenários I e II por fatores de 7 e 6 vezes maior do que valores recomendado pela WHO e USEPA. No Cenário III as emissões cairão para menos de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no ano, um valor ainda maior duas vezes do que o recomendado. Durante o período desta análise esta é o melhor resultado que pode ser realizado já que ainda 10% da população continuará utilizando o carvão vegetal.

4.5.4 Importações do GLP e seus impactos na economia da Tanzânia

O objetivo desta parte é mostrar os impactos de substituir o carvão vegetal por GPL no nível nacional. A primeira hipótese da análise é que todo GPL utilizado na Tanzânia é importado de acordo com seu preço no mercado internacional. A análise inclui somente custos de combustíveis e não inclui compras de fogões e seus custos operacionais.

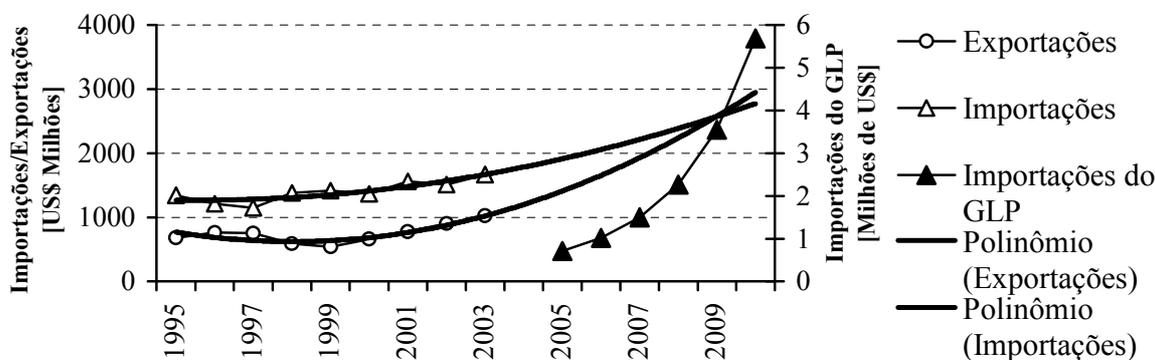
Importações do GLP e a balança de pagamento

Segundo TaTEDO (2002), o consumo do GLP na Tanzânia em 2001 era de 3,6 mil toneladas enquanto a AFREPREN (2004) estima este valor em torno de 5,0 mil toneladas em 2002. Substituir 60% da demanda atual de energia para cocção, serão precisas 100 mil toneladas de GPL. Este significa um aumento de 20 vezes da demanda anual de GPL no país e é um aumento de US\$ 47 milhões/ano com o preço médio de US\$ US\$ 470/t. Este valor representa aproximadamente 2,5% do valor atual das importações totais da Tanzânia, que soma em torno de US\$ 1670 milhões.

Considerando as iniciativas mais recentes do governo na promoção de consumo do GLP, o consumo atual do GLP pode ser aumentado para 5,0 mil toneladas. O preço final (CIF⁵⁷ price) do GLP em Dar es Salaam, em 2001, era de US\$ 470/t e o valor atual de importação do GLP é cerca de US\$ 1,69 milhões. Na hipótese de que os preços do GLP aumentem numa taxa constante de 6,4%/ano 2004 (UNDP/World Bank, 2004), o valor de importações do GLP, em 2004, será de US\$ 2,5 milhões.

Para projetar os valores de importações, os valores históricos de importações são extrapolados para determinar os valores nos próximos 5 anos. A extrapolação é limitado num período de 5 anos de 2005 a 2010 para diminuir erros nos resultados. Mesmo assim, esta metodologia não garante maior precisão e confiança dos resultados, foi utilizada apenas como uma solução simples de projeção já que os valores de importação e exportação são altamente variáveis dependendo das situações de micro e macro economias. Os valores de importações e exportações da Tanzânia, apresentados na Figura 46 confirmam funções polinomiais com coeficiente R de 0,65 e 0,60 respectivamente.

Figura 46: Evolução e projeção de exportações e importações da Tanzânia, 1995-2010



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BOT (2004)

Quando projetados para os próximos 5 anos, as curvas se cruzam em 2009, quando o valor de importações é igual ao valor de exportações por volta de US\$ 2.570 milhões. O aumento no consumo do GLP em 2005, no Cenário III, será de 1.340 t, equivalente a US\$ 0,7 milhão, e o valor total das importações é projetado em torno de US\$ 1.913 milhões. O valor de importação

⁵⁷ Cost Insurance and Flight: é o preço de mercadoria até chegar ao porto do país destinatário incluindo custos de frete e seguro.

do GLP, neste ano, será de apenas 0,04%, insignificante em relação ao valor das importações do país. Da mesma forma, as importações do GLP serão de US\$ 5,7 milhões no ano 2010, ainda representando uma proporção menor nos valores projetados das importações. Conclui-se, então, que as importações do GLP não aumentarão significativamente os valores de importação⁵⁸ do país, pelo menos nos primeiros 5 anos de adaptação para a utilização elevada do GLP.

