



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CURSO DE MESTRADO EM ECONOMIA

DARYL WILLIAM BROWN

ECONOMIA DA ENERGIA NO SEGMENTO RESIDENCIAL RURAL NO BRASIL
COM ENFOQUE NA LENHA

SALVADOR

2011

DARYL WILLIAM BROWN

**ECONOMIA DA ENERGIA NO SEGMENTO RESIDENCIAL RURAL NO BRASIL
COM ENFOQUE NA LENHA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Área de concentração: Economia de Energia e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Tomé da Costa Mata

SALVADOR

2011

Ficha catalográfica elaborada por Vânia Magalhães CRB5-960

Brown, Daryl William

B877 Economia da energia no segmento residencial rural no Brasil com enfoque na lenha./ Daryl William Brown. - Salvador, 2011.

95 f. . il. ; fig.; tab.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Ciências Econômicas, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Tomé da Costa Mata.

1. Energia. 2. Lenha. I. Mata, Henrique Tomé da Costa. II. Título. III. Universidade Federal da Bahia.

CDD – 333.790981



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
FUNDADA EM 07.02.1905



CURSO DE MESTRADO EM ECONOMIA



TERMO DE APROVAÇÃO

DARYL WILLIAM BROWN

**“ECONOMIA DA ENERGIA NO SEGMENTO
RESIDENCIAL RURAL NO BRASIL COM ENFOQUE
NA LENHA”**

Aprovada em 10 de dezembro de 2011.

**Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do
Grau de Mestre em Economia pela seguinte Banca Examinadora:**

Prof. Dr. HENRIQUE TOME DA COSTA MATA (ORIENTADOR)
(CME/FE/UFBA)

Prof. Dr. GERVÁSIO FERREIRA DOS SANTOS
(CME/FE/UFBA)

Prof. Dr. OSVALDO LIVIO SOLIANO PEREIRA
(MESTRADO EM ENERGIA/UNIFACS)

To my loving wife, who inspired my interest in sustainable development, and without whose unwavering support and patient encouragement this would not have been possible.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha esposa, Sabrina, pela confiança em mim e inspiração para chegar até o final com sucesso. Agradeço os conselhos, as ideias, sugestões de bibliografia, e a revisão intermediária e final do trabalho. Agradeço também a paciência com conversas incessantes sobre combustíveis utilizados para a cocção e temas esotéricos de economia ao longo dos últimos anos, e com a bagunça em casa cada vez que se aproximava uma prova ou um prazo.

À Fundação Rotária, e ao Ipea, pelo apoio financeiro para a realização deste mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Henrique Tomé da Costa Mata, pela paciência, compreensão, e ânimo em passar o conhecimento, e revisão das várias versões deste trabalho.

Ao Dr. Alexandre Uhlig, Prof. Dr. Marcos Rangel, Profa. Dra. Vera Fava, aos participantes da Conferência do Partnership For Clean Indoor Air de 2011, e Arthur Gualberto Bacelar Da Cruz Urpia, pela orientação, troca de ideias, e sugestões bibliográficas para a realização do trabalho, e aos funcionários públicos do MME, ANP, e Seinfra, por procurarem dados para realizar esta pesquisa.

Ao colega Ronaldo Amorim Do Sacramento, paciente, trabalhador, e bom amigo, por me ajudar a entender coisas que não se explicam por livros.

E, finalmente, a todos que me ajudaram a chegar até aqui, todos os professores, e colegas da turma da UFBA. Conscientemente ou não, cada um tinha algo para me ensinar, e contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e acadêmico durante minha estadia na Bahia e no Brasil, com a língua, a vida, e até assuntos de economia. From the heart, thank you.

RESUMO

O mix de energia no Brasil é dominado por produtos petrolíferos e energia renovável, inclusive a energia hidroelétrica e biomassa. O consumo de energia no setor doméstico segue tendências gerais similares na Nação como um todo, com um terço da energia proveniente de biomassa (lenha), um terço de gás liquefeito de petróleo (GLP) e um terço de eletricidade, sendo este último predominante de fontes hidroelétricas. O foco deste trabalho são os fatores determinantes do consumo de lenha pelo setor doméstico brasileiro, uma estimativa da tendência futura do consumo de energia nesse setor, e a criação de uma linha de base de emissões de carbono. A tendência negativa do consumo de lenha, sua reversão, e queda recente são correlacionadas com flutuações de urbanização, subsídios do governo federal a GLP, o preço direcionado ao consumidor final de GLP, e a inflação. A linha de base de consumo pelo setor doméstico de eletricidade, lenha e GLP foi gerada por extrapolação de tendências recentes via análise uni-variável de séries temporais, com previsão de tendência positiva no consumo de eletricidade, aumento de GLP em grau moderado, e consumo estagnante de lenha. Embora os métodos sejam muito diferentes, estes resultados coincidem com estimativas governamentais. Conclui-se o trabalho com cálculo de emissões de carbono na linha de base de consumo de lenha, para fins de comparação de estudos futuros dedicados a observar os efeitos de fatores exógenos que podem aumentar/diminuir o consumo de lenha pelo setor doméstico.

Palavras-chave: Energia. Setor doméstico. Rural. Lenha. Biomassa. Meio-ambiente. Emissões de carbono. Séries temporais.

ABSTRACT

The energy mix in Brazil is dominated by petroleum products and renewable energy, including hydroelectric energy and biomass. Energy consumption in the domestic sector follows a similar pattern as the national trend, with a third of energy coming from biomass (mostly wood), a third from liquefied petroleum gas (LPG) and a third from electricity, the last of which is predominantly from hydroelectric power. The focus of this work is to find the determinants of wood use in the Brazilian domestic energy sector, estimate future energy use trends in that sector, and create a carbon emissions baseline. Ordinary Least Squares was used on the variables of wood use, and the downward and reversing trend in wood consumption is determined to be correlated with fluctuations in urbanization, federal government subsidies on LPG, the consumer price of LPG, and inflation, while PIB/capita, the drought from 2001, and people per household had correlations that were statistically insignificant. The baselines for domestic sector electricity, wood and LPG consumption were found by extrapolating recent consumption trends via univariate auto-regression, predicting an upward trend in electricity consumption, a slight increase in LPG consumption and virtually stagnant wood consumption. Although the calculation methods are quite different, these results roughly coincide with government estimates. The paper closes with a carbon emissions calculation in the wood consumption baseline, for useful comparison for future studies meant to see the affects of exogenous factors that might increase/decrease domestic sector wood consumption.

Key-words: Energy. Domestic sector. Rural. Wood. Biomass. Environment. Carbon emissions. Time series.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Uso de Energia no Brasil, 2008.....	10
Figura 2	–	Uso de Energia Mundial, 2008.....	11
Figura 3	–	Consumo de Lenha no Brasil.....	12
Figura 4	–	A Escada de Energia.....	13
Figura 5	–	Número de domicílios com fogão, por tipo.....	14
Figura 6	–	Consumo de Lenha, Setor Doméstico, Brasil.....	18
Figura 7	–	Média de Moradores por Domicílio Ocupado.....	19
Figura 8	–	Uso de lenha no Brasil.....	20
Figura 9	–	Consumo de Energia, 1970.....	21
Figura 10	–	Consumo de Energia, 2009.....	21
Figura 11	–	GDP per capita anual, Brasil.....	25
Figura 12	–	População Rural, Urbana e Total no Brasil.....	28
Figura 13	–	Variação Populacional.....	29
Figura 14	–	Balanço entre Demanda e Acessibilidade da Lenha.....	35
Figura 15	–	Oferta interna bruta de lenha no Brasil, diferentes fontes, 10 ³ toneladas.....	38
Figura 16	–	Preço Real de 1kg de GLP, Médias Mensais.....	41
Figura 17	–	Preço Real de GLP por KG para o consumidor final, e Consumo de Lenha, Médias Anuais.....	42
Figura 18	–	Crescimento Populacional e Urbanização no Brasil.....	45
Figura 19	–	Consumo Doméstico de Energia.....	52
Figura 20	–	Consumo Doméstico de Energia, Termos Relativos.....	53
Figura 21	–	Consumo Dom. de Energia Nacional.....	54
Figura 22	–	Consumo Dom. de Energia, termos porcentuais.....	55
Figura 23	–	Tendência de Consumo Doméstico de Eletricidade, 1970-2009.....	56
Figura 24	–	Raiz Unitária na Série de Eletricidade.....	59
Figura 25	–	Equação de Previsão e a Série Original, Eletricidade.....	61
Figura 26	–	Tendência de Consumo Doméstico de GLP, 1970-2009.....	62
Figura 27	–	Equação de Previsão e a Série Original, GLP.....	65
Figura 28	–	Tendência de Consumo Doméstico de lenha, 1970-2009.....	65
Figura 29	–	Equação de Previsão e a Série Original, Lenha.....	69
Figura 30	–	Usuários exclusivos de lenha para a cocção, nível municipal, 1991.....	71
Figura 31	–	Consumo de Lenha, Setor Doméstico da Bahia.....	73
Figura 32	–	Consumo de Lenha, Setor Doméstico do Brasil.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Padrões Monetários do Brasil, 1980 até o presente.....	40
Tabela 2	– Correlações entre o Consumo de Lenha pelo Setor Doméstico e Variáveis Selecionadas.....	46
Tabela 3	– Teste de Dickey-Pantula na Série de Eletricidade.....	58
Tabela 4	– Resultados da Equação de Previsão, Eletricidade.....	61
Tabela 5	– Resultados da Equação de Previsão, GLP.....	64
Tabela 6	– Resultados da Segunda Equação de Previsão, lenha.....	68
Tabela 7	– Consumo Doméstico de Lenha na Bahia (BA) e o Brasil (BR), em tep.....	73
Tabela 8	– Transformação, 10^3 tep para tCO ₂ e.....	75
Tabela 9	– Emissões geradas pelo consumo de lenha na linha de base, em tCO ₂ e.....	76

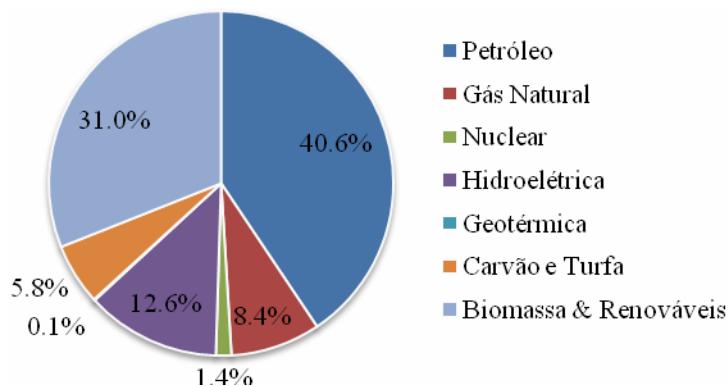
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E MODELAGEM HEURÍSTICA	18
2.1	VARIÁVEIS QUE AFETAM O USO DE LENHA	18
2.1.1	GLP: preço relativo, subsídio e uso	21
2.1.2	Programa Auxílio-gás	22
2.1.3	Eletrificação	23
2.1.4	Produto Interno Bruto per Capita	24
2.1.5	Inflação Nacional	25
2.1.6	Variável <i>dummy</i> pra a seca de 2001	26
2.1.7	Taxa de urbanização	26
2.1.8	Habitantes por domicílio	29
2.1.9	Variáveis de difícil medição	29
2.2	COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR RURAL	30
2.3	DEBATE SOBRE O CONSUMO DE LENHA	33
3	DETERMINANTES DO CONSUMO DE LENHA	37
3.1	DADOS UTILIZADOS	37
3.1.1	Consumo de lenha, setor doméstico, nacional	37
3.1.2	O Preço de GLP	39
3.1.3	Subsídios para a produção e o consumo de GLP	42
3.1.4	Produto Interno Bruto por Capita	43
3.1.5	Seca de 2001	43
3.1.6	Taxa de inação	43
3.1.7	Taxa de urbanização	44
3.1.8	População por domicílio	45
3.2	TESTES & RESULTADOS ESTATÍSTICOS	46
3.3	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	47
4	PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA	51
4.1	AVALIAÇÃO DAS SÉRIES DE CONSUMO NACIONAL	55
4.1.1	Série de Eletricidade	56
4.1.2	Série de GLP	62
4.1.3	Série de Lenha	65
4.2	AVALIAÇÃO DAS SÉRIES DE CONSUMO ESTADUAL	70
4.3	ESTIMAÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO NA LINHA DE BASE	74
4.4	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	77
5	CONCLUSÕES, EXTENSÕES & CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICES	88

1 INTRODUÇÃO

A evolução energética no Brasil das últimas décadas tem levado à superação gradual da dependência de formas tradicionais de cocção baseadas na biomassa com energias mais eficientes, predominantemente pelo gás liquefeito de petróleo (GLP). Como se mostra na Figura 1, o Brasil tem se posicionado como país diversificado na matriz energética em comparação ao resto do mundo graças à alta utilização de energia hidroelétrica, álcool (registrado como biomassa renovável), e baixa utilização de carvão mineral (GOLDEMBERG; LUCON, 2006). O item de biomassa e renováveis inclui biomassa tradicional, biomassa moderna e energia renovável, como a energia solar, eólica, etc. Nota-se a baixa utilização de carvão (vegetal ou mineral), e alta representação de biomassa e energia hidráulica no Brasil em comparação ao resto do mundo na Figura 2.

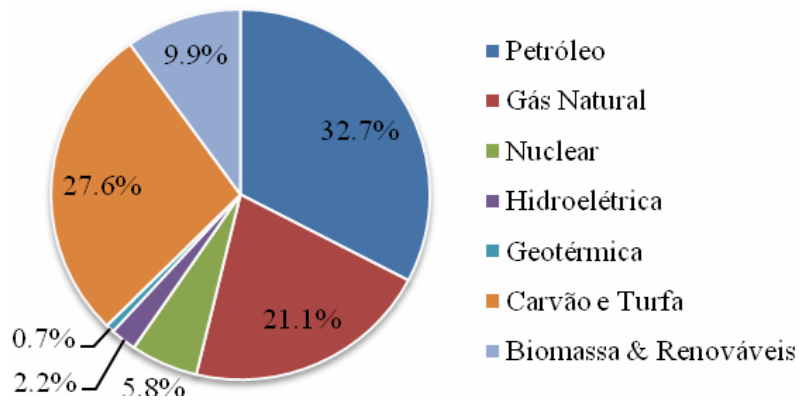
Figura 1 – Uso de energia no Brasil, 2008



Fonte: IEA, 2010

Segundo Goldemberg e Lucon (2006), a alta utilização e o desenvolvimento em grande escala da biomassa diferenciam o Brasil da média mundial. Este combustível se divide em dois tipos: a biomassa moderna, e a tradicional (IEA, 2009). Biomassa moderna consiste em carvão vegetal (tipicamente de reflorestamentos de eucaliptos) e o etanol. A biomassa tradicional consiste primariamente em lenha, mas também inclui restos agrícolas, esterco, e outros combustíveis tradicionais (EPE, 2010a). Vale ressaltar que a lenha é explorada como fonte de energia predominantemente em quatro setores (ver FIGURA 3): o setor industrial, que representou 26,7% do consumo nacional em 2009, o setor agropecuário com 9,8%, a carvoaria para produzir carvão vegetal com mais 31,7% do consumo, e 30,6% é

Figura 2 – Uso de energia no mundo, 2008



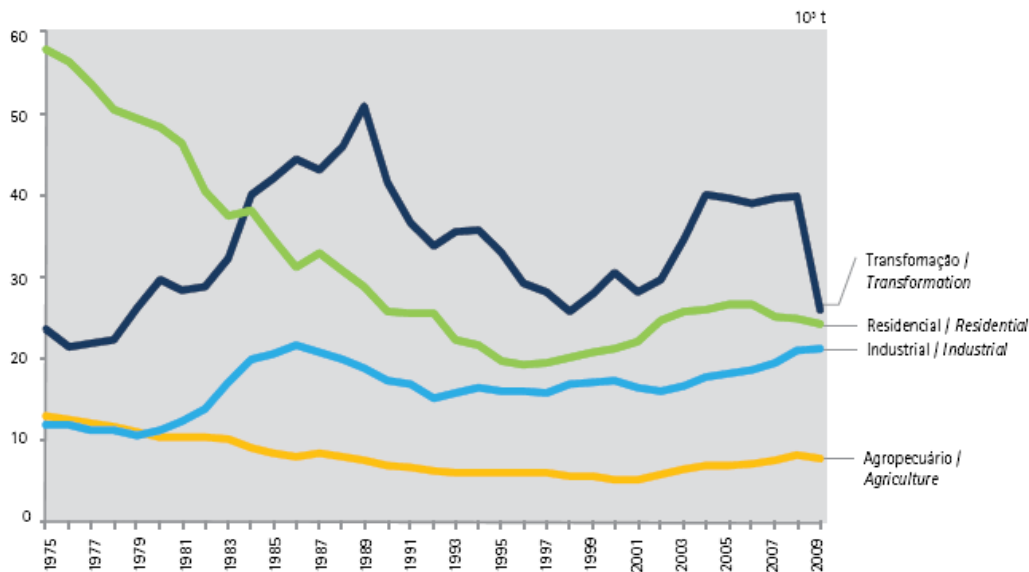
Fonte: IEA, 2010

consumido pelo setor doméstico para a cocção (GOLDEMBERG; LUCON, 2006; EPE, 2010a). Com exceção da carvoaria que usa a lenha como matéria prima para a fabricação do próprio carvão além de uso como combustível, o principal consumidor de lenha como fonte de energia é o setor doméstico (EPE, 2010b). Como todas as fontes de energia de biomassa, exceto a lenha, representam em média menos de 5% do todo o consumo de energia no setor doméstico, seu consumo foi considerado desprezível em relação ao consumo da lenha, que representa entre 30% e 90% de todo consumo residencial de energia no Brasil entre 1970-2009 (EPE, 2010a). Portanto, o foco desta investigação será o consumo de lenha no setor doméstico brasileiro, assim como as causas, tendências futuras e emissões geradas pelo uso de lenha neste setor.

Desde 1970, o uso de lenha como principal combustível no setor doméstico caiu significativamente, sendo substituído em grande medida pelo gás de cozinha, ou gás liquefeito de petróleo (GLP). No início dos anos 70, a queda de consumo da lenha e o aumento do consumo de GLP foram grandes em relação a períodos posteriores, quando a velocidade de substituição se estabilizou (EPE, 2011), ou a tendência se reverteu. Mesmo assim, os dados que tentam apresentar essa tendência divergem muito entre si, (até 800% em certos setores), dificultando sua fácil interpretação (UHLIG, 2008). As tentativas de estimar o consumo de lenha também divergem, e não existe definição universal das variáveis pertinentes¹.

¹ Exemplos de modelos de estimação de consumo de lenha estão em Uhlig (2008) e Bahia (2009)

Figura 3 – Consumo de lenha no Brasil



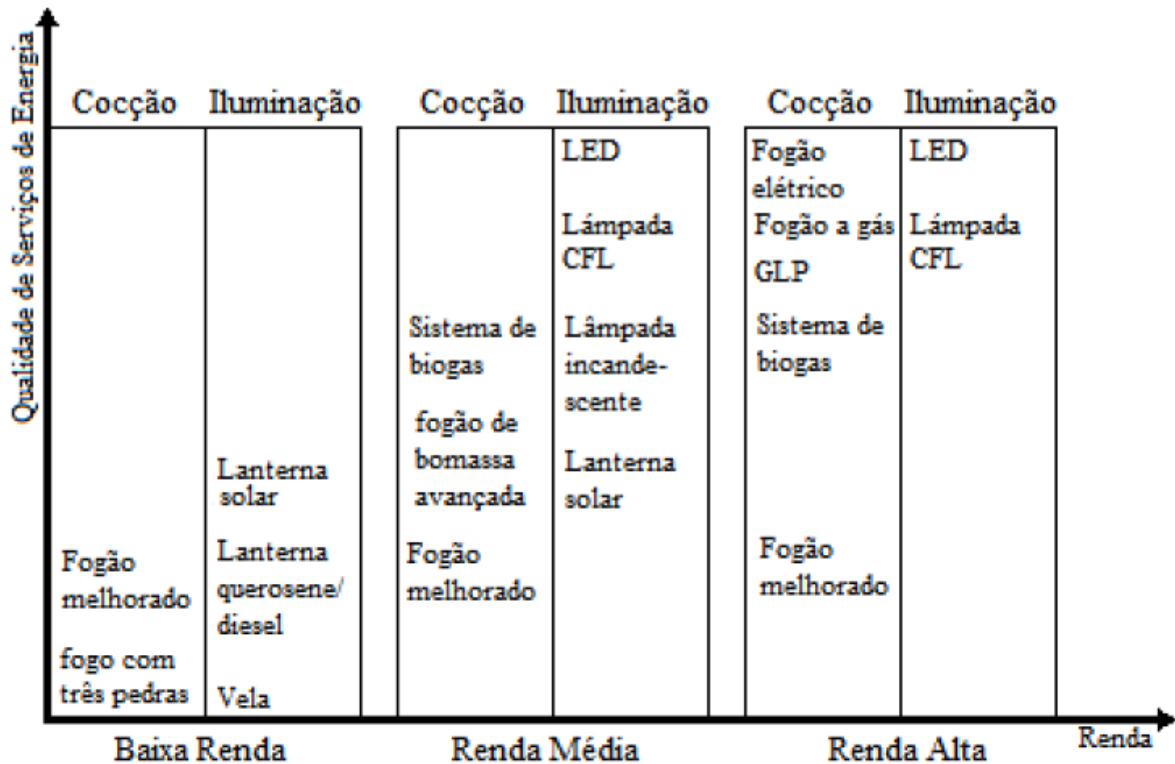
Fonte: BRASIL, 2010a

Em termos gerais, na medida em que a renda média de uma região aumenta, as pessoas tendem a deixar de usar combustíveis tradicionais para usarem outros mais modernos, e sobem na chamada “escada energética”. Por exemplo, o consumidor pode substituir o consumo de lenha pelo carvão vegetal para a cocção e, em seguida, substituir carvão vegetal por produtos petrolíferos e/ou a eletricidade (BARNES *et al.*, 1994). A Figura 4 mostra uma típica escada energética, onde as tecnologias básicas utilizadas pelas pessoas são substituídas por tecnologias mais eficientes. O eixo vertical da figura mede a qualidade do serviço de energia em termos de densidade calorífica e eficiência de queima, e no eixo horizontal, a renda nacional (ou regional) per capita. Pode-se interpretar do gráfico que um país ou região que passa da baixa renda para renda média, por exemplo, deixa de usar o “fogo com três pedras” para utilizar outras tecnologias com cocção mais avançada, tais como o fogão de biomassa avançada, ou sistemas de biogás.

Segundo a teoria, todo país se encontra em algum nível da escada energética, e tende a sofrer um processo parecido no avanço para formas de energia mais eficientes. Entretanto, a escolha do combustível utilizado varia de região para região, e depende da necessidade, disponibilidade, cultura e das preferências de cada população. Exemplos desse fenômeno são a África do Sul, que tende a usar querosene (HELTBERG, 2003), ou ainda a China, onde se utiliza carvão mineral (IEA, 2006, p. 435), visto que todas as alternativas à lenha e a GLP

para a cocção representam porcentagens desprezíveis no setor doméstico brasileiro (EPE, 2011).