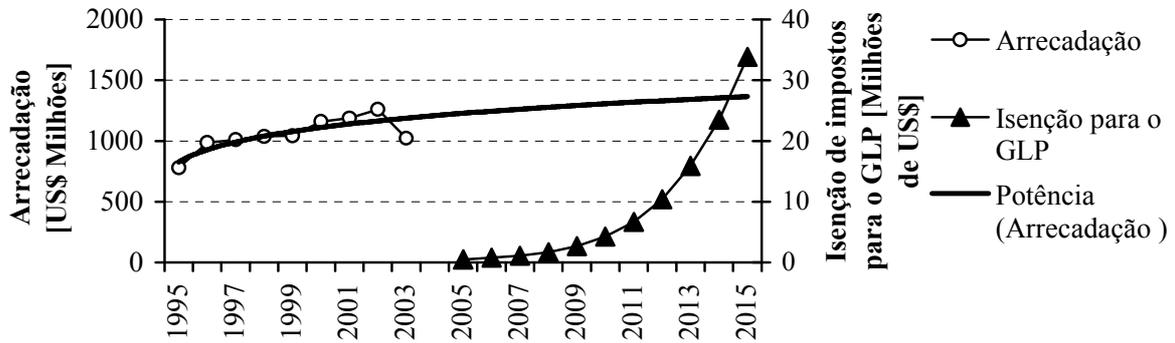
Isenção de impostos

O preço do GLP constitui-se até 60% como impostos e margens das empresas distribuidoras em proporções de 40% e 20%, respectivamente. Mais recentemente, a redução de impostos aduaneiros de US\$ 0,11/kg do GLP diminuiu a proporção dos impostos para 30%. Para aumentar mais o consumo do GLP, ainda o governo da Tanzânia poderia dar isenção nos impostos ao GLP e os fogões a gás pelo menos nos primeiros 10 anos como aconteceu no Senegal. A isenção dos impostos diminuirá o preço do GLP para US\$ 0,72/kg, que é relativamente mais acessível para os consumidores. Por outro lado, isto significará a redução na arrecadação do governo.

A projeção das arrecadações do governo é de US\$ 1.300 milhões, em 2005 (Bank of Tanzania, 2004), e a isenção dos impostos pela importação do GLP, em torno de 30%, será de US\$ 0,53 milhões. A isenção apresenta menos de 0,04% de todas as arrecadações. O valor da mesma aumenta à medida que aumenta o consumo do GLP, até chegar ao valor de US\$ 34 milhões, em 2015, apresentando a proporção de 2,3% da arrecadação. Estes valores de isenção ainda são menores quando comparados com as arrecadações e pode-se concluir que o efeito de isenção de impostos na venda do GLP não será significativo nas finanças do país, conforme apresentado na Figura 47.

⁵⁸ Normalmente, quando o valor de importação é maior do que o de exportação, ocorre crise de pagamento no país. O efeito do balanço de pagamento negativo é que o país não terá como pagar as importações e outras dívidas internacionais. Como resultado, o país precisará de empréstimos ou de adiar o pagamento das dívidas, acumulando assim mais juros e dívidas externas.

Figura 47: Arrecadação do governo da Tanzânia e isenção de impostos para o GLP, 1995-2015

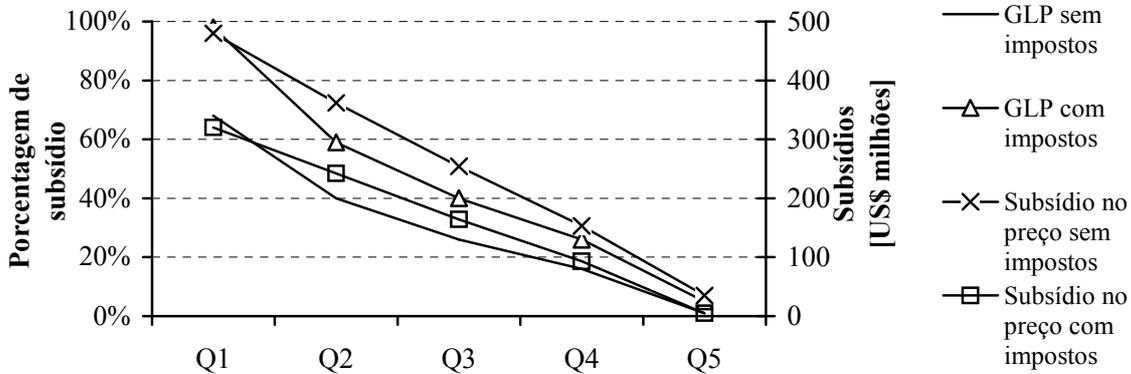


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BOT (2004).

Subsídios diretos aos preços de GLP

Para que o GLP seja acessível para a maior parte da população, será necessária mais uma redução de preço, possivelmente através de uma aplicação de subsídios. Esta intervenção depende muito das políticas do governo já que os subsídios são muito caro e serão precisos para mais de 80% da população, conforme apresentado na Figura 48.