Figura 4 – A escada de energia

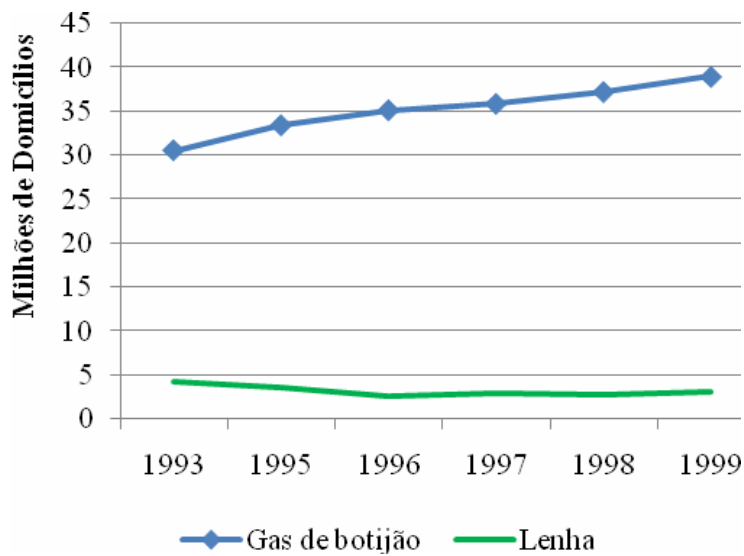


Fonte: WEO, 2010

Apesar de o modelo ser atraente de forma acadêmica, Heltberg (2003, p. 27) evidencia a presença de combustíveis tradicionais (como a lenha) em toda a distribuição de renda. Esse consumo continuado dificulta a interpretação da escada energética, e implica na existência de outras possíveis variáveis, além da restrição orçamentária, que influenciam o consumo de lenha.

Os números oficiais da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) (IBGE 1993–1999; *apud* IBGE, 2011), na Figura 5, mostram a porcentagem de fogões de GLP e lenha em domicílios rurais. Deve-se destacar que, enquanto a presença de fogões a lenha é inferior ao número de fogões a GLP, o consumo total de energia no setor doméstico na última década é parecido. Isto pode ser causado por um entre vários motivos: os fogões utilizados são tipicamente menos eficientes em comparação a modelos de fogões de GLP (IEA, 2006; BRYDEN *et al.*, 2010), então o consumidor de lenha é representada de forma exagerada em

Figura 5 – Número de domicílios com fogão, por tipo



Fonte: PNAD, 1993—1999 *apud* BRASIL, 2009

registros de termos de geração calorífica. Também existe a possibilidade da subestimação do número de domicílios com fogões a lenha, sendo ausentes fogões fixos para a lenha, embora o consumo de lenha represente uma porcentagem considerável do consumo de energia total.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Existem várias estimativas das variáveis que afetam o uso de lenha por estudos teóricos e empíricos, que dependem de observações causais e da intuição em vários países do mundo. Embora vários estudos tenham tentado quantificar o consumo de lenha por setor ou região, não existe consenso sobre as variáveis que determinam o uso de lenha no caso brasileiro, nem consenso quanto à metodologia para prever uso de lenha no setor doméstico.

Além da questão empírica de causalidade sobre consumo de lenha no setor doméstico, existe ausência na literatura em relação às emissões geradas pela queima de lenha pelo setor doméstico. O Brasil é o maior país na América Latina em termos de população (CIA, 2009) e o maior do mundo em estoque de carbono proveniente de floresta em pé, e, conseqüentemente, também por emissões via desmatamento e degradação de recursos florestais (CATTANEO, 2009). Por conseguinte, a diminuição de consumo de lenha como principal fonte de energia pode impactar as emissões no país de forma significativa?

1.2 OBJETIVOS

Em termos gerais, este trabalho tem por objetivo buscar (1) Uma pesquisa da literatura teórica e empírica sobre as variáveis que afetam o consumo de lenha, avaliando o tratamento teórico de comportamento do consumidor rural típico; (2) O teste estatístico da significância das variáveis indicadas no consumo de lenha no setor doméstico via mínimos quadrados ordinários; (3) A estimação da tendência histórica da variação do uso de lenha e outras fontes de energia doméstica para estimar seus valores futuros, empregando a análise auto-regressiva, comparando com outras estimativas feitas na literatura anteriormente; e (4) A quantificação de emissões de CO₂ na linha de base calculada pela previsão do consumo de lenha.

Objetivo 1, que focaliza nos aspectos teóricos da pesquisa, pode ser subdividido nos seguintes sub-itens:

- (1.1) A sintetização de conclusões quanto às variáveis que afetam o consumo de lenha na área rural, segundo a bibliografia geral;
- (1.2) A modelagem do comportamento do consumidor rural, visando avaliar criticamente modelos na literatura com aplicabilidade no caso brasileiro e *insights* para a análise empírica; e
- (1.3) Um tratamento das vantagens e desvantagens do consumo de lenha e a biomassa em geral.

O objetivo 2 testará as conclusões do levantamento bibliográfico na realização do objetivo 1 segundo a metodologia de regressão linear e correlação entre várias variáveis escolhidas, com o objetivo de isolar e quantificar as variáveis que afetam o consumo de lenha. As conclusões servirão para verificar ou contradizer a suposta não-complementariedade entre as fontes de energia, e interpretar os sinais e resultados da regressão.

A realização do objetivo 3 inclui os seguintes passos para a análise de dados e construção de previsões nacionais:

- (3.1) Escolha das séries mais relevantes sobre o uso de energia rural, a nível nacional;
- (3.2) Análise das séries escolhidas para estabilidade, nível de integração, e equação estimada;

(3.3) Previsão para os próximos 10 anos sobre o consumo de cada fonte de energia pelo setor doméstico, em comparação com previsões na literatura.

Os resultados encontrados na realização dos objetivos 2 e 3 serão cruciais para estabelecer uma linha de base para a realização do objetivo 4, o cálculo de emissões de carbono com a evolução energética. A incorporação do resultado do objetivo 2 possibilitará a avaliação das alternativas que possam diminuir ainda mais as emissões e adiantar o processo de adaptação de novas fontes de energia.

1.3 HIPÓTESES

Na realização desta pesquisa, pretende-se identificar as variáveis mais relevantes que estão correlacionadas ao consumo de lenha como combustível. Visa-se também enxergar as tendências de médio prazo para o consumo das principais fontes de energia doméstica, e usar os resultados para avaliar medidas que visem influenciar o consumo de lenha no setor doméstico rural, para estimular uma diminuição líquida de emissões de CO₂ além da linha de base proveniente da queima de lenha, ou outros fins políticos. As hipóteses são três: (i) Existem fatores além da renda que influenciam o consumo de lenha, tais como a urbanização e preço de GLP, (ii) O consumo de lenha pelo segmento residencial no Brasil subirá no curto a médio prazo, e (iii) O segmento residencial contribui para as emissões nacionais de forma significativa com a queima de lenha para a cocção.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

Seguindo este capítulo de introdução, no capítulo 2, realiza-se um levantamento bibliográfico e teórico sobre o comportamento do consumidor rural representativa, para lograr os itens pertencentes ao objetivo 1, descritos acima. O objetivo é identificar o maior número de variáveis que afetem o consumo de lenha no setor doméstico. Já no capítulo 3, será testada a correlação entre o consumo de lenha nacional e as variáveis escolhidas no capítulo 2, para alcançar os itens do objetivo 2. Já no capítulo 4, são apresentados e aplicados os principais modelos estatísticos utilizados para a identificação de tendência de uso de lenha e outras fontes de energia, para a realização do objetivo 3. Começa-se por uma explicação das séries utilizadas e os modelos e métodos utilizados. Em seguida, realizam-se testes de estabilidade e integração para montar uma função de estimação apropriada, e então gerar uma previsão de

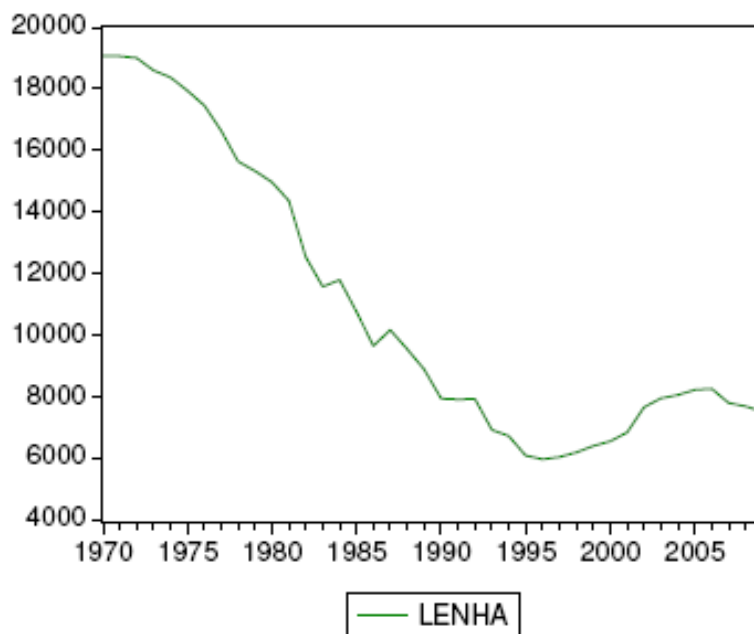
consumo para os próximos 10 anos de cada série através de estimação de auto-regressão univariável. Os resultados da previsão serão utilizados para estimar a linha de base de emissões de CO₂, dada a variação no consumo de lenha. Esta linha de base poderá ser comparada ao impacto de eventuais iniciativas públicas e privadas estimado pelos resultados da análise de regressão, para calcular o valor de emissões evitadas, em cumprimento com o objetivo 4. Termina-se com uma revisão das principais conclusões do trabalho e extensões potenciais para pesquisa futura.

2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E MODELAGEM HEURÍSTICA

2.1 VARIÁVEIS QUE AFETAM O USO DE LENHA

Avalia-se neste capítulo as possíveis variáveis exógenas que afetam o consumo de lenha ao longo do tempo para explicar o consumo do setor doméstico brasileiro. Como se vê na Figura 6, houve uma queda no uso de lenha entre 1970 e 1995 a taxas decrescentes, um período estável entre 1995-1996, e de crescimento relativamente moderado até 2001, e um último ponto de inflexão em 2006 e queda nos últimos anos.

Figura 6 – Consumo de lenha, setor doméstico, Brasil



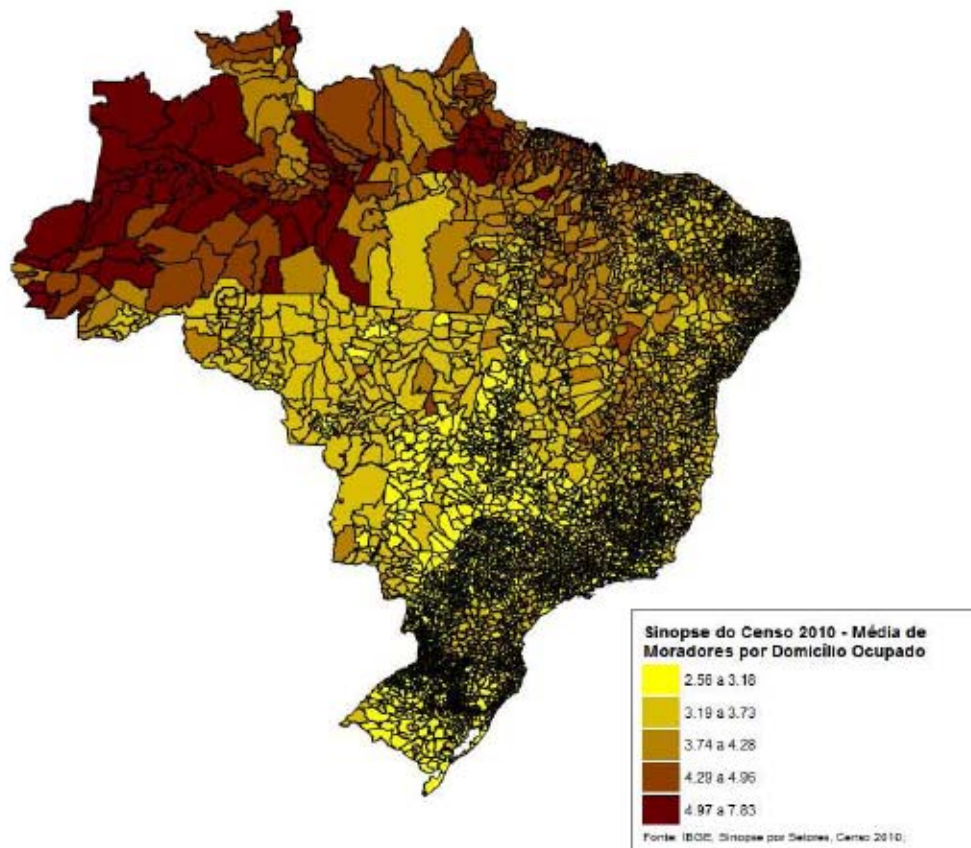
Fonte: BRASIL, 2010b

São diversas as variáveis que influenciam o uso de biomassa como principal fonte de energia. Segundo a *International Energy Agency* (IEA), (i) a disponibilidade de combustíveis, (ii) sua acessibilidade e a acessibilidade a um novo fogão, e (iii) as preferências culturais são as três determinantes “mais importantes” para que ocorra a transição de combustíveis tradicionais para energias mais modernas. Na explicação do IEA, caso não sejam estabelecidos sistemas de distribuição de combustíveis modernos, ou o fogão novo seja inacessível, os domicílios não podem consumir o novo combustível, mesmo se tiverem recursos financeiros suficientes.

Em 2003, Heltberg (2003) realizou uma pesquisa para testar as variáveis que afetam a escolha

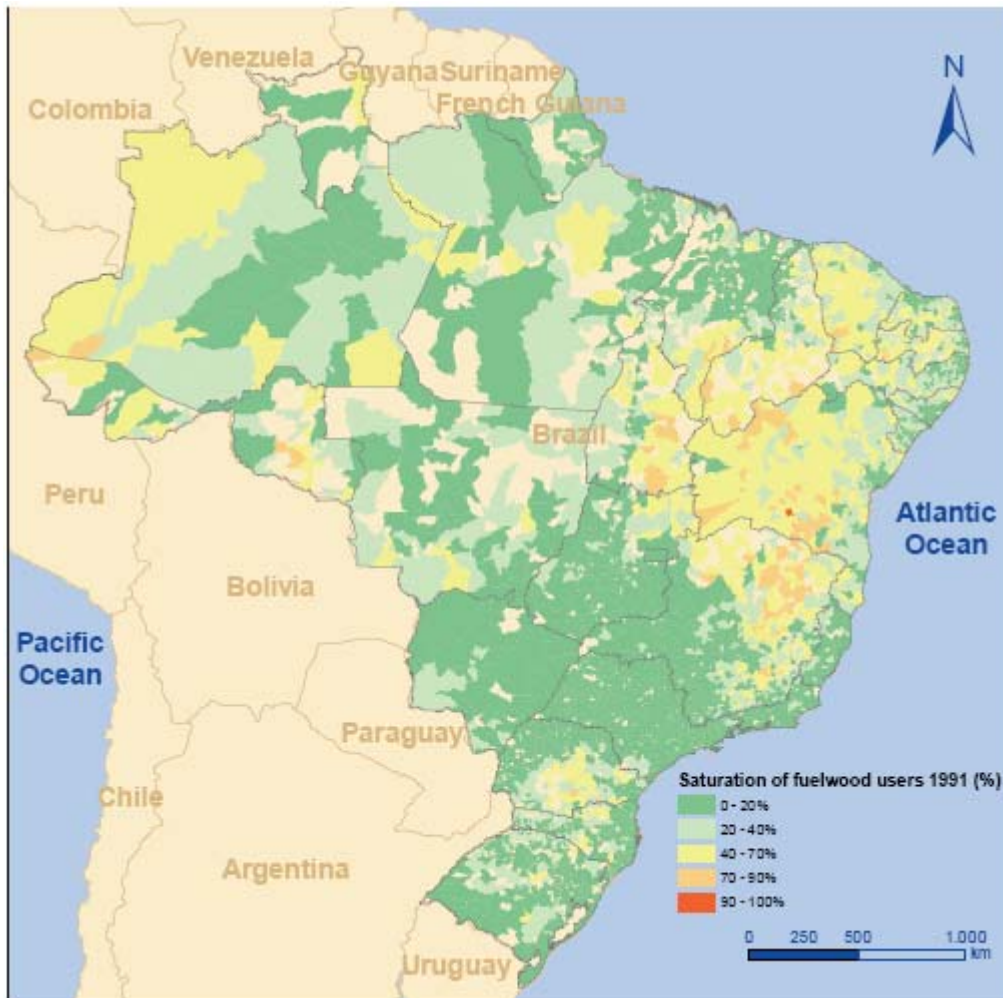
de combustíveis domésticos em oito (8) países em vias de desenvolvimento, em quatro (4) continentes, inclusive o Brasil. Segundo a pesquisa, o consumo de combustíveis modernos foi positivamente relacionado com gastos per capita. Enquanto isso, a urbanização, o nível de eletrificação, nível de escolaridade, a disponibilidade de água de torneira em todos os países pesquisados, e o uso de combustíveis sólidos foram negativamente relacionados com as mesmas variáveis. Evidenciou-se, também, através de um efeito de substituição em resposta aos preços relativos entre os combustíveis, como bens substitutos. Os autores verificaram que na área rural do Brasil, as mesmas relações se mantinham com Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), mesmo na presença de outras variáveis explicativas, e que o número de tipos de combustíveis utilizados flutuou positivamente com o tamanho da família (ver FIGURAS 7 e 8). Deve-se destacar que o uso de GLP foi relacionado com o nível de escolaridade apenas da mulher, e não do chefe da família.

Figura 7 – Média de moradores por domicílio ocupado



Fonte: BRASIL, 2010b

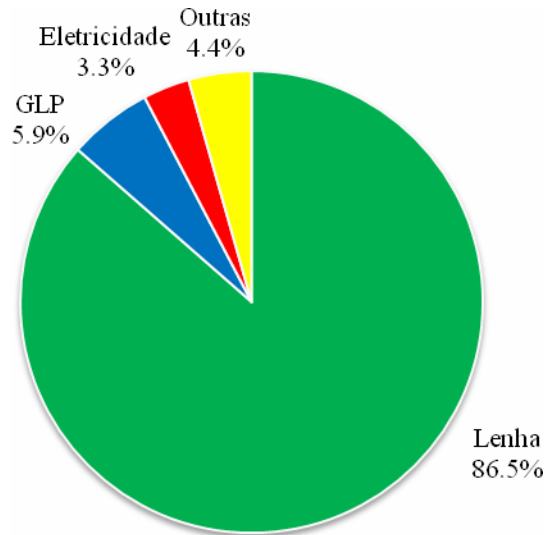
Figura 8 – Uso de lenha no Brasil



Fonte: UHLIG, 2008

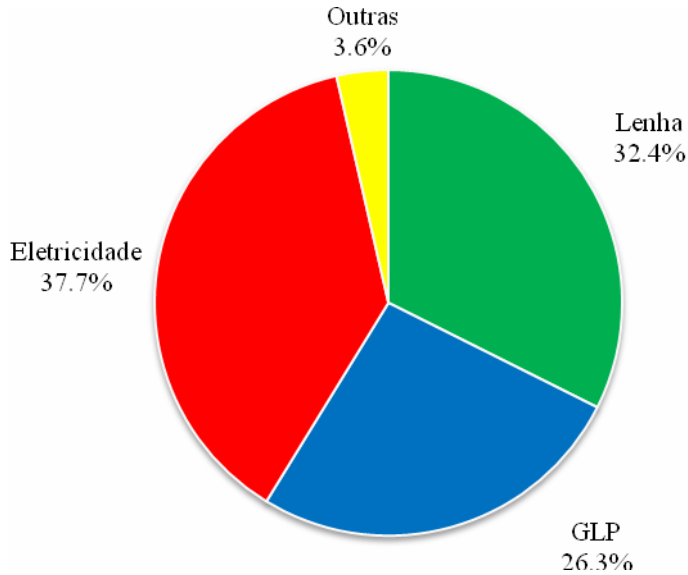
A Figura 7 mostra o número de pessoas por domicílio; as cores mais claras representam uma média menor e cores fortes, médias maiores. Verifica-se que o sul, sudeste e as áreas litorâneas têm tipicamente um número menor de habitantes por domicílio, e as regiões do norte e nordeste, e em particular a região noroeste, têm uma média maior de habitantes por domicílio. Na Figura 8, as regiões vermelhas e alaranjadas têm uma proporção maior de população que usa lenha, e o inverso é a verdade para regiões em verde. Torna-se evidente que as regiões com um número menor de pessoas por domicílio (sul e sudeste) tendem a representar uma proporção menor de consumidores de lenha, e o inverso acontece nas regiões do interior e do nordeste. Antes de estas observações serem verificadas com análise estatística no capítulo 3, deve-se lembrar que pode existir uma correlação entre as variáveis (espúria ou não), e/ou os dois são correlacionados com uma terceira variável ainda não identificada, como a renda.

Figura 9 – Consumo de energia pelo setor doméstico, 1970



Fonte: BRASIL, 2010a

Figura 10 – Consumo de energia pelo setor doméstico, 2009



Fonte: BRASIL, 2010a

2.1.1 GLP: preço relativo, subsídio e uso

Em estudos nacionais e internacionais, existe evidência empírica de que a lenha e o GLP se comportem como bens substitutos, e sendo assim, o uso de lenha é influenciado pelo preço de

petróleo (NIEZ, 2010). Como se vê na Figura 9, na década de 1970, 90,4% do consumo total da energia no setor doméstico foi proveniente da lenha, e representou 46% do consumo total de energia no Brasil de todos os setores (BRASIL, 2010a). Em 2009, a lenha representou apenas 32,4% do consumo de energia pelo setor doméstico, e 8% de todos os setores, queda causada principalmente pela substituição de GLP por lenha no setor doméstico (BRASIL, 2010c). A penetração do GLP no Brasil é impressionante: 98% dos brasileiros têm acesso ao gás da cozinha, e em áreas rurais, GLP chega a 93% dos domicílios (JANNUZZI, 2004). Porém, é importante ressaltar que a biomassa tradicional continua ocupando grande parte da matriz energética do Brasil, principalmente no setor doméstico, como mostrado na Figura 10.

Se GLP e a lenha são bens substituíveis para a cocção doméstica e os dois são acessíveis à população em geral, é o consumidor quem escolhe qual combustível deve usar segundo suas preferências e custo relativo de cada um. Existe um *trade-off* (troca) razoável para populações rurais, dado o fácil acesso a gás. Se os dois são bens de consumo normais e substituíveis, quando o custo relativo de um combustível aumenta, sua quantidade demandada deve diminuir na medida em que a quantidade demandada da outra aumenta. Esta conclusão da relação inversa entre as fontes de energia segue diretamente da teoria de escada de energia exposta na introdução, apoiada pela evidência empírica (HELTBERG, 2003).