Figura 48: Estimativas de subsídios para o GLP por quartis



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BOT (2004) e NBS (2004).

Considerando a porcentagem de despesas em torno 10% das despesas, as famílias de quartil Q1, com as despesas mensais em torno de US\$ 195/ano, precisam de aproximadamente 98% de subsídio no preço atual de GLP. O custo de utilizar o GLP para uma família de 5 pessoas é de US\$ 152/ano e US\$ 211/ano para o preço do GLP com e sem isenção de impostos respectivamente. Nos dois casos, somente o quartil Q5 da população que não precisará de

quantidade elevada de subsídio conforme apresentado na Figura 48. Em torno de US\$ 480 milhões são necessários como subsídio para baratear o GLP no caso os impostos sejam embutidos no preço do GLP e, US\$ 320 milhões no caso os impostos são retirados dos preços finais do GLP. Os US\$ 320 milhões representam 18% das despesas periódicas e aproximadamente todos os gastos do governo da Tanzânia nos setores de alta prioridade como educação, saúde, transporte e agricultura.

Capítulo 5

Conclusões e recomendações.

A demanda de energia final para cocção e de carvão vegetal pode ser reduzida de maneira mais efetiva pela utilização de GLP. Apenas a melhoria de eficiência no consumo do carvão vegetal não contribui significativamente na redução da demanda. A utilização de fornos eficientes na produção do carvão vegetal, junto com a utilização de carvão vegetal ou GLP pode diminuir a demanda de madeira para a produção do carvão e, conseqüentemente, o desmatamento. Quando o CO₂ e demais gases de efeito estufa, qualquer das intervenções contribui na redução destes poluentes. Entretanto, a emissão de CO ou TSP pode ser reduzida somente pela redução no consumo de carvão vegetal. A utilização do GLP em vez do carvão vegetal diminui emissão de CO e TSP por mais de 70%. Das duas intervenções, a utilização de fogões eficientes, não obstante é a intervenção mais favorável em respeito ao custo por unidade de energia produzida.

Se a taxa anual de penetração dos fogões eficientes continuar a mesma, provavelmente não haverá equilíbrio entre a utilização de madeira e reflorestamento em um período de 20 anos, desde que a taxa de utilização de madeira é maior do que sua reprodução. O aumento em distâncias entre os pontos de produção do carvão e a cidade conforme a esta hipótese que o desmatamento aumenta cada vez mais nas áreas próximas a cidade. O consumo do carvão vegetal contribui ao desmatamento nestas áreas.

A maior parte do carvão vegetal consumido em Dar es Salaam é proveniente das florestas nativas sem reflorestamento ou reprodução adequada, assim, a sua utilização contribui ao

inventário de gases de efeito estufa. Mesmo se o reflorestamento fosse sustentável, a produção e utilização do carvão emitem substâncias particuladas em suspensão, metano, óxido nítrico e outros hidrocarbonetos que contribuem à acumulação de gases de efeito estufa. A cadeia de produção, transporte e uso final do carvão vegetal emite a maior quantidade de CO₂ do que dos outros combustíveis, inclusive os fósseis. Na medida em que aumenta a distância entre os pontos de produção do carvão e a cidade, a emissão de CO₂ no componente de transporte aumenta devido ao consumo de mais diesel e gasolina. Portanto, uma redução no consumo do carvão vegetal pode diminuir grande quantidade de emissões de gases de efeito estufa.

A queima de carvão vegetal produz gás monóxido de carbono e substâncias particuladas em suspensão que podem prejudicar a saúde. A poluição do ar pela utilização do carvão vegetal é maior tanto nos fogões tradicionais quanto nos fogões eficientes e a exposição a este tipo de poluição aumenta cada vez mais entre as famílias pobres na medida em que aumenta a preferência para os combustíveis mais baratos, como carvão vegetal e lenha. O GLP e querosene se queimam com relativamente menor índices de poluição.

A magnitude de poluição em cozinhas pode ser diminuída através de melhorias de eficiência de fogões e da ventilação. Por exemplo, cozinhar perto de janela aberta ou no lugar bem ventilado pode reduzir significativamente a concentração das emissões. Esta já é praticada por alguns usuários do carvão vegetal em Dar es Salaam (comunicação pessoal com E. N. Sawe, Diretor da TaTEDO), porém, não há informações sobre a popularidades desta prática e se ela faz parte ou é recomendada na utilização dos fogões a carvão vegetal. Os fogões que utilizam chaminés poluem menos em ambientes fechados.

O carvão vegetal é a alternativa mais barata para cocção em relação aos outros combustíveis comerciais e garante assim sua existência ainda por muito tempo no futuro. Por outro lado, a utilização do GLP e querosene para cocção ainda é cara para a maioria das famílias em Dar es Salaam, assim, sua adaptação se torna uma alternativa mais improvável no curto prazo, desde que não há expectativa de melhoria abrupta nos níveis de renda familiar na Tanzânia. A substituição do carvão vegetal por GLP ou querosene, portanto, ocorrerá não por motivo de

baixos custos, mas pelo desejo dos usuários de melhorar sua qualidade de vida, no contexto de modernização.