2.1.2 Programa Auxílio-gás

Em 2001, durante uma tentativa de liberalizar o mercado de petróleo, o governo do Brasil encerrou o subsídio de longa data no GLP. Para atenuar o câmbio desfavorável e o aumento do custo de petróleo, o programa Auxílio-Gás, conhecido popularmente como vale-gás, foi inaugurado em 24 de janeiro de 2002. Esta decisão visou apoiar famílias com renda abaixo da metade de um salário mínimo sem causar distorções no mercado inerentes a controles de preços e subsídios mais generalizados (PINHEIRO; FERREIRA, 1997). Não obstante, o programa de vale-gás não foi suficiente para substituir o subsídio à indústria prevaiente até então. Sendo assim, o fim dos subsídios industriais em 2001 levou ao aumento imediato de 17% no preço de mercado de GLP, e uma queda concomitante de 5,3% em consumo doméstico do mesmo. A alternativa mais próxima ao GLP seria o gás natural liquefeito (GNL), que foi responsável por apenas 16% da queda no consumo de GLP. Enquanto isso, a lenha foi responsável por grande parte do restante dos 84%, o que a evidencia como substituto potencial para GLP (BRASIL, 2010a *apud* JANNUZZI, 2004).

Ao longo do tempo, a ajuda do vale-gás perdeu força, enquanto o custo relativo do GLP para as famílias subiu. Quando o programa vale-gás foi inaugurado durante a administração de Fernando Henrique Cardoso, 8,5 milhões de famílias recebiam R\$15 por mês—valor estimado pelo governo em relação à duração de um botijão de 13 kg de GLP. Em contrapartida, o preço internacional de petróleo, grande determinante do preço de GLP, quase triplicou desde a inauguração do programa em 2002 até 2006. Entre apenas janeiro e julho de 2002, o preço de petróleo foi reajustado em 63,8% (ESP, 2006). Ao mesmo tempo, estima-se um aumento no preço real de GLP de aproximadamente 60% entre 2000 e 2002, mas não houve alteração alguma no valor de face do vale-gás (PAMPLONA, 2006).

O programa de vale-gás foi incorporado em outubro de 2003 ao Programa da Bolsa-Família (PBF) durante o primeiro mandato Lula, mas os dois continuaram em paralelo dadas as diferenças de elegibilidade. Em 2003, 9 milhões de famílias receberam o vale-gás, em comparação com apenas 1 milhão de beneficiários do PBF. Porém, apenas 230 mil famílias fizeram parte da conclusão oficial do programa vale-gás, em 31 de dezembro de 2008, em comparação com os 11 milhões no PBF (MDS, 2008). Naquele momento, o PBF foi aberto para todos com renda familiar mensal abaixo de R\$ 120, enquanto o programa vale-gás mantinha o requerimento anterior de 1/2 do salário mínimo, ou aproximadamente R\$ 175 (ESP, 2006).

2.1.3 Eletrificação

Em estudos mundiais, o uso de GLP tende a ser negativamente correlacionado com o uso de lenha, e positivamente correlacionado com a taxa de eletrificação. Heltberg (2003) procurou estabelecer os motivos pelos quais a eletrificação causaria mudança no uso de lenha para GLP em oito países, inclusive o Brasil—não sendo evidente *a priori* o efeito da iluminação ou presença de eletrodomésticos de modo a favorecer o GLP. Uma amostra, em que todos os membros tinham acesso a GLP e eletricidade simultaneamente, também mostrou relação entre as duas energias em todas as áreas de pesquisa, evidenciando uma relação além de questões da oferta. O resultado pareceu robusto, mas os autores não ofereceram raciocínio econômico pelo comportamento observado. Em áreas urbanas brasileiras, menos de 1% das casas não têm eletricidade e existe acesso quase universal a gás de cozinha, dificultando a comparação neste eixo entre áreas rurais e urbanas (HELTBERG, 2003).

Durante o período estudado, o governo federal realizou a ampliação contínua da rede elétrica através de dois programas: Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e de Municípios (PRODEEM) e o Luz no Campo (LnC), e a partir de 2003, os dois programas foram fundidos no projeto Luz para Todos (LpT) para eletrificar todo o país. O governo federal passou a considerar a eletricidade como serviço básico e assumiu a responsabilidade primária pela expansão com grande força política, alcançando uma taxa de eletrificação de 97,8% em 2009 (NIEZ, 2010), 99,5% em áreas urbanas e 88% em áreas rurais (IEA, 2009). Desde 1980, a taxa média de crescimento de geração de eletricidade foi de 4,2%, sendo 70% em forma de energia hidrelétrica (GOLDEMBERG; LUCON, 2006).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2010a), o uso de eletricidade mantém uma tendência positiva durante os anos de 1970 até o momento. Houve queda abrupta em 2001/2002, associada com o rateio de energia para manter os preços de eletricidade, em resposta à diminuição maciça de oferta de potência hidrelétrica, causada pelo baixo volume de água nos rios como resultado da falta de chuva no verão e outono de 2001 (CAVALCANTI; KOUSKY, 2001). Como mencionado na seção 1.2, 76,9% da eletricidade brasileira é proveniente de fontes hidrelétricas e chega a até 85% do consumo com a inclusão da importação de eletricidade (BRASIL, 2010a). Portanto, a variação da quantidade de água nos rios terá efeito direto na quantidade de eletricidade produzida.

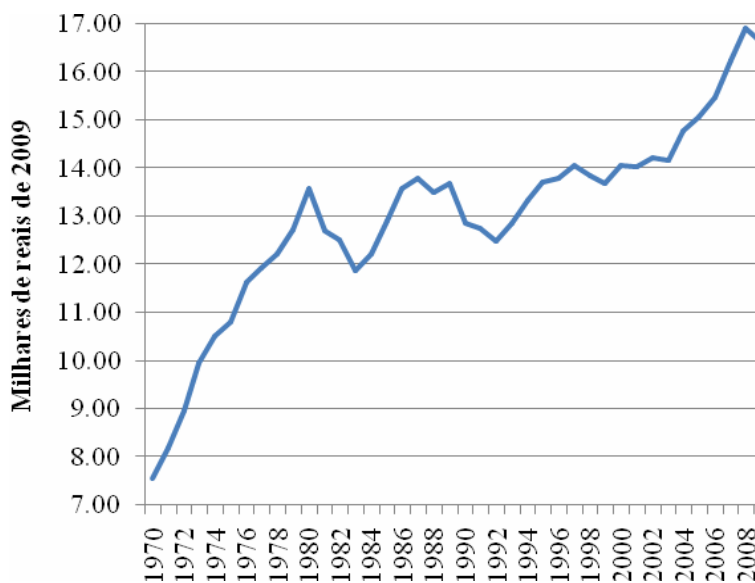
2.1.4 Produto Interno Bruto per Capita

Durante o período estudado, a energia total consumida no Brasil cresceu em conjunto com o crescimento populacional. Segundo dados da EPE (BRASIL, 2007), entre os anos 1970-2006, o uso de energia triplicou, de 70 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep) para 190 milhões de tep—intervalo durante o qual a população cresceu de 93 milhões de habitantes para 190 milhões (mais do que o dobro) (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Isto significa que o uso de energia por habitante passou de 0,75 para 1,12 tep per capita, um crescimento de 48,5% durante o período, ou crescimento médio de aproximadamente 1,10% na base anual. Isso se compara com o crescimento anual médio de PIB/capita de 3,5%, uma taxa levemente maior nos anos 1970, e menor a partir de 1980. Em termos gerais, os períodos de maior crescimento econômico coincidiram com os que tinham o maior crescimento no consumo de energia (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Mesmo desde 2007 até 2011, quando houve menor crescimento do produto nacional, o consumo total de energia

continuou a crescer graças ao impulso de políticas nacionais, através de um efeito da renda causada pela diminuição de impostos de certos produtos elétricos em resposta da crise econômica de 2008/2011 (BRASIL, 2010a).

Segundo o modelo de escada de energia elaborado no capítulo 1, e entendendo o PIB per capita como renda nacional por habitante, quando a renda aumentar, mais provável será a utilização de combustíveis modernos (WEO, 2010). Entende-se, portanto, que formas de energia mais baixas na escada de energia sejam bens inferiores à fonte diretamente acima. A lenha, por exemplo, será um bem inferior se comparada ao GLP, mas superior aos resíduos agrícolas ou esterco. Levando em consideração que fontes tradicionais sejam tipicamente menos eficientes, famílias de baixa renda tendem a dedicar mais do seu orçamento mensal para energia (ou no caso de biomassa, gastam mais tempo).

Figura 11 – GDP per capita anual, Brasil



Fonte: IPEA, 2011

2.1.5 Inflação Nacional

Segundo o *mainstream* de economia, a taxa esperada de inflação afeta as decisões temporais dos consumidores por adiar ou adiantar o consumo. No contexto da expectativa de inflação em alta, a decisão de gasto em consumo e poupança favoreceria o consumo no corrente momento para evitar prejuízo do poder de compra. Em um primeiro momento, espera-se que

o aumento na renda nominal provoque antecipação de consumo (PEREIRA; NAKANO, 1991). O “efeito de substituição” deve beneficiar a substituição de consumo de bens duráveis por consumo de bens de consumo não-duráveis e produtos financeiros, como a poupança (SPRINGER, 1977). A rigidez nos preços pode parecer uma queda dos preços reais para o consumidor e também estimulará compra—fato evidenciado por pesquisas de controle dos preços em períodos de inflação (HELPMAN, 1988).

Por outro lado, o consumidor é influenciado pela ilusão monetária (a tendência de pensar em termos nominais em vez de termos reais (PEREIRA; NAKANO, 1991)), e a incerteza sobre a renda futura, o que pode provocar a revisão para baixo das compras correntes (SPRINGER, 1977). Como a inflação pode ter impacto no consumo, inclui-se uma variável para medir a variação em decisões de consumo de combustíveis dada a variação do nível de preços para todos os bens, exagerando ou compensando pela alta ou queda no preço de GLP. A hipótese sobre este aspecto segue a literatura geral que (i) o não sofrimento da ilusão monetária por parte do consumidor, e investimento em bens duráveis aumenta, enquanto o consumo relativo em bens de consumo cai, (ii) o incentivo da alta nos preços para o consumo de fontes de energia no mercado paralelo, como por exemplo, a extração vegetal de floresta de fácil acesso, beneficia o consumo de lenha e provoca queda no uso de GLP, e (iii) a diversificação dos tipos de combustíveis utilizados, para diminuir a exposição às flutuações nos preços de certos combustíveis.

2.1.6 Variável *dummy* pra a seca de 2001

A seca de 2001 causou queda exagerada no consumo de eletricidade (CAVALCANTI; KOUSKY, 2001) através de rateio de energia, e os chamados *rolling blackouts*, ou períodos curtos de apagões intencionais. Segundo Heltberg (2003), existe uma relação entre o consumo de eletricidade e o consumo de GLP; e através dessa relação, pode ocorrer alta no uso de lenha naquele ano. Por isso, uma variável *dummy* em 2001 foi relevante.