Apesar da disponibilidade do GLP em Dar es Salaam, não houve maior penetração na sua utilização. Recém iniciativa do governo da Tanzânia de reduzir impostos no preço do GLP foi uma intervenção frutuosa na promoção de sua utilização. Este resultado sugere a importância e a necessidade da promoção subsidiada para o GLP. Apenas a isenção de impostos não se evidenciou suficiente para baixar preços de GLP. No Senegal, por exemplo, apesar de isenção de impostos alfandegários o consumo do GLP não aumentou até quando foi aplicada uma política de subsídios. Semelhantemente, subsídios serão necessários para desenvolver o mercado do GLP na Tanzânia.

A maior preocupação na aplicação de subsídios é garantir seus benefícios a todos os usuários na sociedade. A maioria dos programas de subsídios estudados é ineficaz, beneficia mais os usuários urbanos e não tem impacto na melhoria de vida dos pobres. Além disto, há casos de desvio do querosene subsidiado proibindo a população usufruir os benefícios de utilizar os combustíveis mais limpos, como também aumentar peso nas finanças públicas.

O crescimento da demanda para o GLP e querosene pode aumentar o valor das importações e abalar a balança de pagamento do país. Com a economia menos desenvolvida, a prioridade do Governo da Tanzânia, provavelmente, esteja em outras áreas mais importantes como a saúde, educação, agricultura e transporte. A insegurança de fornecimento é outra desvantagem do GLP e querosene desde que a Tanzânia não possui recursos domésticos destes combustíveis. Se o país depender da importação destes combustíveis, pode arriscar a oferta de energia para cocção.

A Tanzânia precisa desenvolver e promover as tecnologias que possibilitarão a transição aos combustíveis e tecnologias mais limpos utilizando recursos domésticos. No entanto, seria interessante melhorar a eficiência na produção e no consumo do carvão vegetal como também melhorar a ventilação de cozinhas e utilização de fogões eficientes com chaminé. Outra medida é o desenvolvimento de plantações energéticas que além de aumentar a oferta de biomassa para a

utilização energética, são importantes no seqüestro de dióxido de carbono e na criação de empregos para a população local, ao contrário dos combustíveis fósseis.

Considerando todas as vantagens e desvantagens de cada um, conclui-se que não há um combustível que pode ser considerado o melhor. E, como a utilização de vários tipos de combustíveis é comum, a transição para a utilização de somente um tipo de combustível/tecnologia é improvável. A disponibilidade e acessibilidade aos combustíveis e tecnologias eficientes ampliarão opções de oferta de energia, mas não necessariamente significarão sua maior utilização. A melhor intervenção deve considerar a utilização de combustíveis e tecnologias múltiplos que são aceitáveis entre os usuários. .

Referências Bibliográficas

- Achão, C. L., *Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, pp. 102, 2003.
- Agência Nacional de Petróleo (ANP), disponível em: www.anp.gov.br , data de acesso: 12/7/2004.
- Ali, M. E., *Transfer of sustainable energy technology for rural Bangladesh, opportunity for New Zealand*, Discussion paper no. 02.09, Massey University, New Zealand, 2002.
- Arbex, M. A., *Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP*, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2001, pp.188, Tese (Doutorado).
- Bailis, R., Pennise, D., Ezzati, M., Kammen, D. M., Kituyi, E., Impacts of greenhouse gas and particulate emissions from woodfuel production and end-use in sub-saharan Africa, disponível em: <http://ist-socrates.berkeley.edu/~rael/OA5.1.pdf>, data de acesso: 30/09/2004.
- Ballard-Tremeer, G., Jawurek H. H., Comparison of five rural, wood-burning cooking devices: efficiency and emissions, *Biomass and Energy*, v.11, no.5, pp.419-430, Elsevier Science, 1996.
- Baranzini, A., Goldemberg J., Desertification, energy consumption and liquefied petroleum gas use with an emphasis on Africa, *Energy for Sustainable Development*, v.II, No.5, pp.32-37, 1996.
- Barcellos, D. C., *Forno container para produção de carvão vegetal; desempenho, perfil térmico e controle de poluição*, Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, 2002, pp.17-20, Tese de Mestrado.

- Barnes, D. F., *Consequences of energy policies for the urban poor*, FPD Energy Note No. 7, The World Bank Group, 1995.
- Barnes, D. F., Halpen J., *The role of energy subsidies*, in ESMAP Energy Report 2000, The World Bank Group, 2000, disponível em: http://www.worldbank.org/html/fpd/esmap/energy_report2000/ch7.pdf, data de acesso: 15/07/2004
- Barnes, D. F., Openshaw K., Smith K. R., van de Plas, R., *What makes people cook with improved biomass stoves, a comparative international review of stoves programs*, World Bank technical paper 242, Energy Series, pp.60, 1994, Washington DC.
- Barrera, P. *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural*, Editora Ícone, São Paulo, 1993. pp.106.
- Bhattacharya, S. C., Abdul Salam P., Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. *Biomass and Energy*, v.22, pp.305-317, Elsevier Science, 2002.
- Bhattacharya, S. C., Albina D. O., Abdu Salam P., Emission factors of wood and charcoal fired cookstoves, *Biomass and Energy*, v.23, pp 453-469, Elsevier Science, 2002.
- Bruce, N., Perez-Padila R., Albalak, R., *The health effects of indoor air pollution in developing countries*, World Health Organization, Geneva, 2002(b). pp.41
- Bruce, N., R Perez-Padilla, and R Albalak, *Indoor Air Pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge*, Bulletin of the World Health Organization, 78(9): 1078-1092, 2002(a)
- CEEST, (Centre for Energy Environment Science and Technology), *Sources and sinks of Green House Gases in Tanzania*, Report No. 7, CEEST, Dar es Salaam Tanzania, 1997. pp.39-51 e pp.145-147.
- Chaudhuri, S., Pfaff, A. S. P., Fuel-choice and indoor air quality: a household-level perspective on economic growth and the environment, Columbia University, 2003 disponível em: <http://www.columbia.edu/~ap196/fuel-choice-jan2003.pdf>, data de acesso: 15/08/2004.
- Coelho, S. T., *Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termoelétrica*, São Paulo, 2000, pp.99.
- Cortez, L. A., Lora, E. S., *Tecnologias de conversão energética da biomassa*, (Série: Sistemas Energéticos, v.2.), Universidade do Amazonas/EFEI, Manaus, 1997, pp.540.

- Davis, M., Rural household energy consumption: the effects of access to electricity – evidence from South Africa, *Energy Policy*, v.26, no.3, pp.207-217, Elsevier Science, 1998.
- Davison, A., *Fossil fuel consumption and the environment*, Oxford Institute of Energy Studies, 1989, pp.61
- Denton, F., Reducing the gap between projects and policies: comparative analysis of the “butanisation” program in Senegal and the multifunctional platform (MPF) experience in Mali, *Energy for sustainable development*, v.VIII, n.2, June 2004, pp.17-29.
- Dutt, G. S., Ravindranath N. H., Bioenergy: Direct Application in cooking, in: *Renewable Energy sources for fuels and electricity*, Edited by Johansson T. B., Kelly H., Reddy A. K. N. and Williams R. H., Island Press, USA, 1993
- Eberhard, A. A., Shifting paradigm in understanding the fuelwood crisis: policy implications for South Africa, in *Anthology of Research*, Energy for Development Research Centre (EDRC), Cape Town, 1999.
- Edward, R. D., Smith K. R., Zhang J. Ma Y., Models do predict emissions of health-damaging pollutants and global warming of residential fuel/residential combinations in China, *Chemosphere*, v.50, pp.201-215, Elsevier Science, 2003.
- Ellegard, A., The Maputo coal stove project, environment assessment of a new household fuel, *Energy Policy*, v.21, no.5, pp.498-614, Elsevier Science, 1993.
- Ezzati, M., Kammen M. Evaluating the health benefits of transitions in household energy technologies in Kenya. *Energy Policy*, v.30, pp.815-826, Elsevier Science, 2002.
- FAO, *Future energy requirements for Africa's Agriculture*, Rome, 1995a, Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/V9766E/v9766e00.htm#Contents> Data de acesso: 20/05/2004.
- FAO, *The role of wood energy in Africa, Regional studies on Wood energy today for tomorrow (WETT)*, Rome, 1995b. Disponível na: <http://www.fao.org/docrep/x2740e/x2740e00.htm#forew>, data de acesso: 30/04/2004.
- FAO, Woodgas as engine fuel, 1986, disponível em: <http://www.fao.org/DOCREP/T0512E/T0512e00.htm#Contents>, data de acesso: 5/10/2004.
- Fischer, S. L., Biomass-derived liquid cooking fuels for household use in rural China: Potential for reducing health costs and mitigating greenhouse gas emissions, in *Energy for Sustainable Development*, v.1, pp. 23-29, March, 2001.