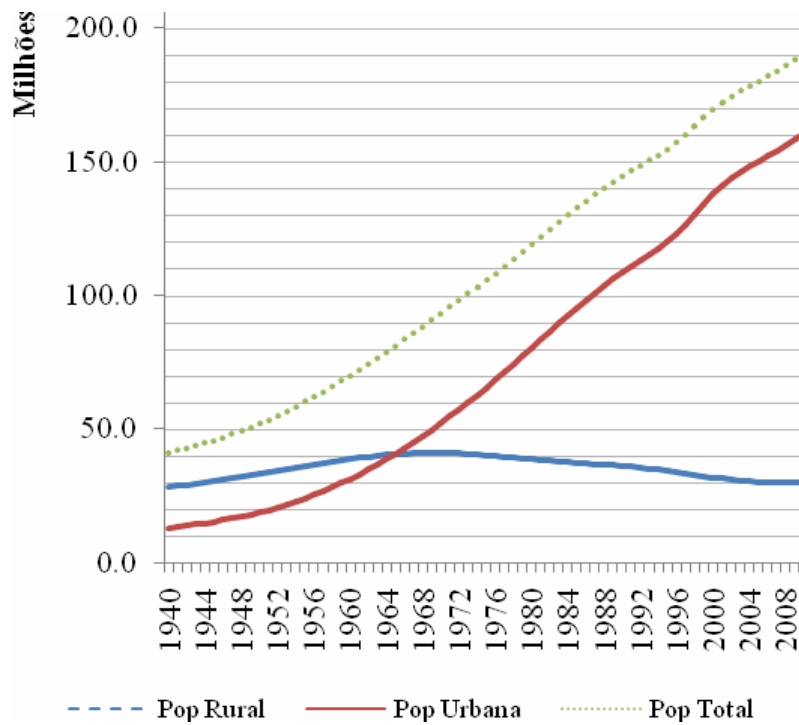
2.1.7 Taxa de urbanização

No Brasil, 10% da população dependem da lenha como principal fonte energética para a cocção, medida estimada que deve se manter para os próximos anos (IEA, 2010). Segundo uma pesquisa pelo Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de GLP (*apud* IDER,

2010), 38% das residências usa um fogão a lenha como principal instrumento de cocção, e, em áreas rurais, a proporção supera 50% (VALLADARES, 2008). Essa realidade é predominante nas regiões norte e nordeste, onde a lenha é o principal combustível usado para cocção entre famílias nas áreas rurais, geralmente queimada em fogões rudimentares e ineficientes.

A Figura 12 mostra a variação em população rural, urbana e total em termos nominais de milhões de pessoas. A população rural chegou ao ponto máximo de 41 milhões de pessoas em 1969, e depois caiu em termos reais até 2009, quando se estabilizou. Para ampliar o entendimento dinâmico populacional no Brasil, aplicou-se a primeira diferença nas três taxas, e o resultado é apresentado na Figura 13. Olhando a linha da população rural demarcada no eixo direito da figura, fica evidente seu crescimento até o início da década de 70, sendo que depois começou a recuar e trocou de sinal. A variação populacional chegou ao seu ponto mínimo em 1999, na última década começou a mudar, e virou positivo em 2009. A linha de crescimento populacional urbano teve comportamento diferente, mas não oposto—ficou positivo durante todo o intervalo, e acelerou entre 1940 e 1984. Entre 1984 e 1999, a variação da população urbana oscilou até chegar a seu ponto máximo no final do intervalo. A variação caiu fortemente a partir de 2000, o que correspondeu à subida da variação populacional rural. Houve retomada de crescimento no ano de 2007, que corresponde a crescimento no âmbito rural também.

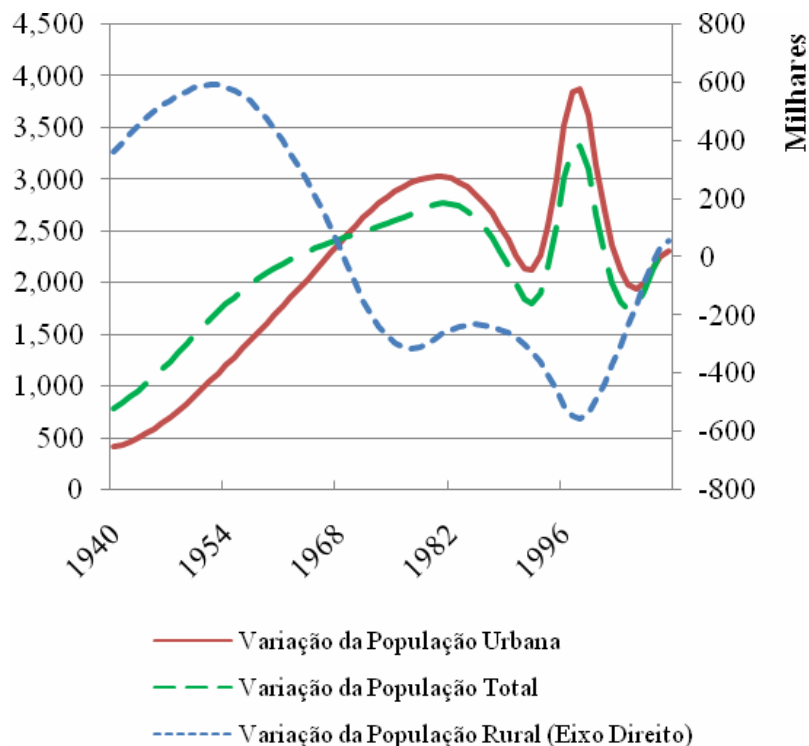
Figura 12 – População rural, urbana e total no Brasil



Fonte: Elaboração próprio, dados do IBGE, 2011

Esta segunda Figura 13 mostra mais explicitamente a tendência de urbanização para crescimento populacional positivo nos dois âmbitos (rural e urbano) ao mesmo tempo. A mudança pode ser causada por variações de fertilidade, mortalidade, migração populacional, ou outras variáveis—a causa dessas variações entre a população vai além do objetivo do presente trabalho.

Figura 13 – Variação populacional



Fonte: Elaboração próprio, dados do IBGE, 2011

2.1.8 Habitantes por domicílio

A variação de combustíveis utilizados, modernos e sólidos, tende a ser correlacionada positivamente com o tamanho da família (HELTBERG, 2003). Ou seja, quanto maior a família, mais provável que use GLP em conjunto com outros combustíveis. A variação de energias utilizadas aumenta a segurança energética, não sendo vulnerável a flutuações de preços ou serviço não confiável (WEO, 2011).

2.1.9 Variáveis de difícil medição

Considerações financeiras de consumo de combustíveis é apenas uma entre muitas variáveis que afeta a escolha de combustível utilizado, já que famílias em várias faixas de renda ainda utilizam biomassa em algum grau, especialmente em áreas rurais (HELTBERG, 2003). A disponibilidade local, as preferências, e a tradição também têm um papel importante nesta escolha. Na África do Sul, Nepal e na Índia, por exemplo, existe alto consumo de querosene e parafina (IEA, 2010; HELTBERG, 2003), mas estes combustíveis nunca superaram

representação maior de 6,4% no setor doméstico brasileiro no período de estudo, de 1970 até 2009 (BRASIL, 2011e).

Segundo dados do Brasil (2010a), entre 1984 até 2004, o consumo de lenha diminuiu de forma abrupta, devido principalmente à substituição de fogões a lenha no âmbito rural por modelos que usam primariamente combustíveis mais eficientes (inclusive aparelhos elétricos e/ou fogões a gás), sem explicação precisa sobre o processo para causar tal variação, seja sociológica ou não. De qualquer forma, é pouco provável que qualquer diminuição do uso de biomassa como fonte de energia resulte na cessação total do uso de lenha como fonte energética na cocção por motivos além da restrição orçamentária. As preferências, a cultura e a familiaridade (ou *incumbency*) com a lenha garantirá que permaneça na cesta de bens consumidos pela família brasileira.

Estimativas anteriores feitas pela IEA estimam que 10% da população brasileira dependem da biomassa para a cocção, uma porcentagem que se manterá até 2015, e diminuirá para 8% da população nacional até 2030 (IEA, 2010). Embora seja uma taxa menor à média da América Latina como um todo (24% e 17% em 2008 e 2030, respectivamente), a IEA estima crescimento relativo na representação do Brasil no continente (dada a distribuição populacional atual entre os países) e crescimento absoluto em termos de população que dependem da lenha.

2.2 COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR RURAL

Modelos na tradição neoclássica surgiram para descrever o comportamento maximizador do consumidor rural para a maximização de bem estar (*welfare*), *vis à vis* a saúde segundo modelagens do tipo de Larson (2000), ou distribuição de tarefas entre os membros do domicílio, como no modelo de Pitt (2005). O objetivo desta seção será a avaliação destes dois modelos, com interpretação da aplicabilidade no caso brasileiro. As premissas implícitas e explícitas são elaboradas e criticadas depois da formalização dos modelos, mas destaca-se certas premissas *a priori*:

1. Consumidores procuram maximizar a utilidade, onde a função de utilidade é definida explicitamente por cada modelo;

2. A função de utilidade é convexa, contínua e monotônica²;
3. A tecnologia de cocção que utiliza a lenha é sub-ótima, e gera fumaça com impactos negativos à saúde, melhor elaborado na seção 3.

O modelo elaborado por Pitt (2005) foca a saúde como principal variável de preocupação para a maximização da utilidade para o consumidor rural, mas dá ênfase à distribuição de tarefas dentro do domicílio em vez do consumo de tecnologias energéticas. O tempo gasto para a cocção é considerado deletério para a saúde por causa da inalação da fumaça gerada da queima de lenha e, por conseguinte, a produtividade de trabalho agrícola é afetada de forma adversa. Segundo Pitt, esse efeito estimula especialização nas tarefas, e leva à concentração de efeito negativo na saúde em poucos ou um único membro da família, frequentemente o menos “dotado de saúde”. Sob a premissa que só as mulheres cozinham, em termos formais, afirma-se:

$$h_{fi} = h_f(t_c, x_f) + \mu_{fi}, i = 1, K$$

onde a saúde total h_{fi} de indivíduo i de um total de K mulheres será uma função do tempo gasto com a cocção (t_c), a cesta de bens de consumo x_f e um termo aleatório de dotação de saúde μ_{fi} , onde o subscrito f representa mulher.

Levando em consideração as principais conclusões de Pitt, elabora-se o modelo de Larson (2000), que supõe que a distribuição de trabalho dentro de cada domicílio leve a mulher a cozinhar e o homem a dedicar-se à agricultura ou outro trabalho não doméstico por questões culturais, sem grande elaboração ou explicação. O modelo de Larson também presume que o objetivo primário do domicílio para gerar utilidade seja a maximização de saúde, e as preferências para quantidade de comida consumida, o combustível utilizado, o consumo de bens, entre outros, sejam formulados procurando incrementos na saúde. Implícito neste suposto é que todo consumidor tem toda a informação disponível sobre os efeitos positivos e negativos na saúde de todas as variáveis citadas. O consumidor consegue a maximização através de quatro variáveis: a produção de bens e saúde, a alocação de tempo, o consumo de bens, e incrementos na renda. A função de produção de saúde liga o consumo de vários bens,

²“pelo menos a mesma quantidade de um bem é pelo menos tão boa”, tradução própria (VARIAN, 1992).

serviços de saúde e, mais importante para nossa aplicação, a tecnologia de queima e combustível à saúde.

A função de utilidade da cocção V depende da tecnologia de queima utilizada, α , e a eficiência dessa queima, β , a renda S e um vetor Z que representa uma cesta de outros bens. A variável α é representada pela intensidade de emissões geradas pelo combustível (emissões de matéria particulada (PM) por quilograma (kg) de lenha, por exemplo) e β a intensidade energética por kg de lenha (toneladas equivalentes de petróleo (tep) por kg de lenha, por exemplo). Presume-se uma função negativa em α e positiva em β , S , e Z :

$$V = V(\alpha, \beta, S, Z);$$

$$\frac{\delta V(\cdot)}{\delta \alpha} < 0;$$

$$\frac{\delta V(\cdot)}{\delta \beta} > 0.$$

Segundo esta abordagem, o benefício incorrido por assumir outra tecnologia de cocção que influencia a eficiência da queima da biomassa (queda em α), incremento em eficiência (alta de β), ou uma combinação, pode ser quantificada através de variações em S , e a queda máxima em S que o consumidor estiver disposto a aceitar para o incremento em utilidade (saúde, no caso) representará o benefício da nova tecnologia. Se o benefício é denominado B , em termos formais, temos $V(\alpha', \beta', S - B, Z) = V(\alpha, \beta, S, Z)$.

Na aplicação prática, se B for maior que custo da incorporação da nova tecnologia, o consumidor racional a adotaria. Para estimar o valor de B , Larson encerra esta modelagem com a estimação de preços-sombra, denominado P , para determinar a vontade marginal de pagar por incrementos na saúde por variações em α e β : $\hat{B} = P_\alpha * \alpha + P_\beta * \beta$.

Este modelo foca no suposto de utilização de lenha (ou biomassa) sem fazer uso de outros combustíveis para a cocção. Também, a restrição orçamentária foi tão restritiva que não permite a compra de combustíveis (ou, de forma análoga, permite apenas transferências de um centro populacional por parentes para o consumo de outros bens, a não ser combustível). O suposto da concentração de consumo de combustíveis não acorda com a realidade

brasileira, dada a distribuição quase universal de GLP no país (acima de 94%), e alta penetração de fogões de GLP (entorno de 90% hoje em dia). Portanto, qualquer tratamento teórico do caso brasileiro deve destacar o consumo do bem “combustível não sólido” na cesta de bens consumíveis, com relação inversa ao consumo de lenha, e descartar o suposto de nova incorporação de tecnologias avançadas.

Os modelos formais na literatura faltam incorporar custos de oportunidade de forma adequada, e aspectos não monetários na análise, como sugerido por Heltberg (2003). Por exemplo, a escolha de uso de lenha obriga a colheita de lenha, e o consumidor incorre o custo de oportunidade de outras atividades lucrativas. Pitt (2005) incorpora considerações de distribuição de tempo, sem elaborar a interligação entre tempo e atividades econômicas alternativas. O motivo de aumentar o consumo (para fins além de questões de saúde) também não é considerado por estes modelos, o que presume objetivos não-simétricos entre consumidores rurais e urbanos. Este suposto de desinteresse no consumo deve ser verificado, que é inaplicável em regiões ligadas pelo menos marginalmente ao consumo de combustíveis fósseis. Também, os dois modelos supõem perfeito conhecimento sobre os impactos na saúde pelo consumo de lenha, e que esse consumo é deletério à saúde no longo prazo. Pode-se confirmar reconhecimento do efeito de curto prazo (irritação nos olhos, problemas respiratórios), mas de longo prazo é menos seguro (câncer de pulmão, enfisema, etc.).

2.3 DEBATE SOBRE O CONSUMO DE LENHA

Na teoria, o uso de biomassa para fins de cocção de alimentos, aquecimento e/ou iluminação pode ser feita de forma a mitigar os impactos negativos na saúde e no meio ambiente. Embora o consumo de combustíveis fósseis adicione mais carbono à atmosfera, e a lenha (ou biomassa mais em geral) produzida por florestas mantidas de forma sustentável gere emissões de carbono que fazem parte do ciclo de carbono global e não adiciona carbono à atmosfera (BERC, 2010), o conceito é que se plante uma árvore por cada uma que se queima.

Além do mais, o Brasil possui as condições necessárias de produção de energias renováveis: terra, condições climáticas favoráveis, poucas restrições de mão-de-obra no setor de energia e agricultura e a tecnologia adequada para reflorestamento para fins energéticos (WALTER, 2006).

O uso de lenha tem a grande vantagem por ser uma fonte renovável, porém é pouco denso em valor energético de 14 MJ por quilograma de lenha seca (com prejuízo de 50% se a umidade aumenta, por exemplo, de 20% para 50% da massa), comparado com 42 MJ por quilograma de petróleo (COUTO, 2004). Isto resultará em custos elevados de transporte e armazenamento, e exige maior concentração de energia para viabilizar a lenha como alternativa a fontes não renováveis, como encontrado nos briquetes de biomassa (COUTO, 2004).

Porém, a atual utilização de lenha não é realizada de forma sustentável, e causa outros desperdícios não ambientais. Frequentemente, a lenha usada não é comprada no mercado, e a procura e o uso dela definem o dia-a-dia em regiões em vias de desenvolvimento no mundo afora, onde mulheres e crianças dedicam várias horas por dia à tecnologia primitiva (KAMMEN, 1995). Este tempo perdido representa um custo direto ao indivíduo que poderia ser vendido no mercado de trabalho formal, informal (com tarefas domésticas como cuidar crianças, entre outras) ou aproveitado para atividades de lazer. É estimado que a metade da população mundial ainda prepare a comida e/ou aqueça a casa com formas de biomassa, seja de lenha, carvão ou esterco, em vez de fontes energéticas mais eficientes (BRUCE; PEREZ-PADILLA; ALBALAK, 2000). A queda no consumo de lenha libera tempo e recursos para investimento, e atividades relacionadas ao desenvolvimento (SANDLER, 1983).

Para mostrar este problema, Uhlig (2008) gerou um mapa nacional que mostra o balanço entre a oferta e demanda em nível municipal, na procura de regiões suscetíveis a problemas de demanda além da oferta, replicado na Figura 14. As regiões mais sensíveis encontram-se em sete (7) estados: Amazonas, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul. Isso diz respeito tão somente a pressões de curto prazo na demanda de lenha como combustível por falta de oferta local, e não exploração madeireira nem a sustentabilidade dessa exploração.

Atualmente, milhões de mulheres e crianças no Brasil são vítimas de poluição causada pela queima ineficiente de biomassa, sendo sujeitas à exposição diária da fumaça, fuselagem e dos gases tóxicos que resultam em doenças respiratórias (sobretudo pneumonia, infecções respiratórias, asma, bronquite e câncer) e problemas de visão (WHO, 2005; BRUCE; PEREZ-PADILLA; ALBALAK, 2000). Segundo estimativas da IEA (2010), 8.928 pessoas morreram no Brasil em 2008 de pneumonia ou doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) por causa

do uso de biomassa, sendo que 70% foram mulheres e crianças, e o número total de mortes deve subir 8,12% até 2015, sem variação na porcentagem de famílias dependentes na biomassa.

Figura 14- Balanço entre demanda e acessibilidade da lenha



Fonte: UHLIG, 2008, p. 35

A poluição do ambiente interno é considerada o segundo problema mais grave do mundo em termos de saúde no meio rural (após o saneamento inadequado/a contaminação de água) e a primeira causa de mortalidade de crianças abaixo de 5 anos (ONU, 2010). É responsável por 1,6 milhões de mortes³ a cada ano (WHO, 2005). Os mais afetados são mulheres e crianças,

³ Algumas estimativas são ainda maiores. Segundo Norberg (2003), O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP) estima 2,2 milhões, ou mais do que 6.000 por dia

sendo que a mulher pode cozinhar por até 6 ou 7 horas por dia, frequentemente com as crianças nas costas (ONU, 2010).

Além destes problemas de saúde, higiene e desperdício de tempo, o consumo de lenha para fins energéticos causa o alto desmatamento e erosão da terra (FAO, 1985), já que são consumidas grandes quantidades de lenha, que é frequentemente retirada das áreas remanescentes de florestas, e seu uso impacta a sustentabilidade das áreas entornas (CAMPELLO; AROUCHA, 2006). Além disso, a queima de lenha para cocção gera “carvão preto”, a substância que mais contribui ao efeito estufa, após o CO₂ (WITKIN, 2011) é responsável por 20% de todas as emissões mundiais (ONU, 2010).

A exploração da lenha como fonte sustentável de energia é possível, mas deve-se implementar seu uso de uma forma a proteger a saúde do consumidor e o meio ambiente. Conforme discussão anterior, o consumo da lenha não significa sustentabilidade, e contribui com mais emissões à atmosfera do que combustíveis fósseis alternativos, se não for recolhida ou produzida de forma sustentável. Os padrões atuais de consumo de combustíveis no setor doméstico rural podem ser melhorados, através da troca para combustíveis menos poluentes, ou a implementação de tecnologias e/ou métodos mais sustentáveis.

3 DETERMINANTES DO CONSUMO DE LENHA

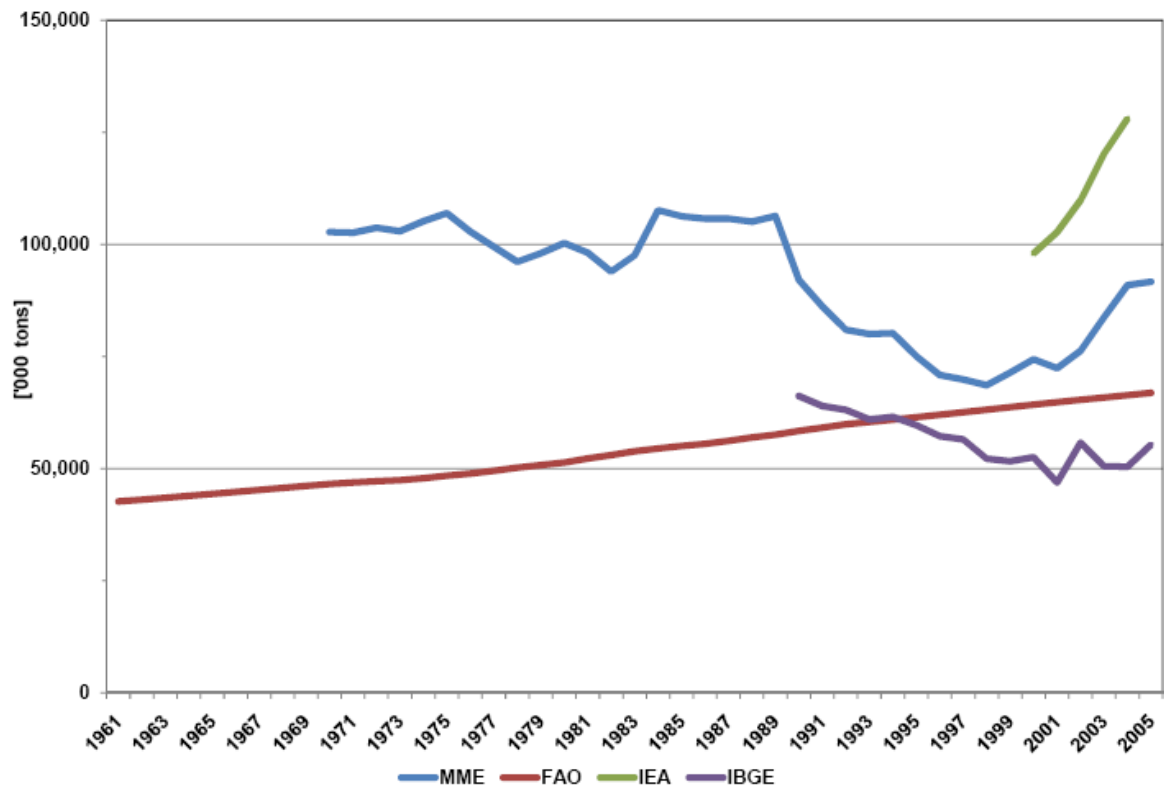
O objetivo deste capítulo é testar as variáveis de forma quantitativa que são teorizadas a afetar o consumo de lenha no setor doméstico brasileiro para ver a correlação entre elas e o consumo de lenha por este setor. Segue em primeiro uma rápida descrição dos dados utilizados e teste de correlação com o consumo de lenha, inclusive com testes de correlação, e depois, será montado um modelo mais completo com as variáveis mais pertinentes. O capítulo encerra com uma interpretação dos resultados e principais conclusões.

3.1 DADOS UTILIZADOS

3.1.1 Consumo de lenha, setor doméstico, nacional

Dados oficiais do Brasil sobre o consumo de energia encontram-se no Balanço Energético Nacional (BEN), mantido e atualizado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), parte do Ministério de Minas e Energia (MME). O BEN serve como o documento do setor energético brasileiro mais tradicional, e reúne séries históricas de oferta e consumo em vários níveis administrativos e setores (BRASIL, 2011d).