- Floor, W., van der Plas, R., *CO₂ emissions by the residential sector, environmental implication of inter-fuel substitution*, The World Bank, 1992.
- Foley, G., van Buren A. *Substitution for wood*, in Distortion Trade, FAO, 1980.
- Foster, V. *Measuring the impact of energy reform - practical options*, Energy and Development Report 2000, ESMAP, 2000. Disponível na: http://www.worldbank.org/html/fpd/esmap/energy_report2000/, data de acesso em: 15/06/2004
- Gangopadhyay, S., Ramaswami B., Wadhwa W., *Reducing subsidies on household fuels in India: how will it affect the poor?* Indian Development Foundation, 2004. Disponível em <http://www.idfresearch.org/pdf/fuel%20subsidy.pdf>, data de acesso: 15/06/2004.
- Geller, H. S., Dutt G. S. *Measuring cooking fuel economy*, em Woodfuel Strategy: Forest for local community Development Program, FAO, Roma, 1983. Disponível na <http://www.fao.org/docrep/Q1085e/q1085e00.htm#Contents>, data de acesso: 12/05/2004.
- Geller, H. S., *Revolução Energética, políticas para um futuro sustentável*, tradução: Maria Vidal Barbosa, revisão técnica: Márcio Edgar Schuler, Rio de Janeiro, USAid, 2003.
- Goldemberg, J., Villaneuva L. D., *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*, São Paulo, Editora de Universidade de São Paulo, 2003, pp.232
- Hanbar, R. D., Karve P., National Program on Improved Chulha, NPIC, of the Government of India, an overview, *Energy for Sustainable Development*, v.VI, no.2, 2002.
- Hifab/TaTEDO, *Tanzania Rural Energy Study*, .Disponível em: <http://www.bioquest.se/reports/Tanzania%20Rural%20Energy%20Study%20Volume%201.pdf>, data de acesso 12/05/2004
- IBGE, *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2001*⁵⁹, *Síntese de Indicadores*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), Ministério do planejamento, Orçamento e Gestão, 2002.
- IPCC, *Revised guidelines for national greenhouse gases inventories, Reference manual*, Disponível em: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm data de acesso: 20/08/2004.
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/>

⁵⁹ Exclusive a população rural de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá

- Jannuzzi, G. M. *The structure and development of personal demand for fuels and electricity in Brazil (1960-1982)*, Cambridge, St. Edmunds House, University of Cambridge, 1985, Tese (Doutorado).
- Jannuzzi, G. M., Residential energy demand in Brazil by income classes, issues for the energy sector, *World Energy*, v.17, no.3, pp.254-263, Elsevier Science, 1989.
- Jannuzzi, G. M., Sanga G. A., LPG subsidies in Brazil: an estimate, *Energy for Sustainable Development*, v.VIII no.3, pp 127-129, September, 2004.
- Jannuzzi, G. M., Uso de Lenha em áreas urbanas, *Ciência e Cultura*, v.40, no.3, pp.289-291, 1991.
- Kammen, D. M., From energy efficiency to social utility, lessons from cookstove designs, dissemination and use, in Goldemberg J., Johansson T. B. (Editors), *Energy as an instrument for socio economic development*, UNDP, New York, 1995.
- Karekezi, S., *Socio-economic and Energy Data for Eastern and Southern Africa on Rural Energy, Renewables and the Rural Poor*, Disponível em: <http://www.afrepren.org/datahandbook/rural.htm>, data de acesso: 1/11/2003
- Kassenga, G. R., Promotion of renewable energy technologies in Tanzânia, *Resources, Conservation and Recycling*, v.19, pp.257-263, Elsevier Science B. V., 1997.
- Larson, E. D., Tingjin R., Synthetic fuel production by indirect coal liquefaction, *Energy for Sustainable Development*, v.VII no.4, pp 79-102, December 2003.
- Laxmi, V., Parikh J., Karmakar S., Dabrase P., Household energy, women's hardship and health impacts in rural Rajasthan, India: need for sustainable energy solutions, *Energy for Sustainable Development*, v.VII, no.1, pp.50-68, Elsevier Science, March 2003.
- Luo, Z., Hulsher, W., Woodfuel Emissions, Rural Wood Energy Development Program in Asia (RWEDP), Bangkok, May 1999.
- Malilay, J. A., A review of factors affecting the human health impacts of air pollutants from fires, in *Health guidelines for vegetation fires events*, Lima, Peru, 1998, Geneva, WHO, 1999, pp.255-270 (background papers).
- Malimbwi, E. R., Charcoal potential in Southern Africa – Final Report for Tanzania, 2001. Disponível em: www.sei.se/chaposa/chaposaindex.html, data de acesso: 12/05/2004

- Masera, O., Saatkamp B. D., Kammen D. M., From linear fuel switching to multiple cooking strategies; a critique and alternative to the energy ladder model, *World Development*, v.28, no.12, pp.2083-2103, Elsevier Science, 2000.
- Ministério de Minas e Energia, Balanço Energético Nacional, 2003, disponível em: <http://www.mme.gov.br/paginasInternas.asp?url=../BEN/default.asp>.
- Ministry of Mining and Energy (MME) – Tanzania, disponível em: www.mme.gov.tz,
- Mtasiwa, D., Sigfried G., Tanner M., Pichotte P., *Dar es Salaam City/Region minimum package of health and related management activities*, Dar es Salaam City Medical Office of Health, 2003.
- Munasinghe, S. *Energy economics, demand management and conservation policy*, New York: Van Nostrand Reinhold Company Limited, 464p
- Murphy, J. T., Making the energy transition in rural East Africa: Is leapfrogging an alternative? *Technological Forecasting and Social Change*, v.68, pp.173-193, Elsevier Science, 1999..
- Mwandosya, M. J., Meena E., *Climate change mitigation in Southern Africa, Tanzanian Country Study*, UNEP Collaborating Center on Energy and Environment, 1999. Disponível na: <http://uneprisoe.org/economicsGHG/Tanzania.pdf>, data de acesso: 25/06/2004.
- NBS, National Bureau of Statistics of Tanzania, disponível em: <http://www.nbs.go.tz/>
- Neubauer, B. Frey, *Energy Supply for Three Cities in Southern Africa*, University of Stuttgart, 2002 Disponível em: http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2002/1197/pdf/CHAPOSA_OPUS.pdf data de acesso: 25/06/2004.
- Patusco, J. A. M., Critérios de apropriação dos dados da matriz do balanço energético nacional, COBEN 01/88, MEM, disponível em: http://www.mme.gov.br/BEN/NotasTécnicas/NT_COBEN_01.pdf, acesso em 2004.
- Pennise, D.M., Smith K. R., Kithinji J. P., Rezende M. E., Read T. J., Zhang J., Fan C., Emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants from charcoal making in Kenya and Brazil. *Journal of Geophysical Research* 106 (Oct. 27):24143-24155, 2001.
- Pereira, N., Bonduki Y., Perdomo M.. Potential options to reduce GHG emissions in Venezuela, *Applied Energy*, v.56, (3/4), pp. 265-286, Elsevier Science, 1997.
- Petróleo Brasileiro SA, Petrobras, disponível na www.petrobras.com.br, data de acesso: 09/03/2004.

- Petroleum Economics Limited, 2004. Disponível em: <http://www.kbcat.com/pel/>, data de acesso: 11/10/2004.
- Reddy, A. K. N., Williams R. H., Johansson T. B., *Energy after Rio, prospects and challenges*. New York: United Nations Publications, 1997, pp.197.
- Renewable Energy Policy Project, REPP, Biomass cooking stoves, disponível em <http://solstice.crest.org/discussiongroups/resources/stoves/> , data de acesso: 03/10/2004.
- Saatkamp, B. D., Masera O. R., Kammen D. M., Energy and health transitions in development: fuel use, stove technology and morbidity in Jarácuaro, México, *Energy for Sustainable Development*, v.IV, No.2, pp.7-16, 2000.
- Saldiva, P. H. N., Miraglia S. G., Health effects of cookstove emissions, *Energy for Sustainable Development*, v.VIII, No.3, pp.13-19, 2002.
- Schirnding, von Y., Bruce N., Smith K. R., Ballard-Tremeer G., Ezzati M., Lvovsky K., *Addressing the impact of household energy and indoor air pollution on the health of the poor: implications for policy action and interventions measures*, *Commission on Macroeconomics and Health*, pp 52, WHO, 2000. Disponível em: www.who.int/mediacentre/events/HSD_Plaq_10.pdf, data de acesso: 12/04/2004.
- Sheffield, J., World Population Growth and the Role of Annual Energy Use *per Capita Technological Forecasting and Social Change*, v.59, pp.55-87, Elsevier Science Inc, 1998.
- Sheya, M. S., Mushi S. J. S., The state of renewable energy harnessing in Tanzania, *Applied Energy*, v.65, pp.257-271, Elsevier Science, 2000.
- Smith, K R., Indoor air pollution, the global problem, *Pollution Management in Focus*, Discussion Note No. 4, World Bank, 1999.
- Smith, K. R., Uma R., Kishore R. R., Lata K., Joshi V., Zhang J., Rasmussen R. A., Khalil M. A., *Greenhouse gases from small scale combustion devices in developing countries*, United States Environment Protection Agency (EPA), 2000. Disponível em: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/Pubs/600R00052/600R00052.pdf> , data de acesso: 27/04/2004.
- Smith, K. R., Zhang T., *An Assessment of Programs to Promote Improved Household Stoves in China*, 2004, disponível em: <http://ehs.sph.berkeley.edu/heh/page.asp?id=29>, data de acesso: 21/10/2004.

- Smith, K. R., Fuel combustion, air pollution exposure and health in developing countries, *Annual Review of Energy and Environment*, No.18, pp.529-566,1993.
- Smith, K. R., Health, energy and greenhouse gas impacts of biomass combustion in household stoves, *Energy for sustainable development*, v.I, n.4, November 1994, pp.23-29.
- Sokona, Y., LPG introduction in Senegal, *Environment and Development Action in the Third World (ENDA)*, Disponível em: <http://www.enda.sn/energie/Butane%20Senegal.htm>, data de acesso: 14/08/2004
- Spalding-Fecher, R., Clark A., Davis S., Simmonds, G., The economics of energy efficiency for the poor – a South African case study, *Energy*, v.27, pp.1099-1117, Elsevier Science, 2002.
- Tanzania Socioeconomic Database, TSED, disponível em: <http://www.nbs.go.tz/Tsed/index.htm> data de acesso: 28/09/2004.
- Tanzania Traditional Energy Development and Environment Organization, TaTEDO, *The LP Gas market in Tanzania*, Relatório não publicado, TaTEDO, 2001
- United Nations Development Program/World Bank, UNDP/World Bank, *Access of the poor to clean household fuels in India*, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), 2002. Disponível em [http://lnweb18.worldbank.org/SAR/sa.nsf/Attachments/InHHFuel-Ch2/\\$File/Chapter+2.pdf](http://lnweb18.worldbank.org/SAR/sa.nsf/Attachments/InHHFuel-Ch2/$File/Chapter+2.pdf), data de acesso: 12/05/2004.
- United Nations Development Program, UNDP, *World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability*, UNDP, 2000.
- United Nations Environment Program, UNEP, *Basic facts on desertification*, Disponível em: <http://www.nyo.unep.org/action/15f.htm>, data de acesso: 19/10/2004.
- United Nations Environment Program, UNEP, disponível em: www.unep.org, data de acesso: 15/09/2004.
- United Nations, *Millennium Development Goals,: country case studies of Bangladesh, Cambodia, Ghana, Tanzania and Uganda*, Working Paper, pp.225, 2004 disponível em: <http://www.unmillenniumproject.org/html/about.shtm>, data de acesso: 20/10/2004.
- United Republic of Tanzania, URT, *Household Budget Survey of 2001*, National Bureau of Statistics Dar es Salaam, 2002.

- United Republic of Tanzania, URT, Population and Housing Census General Reports, National Bureau of Statistics, , 2003. Disponível em: <http://www.tanzania.go.tz/census/index.html>
- United Republic of Tanzania, URT, *Rural Development Strategy*, 2001, Disponível: <http://tzone.org/pdf/ruraldevelopmentstrategy.pdf>, data de acesso: 14/05/2004
- Van Horen, C., Eberhard A. A., Widening access to basic energy services to the urban and rural poor in South Africa, In: *Zimbabwe Institute of Engineers Power and Energy Symposium*, in *Anthology of research*, Energy and Development Research Centre, 1999, pp.190-195.
- Van Horen, C., Eberhard A. A., Trollip H, Thorne S., Energy, environment and urban poverty in South Africa, *Energy Policy*, v.21 no 5., pp.623-639.
- Van Horen, C., Nel R., Terblanche P., Indoor pollution from coal and wood use in South Africa: an overview, *Energy for sustainable Development*, v.1 no.3, pp.38-40.
- Viswanathan, B., Kavi Kumar K. S., Cooking fuel use pattern in India: 1983-2000, *Energy Policy*, article in press, Elsevier Science, 2003.
- Wallenstein, T., From climate to cookstoves, an analysis of black carbon reduction policies, *Environment Science and Policy*, Columbia University, 2004.
- Walter, A., Biomass energy in Brazil, past activities and perspectives, *RE-Focus*, pp.26-29, January/February 2001.
- Warwick, H., Doig A., *Smoke – the killer in the kitchen, indoor air pollution in developing countries*, London, ITDG Publishing, 2004, pp.40.
- Wijayatunga, P. D. C., Attalage R. A., Analysis of rural household energy supplies in Sri Lanka: energy efficiency, fuel switching and barriers to expansion, *Energy Conversion and Management*, v.44, pp.1123-1130, Elsevier Science, 2003.
- Woods, J., D.O. Hall, *Bioenergy for development - Technical and environmental dimensions -* FAO Environment and Energy Paper 13, FAO, Rome, 1994, Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/T1804E/t1804e00.htm#Contents> , data de acesso: 10/05/2004
- World Bank, *Household energy use in developing countries, a multicountry study*, UNDP/World Bank Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP), 2003a, Disponível em: http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDS_IBank_Servlet?pcont=details&eid=000090341_20040115105717, data de acesso: 08/04/2004.

- World Bank, *World Development Indicators*, 2003b, Disponível em: <http://www.worldbank.org/poverty>, data de acesso: 16/10/2004.
- World Energy Council, WEC, *The challenge for rural energy poverty in developing countries*, WEC/FAO, pp.199, October 1999. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/wec-geis/global/downloads/rural.pdf>, data de acesso em: 16/02/2004.
- World Health Organization, WHO, *Air quality guidelines for Europe*, 2nd Edition, No.91, WHO Regional Office for Europe, 2000, pp.288, Disponível em: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>, data de acesso: 12/09/2004.
- World Health Organization, WHO, *Health guidelines for vegetation fire events*, ed. Schwela, O. H., Goldammer, J. G., Morawska, L. H., Simpson, O., WHO, Geneva, 1999.
- World Liquefied Petroleum Gas Association (WLPGA), Disponível em: www.lpgas.com
- Zhang, J., Smith K. R., Uma R., Ma Y., Kishore V. V. N., Lata K., Khalil M. A. K., Ramussen R. A., Thorndoe S. A., Carbon monoxide from cookstoves in developing countries, 1. Emission factors, *Global Change Science*, 1 (1999) pp.353-366, Elsevier Science 1999.