A dificuldade no levantamento de dados adequados sobre consumo de lenha no setor doméstico é problemático para a avaliação apropriada de consumo de lenha. São quatro órgãos governamentais e supra-governamentais que calculam o consumo de lenha no Brasil, e por causa de metodologias diferentes, os resultados são altamente divergentes, conforme a Figura 15. Segundo Uhlig (2008), a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, pelas siglas em inglês) e a Agência Internacional de Energia (IEA) obtêm dados através de questionários mandado para domicílios, sem verificar a precisão das respostas. Segundo Stilpen (2011), o BEN é o resultado de um levantamento de dados através da agregação de estatísticas nacionais, estaduais, e de entidades setoriais, e é acrescentada com estimativas próprias calculadas através de informação junto aos setores consumidores. Neto (*apud* UHLIG, 2008) descreve um processo para estimação de consumo no setor doméstico através de um valor de consumo de lenha ajustado pelo consumo de GLP. O IBGE só considera a lenha comercializada formalmente por entidades que agem no mercado de produtos vegetais (UHLIG, 2008). Dadas as várias metodologias, a dificuldade de medição, e inexistência de padronização de dados, existem diferenças importantes entre as estimativas de cada órgão que oferece dados.

Figura 15 – Oferta interna bruta de lenha no Brasil, diferentes fontes, 10³ toneladas

Fonte: UHLIG, 2008

Uhlig (2008) procura estimar valores de consumo de lenha pelo setor doméstico empregando dados disponíveis sobre variáveis altamente correlacionadas com consumo de lenha. Mais especificamente, sua metodologia estima o consumo de lenha inferido por (i) o número de domicílios que utilizam GLP, lenha, ou ambas para a cocção, (ii) a unidade da Federação na qual foi levantado o dado, e (iii) o local de moradia, ou seja, na área rural ou urbana. Esta metodologia permite a estimação do consumo específico por domicílio, que é um valor em quilogramas de lenha que o domicílio representativo de uma região usa durante um determinado período de tempo. Para calcular o consumo específico, a metodologia considera se o domicílio usa mais do que um combustível para a cocção, e a localidade do mesmo (no âmbito rural ou urbano).

Empregando este método, os resultados agregados foram parecidos aos dados oficiais do MME, mas divergem muito no nível setorial. Suas estimativas no setor doméstico, por exemplo, foram metade do dado oficial do governo, e três vezes maior no setor industrial. O presente trabalho adere ao dado oficial fornecido pelo MME no BEN de 2010, e deixa-se a

metodologia de geração de dados próprios apresentado por Uhlig como extensão interessante.

3.1.2 O Preço de GLP

Como foi feito por Jannuzzi (2004), compara-se a série de consumo nacional de lenha com os preços de GLP, acrescentando aquele estudo com testes estatísticos de correlação. Os preços nominais de GLP são disponíveis pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)⁴, com dados a partir de 01 de janeiro de 1980 (ANP, 2011).

É interessante ressaltar que, no início da série até o início dos anos 1990, os preços de GLP e todos seus insumos foram tabulados pelo agora extinto Conselho Nacional do Petróleo (CNP). Já no começo de maio de 1990, houve uma liberalização e estímulo de concorrência no mercado de GLP, abrindo o mercado de GLP para mais empresas. A mudança para um sistema de preços de mercado foi gradual, e os preços continuaram a ser tabelados por vários órgãos diferentes até julho de 2001.

Assim, os preços de GLP foram registrados quando houve uma variação no preço, e não em intervalos simétricos. Portanto, foi calculado uma média única do preço de GLP por cada mês, ponderada por tempo de vigência de cada preço em cada ano no intervalo. De julho 2001 em diante, o preço de mercado foi registrado mensalmente e por região, requerendo nenhuma modificação do tipo. Deve-se destacar que todos os preços na base de dados foram registrados em termos nominais da época, portanto foram necessários os ajustes adequados.

Resumindo, para isolar o efeito do preço de GLP no consumo de lenha, foram necessários os seguintes ajustes nos preços dados pela ANP: (i) ponderação da média do preço por mês, usando os dados de preços e datas de vigência, (ii) a inflação medida pelo índice geral de preços, disponibilidade interna (IGP-DI) (ver na seção 3.1.6 por uma explicação dessa medida para a inflação), (iii) a troca do padrão monetário da época para moeda única (reais de maio, 1994), e (iv) ponderação na média anual para comparação com dados de consumo de lenha, nessa ordem. As moedas utilizadas nesta pesquisa são os seguintes:

⁴ Uma parte do Ministério de Minas e Energia, <http://www.anp.gov.br/>

Tabela 1 – Padrões monetários do Brasil, 1980–presente é quadro pois não tem dados estatísticos e laterais do quadro é fechada

Vigência		Padrão Monetário	Lei de Estabelecimento
de	até		
1/1/1980	27/02/86	Cruzeiro (Cr\\$)	(continuação)
28/02/86	15/01/89	Cruzado (Cz\\$)	D.L. N° 2.283,27.02.1986
16/01/89	15/03/90	Cruzados Novos (NCz\\$)	M.P. N° 32,15.01.1989
16/03/90	5/8/1993	Cruzeiro	M.P. N° 168,15.03.1990
6/8/1993	29/06/94	Cruzeiro Real	M.P. n° 336,28.07.1993
a partir de	30/06/94	Real	M.P. n° 542,30.06.1994

D.L. = Decreto-lei

M.P. = Medida Provisória

Fonte: Elaboração própria, 2011

A Unidade Real de Valor (URV) estava em vigor como denominação de preços entre 14/05/94 e 29/06/94, portanto, segundo dados da ANP, o preço oficial foi ainda denominado em Cruzeiro até instalado o real em 1994. Meses nos quais o preço foi estabelecido em duas moedas diferentes, todos os valores foram primeiro trocados na taxa nominal apropriada do mês para a moeda “antiga,” calculou-se a média ponderada do preço, e depois o processo seguiu em diante como normal. Por exemplo, em maio de 1994, o preço tabulado do dia primeiro até o dia 13 foi Cr\$ 360,925, e do dia 14 em diante ficou em R\$ 0,2677; o preço da segunda quinzena foi trocada por cruzeiro, e a média foi ponderada a partir desse valor. Desde julho de 2001 até julho 2011, registrou-se o preço médio mensal nacional, então o cálculo de apenas uma correção pela inflação e média anual foram necessários.

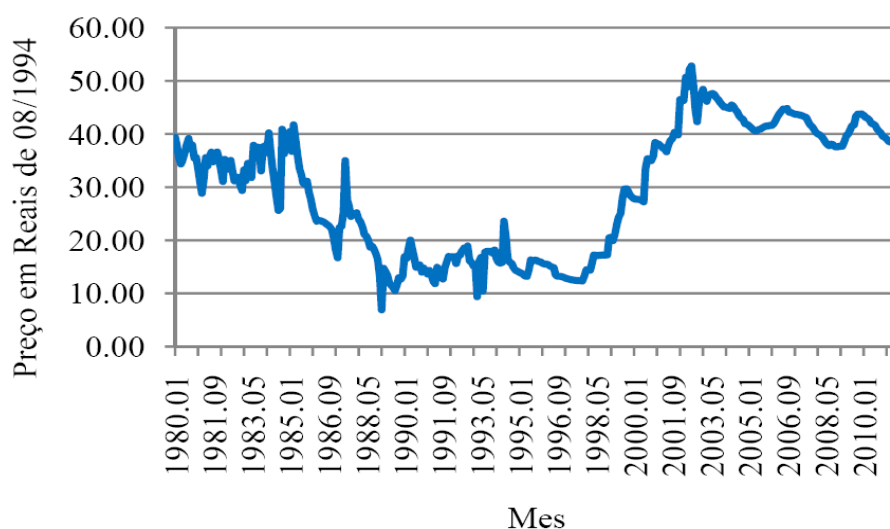
Entre dia 19 de março de 1980, e dia 04 de agosto de 1996, a ANP mantém dados do preço por quilograma de GLP de realização, faturamento de refino, faturamento de distribuição, e o preço ao consumidor final. Este último é o preço de interesse para o presente estudo, sendo esse preço pago pelo consumidor e, portanto, de influência direta na decisão de compra.

Entre dia 05 de agosto de 1996 e 05 de outubro de 2001, não foram registrados dados do preço do consumidor final, então estes valores foram estimados através da média da margem (ou acréscimo) acima do preço de faturamento de refino. Calculou-se a média aritmética das margens históricas para estimar o preço ao consumidor durante o período sem dados, sob o suposto de baixa variação na margem no curto prazo. A margem com base no preço de

faturamento de refino foi utilizada desde que sua variância é menor (0,150) em relação a margem do preço de realização (0,867) entre o período de 01/01/1980 até 05 de agosto de 1996, adicionando um grau de confiabilidade nas estimativas. Também notou-se uma queda definitiva na margem no longo prazo entre 01/01/1980 até 05 de agosto de 1996, e por isso, a média da margem dos 30 meses anteriores foi usado para estimar valores futuros. Este método de estimativa através da margem mostrou-se adequado, à medida que as estimativas conferiram com dados onde os preços ao consumidor foram registrados de novo (a partir de julho de 2001).

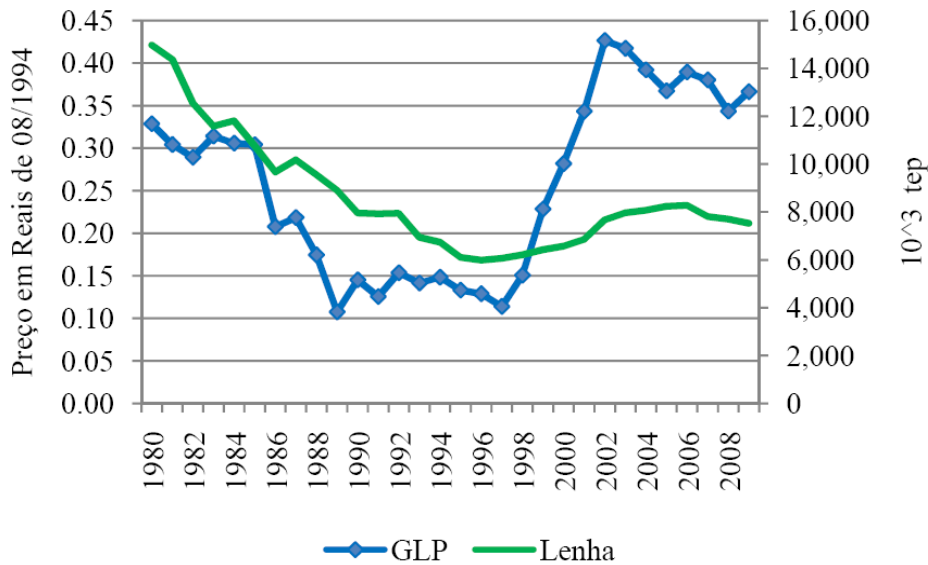
Segue-se o gráfico linear dos resultados depois das transformações, e os dados se encontram na Apêndice B. Como se pode ver na Figura 16, os preços reais ao consumidor flutuaram com maior variabilidade durante o período de alta inflação nos anos 80 e 90, e de forma mais cíclica a partir de 2001. É provável que os movimentos nos anos no final da série coincidem com as forças de mercado, embora a turbulência nas décadas anteriores foram influenciados pela inflação e o esquema de fixação de preços pelo governo, que requeria grandes ajustes em intervalos curtos de tempo. A grande queda no preço nos anos 80 deve-se principalmente a crescente subsídio na produção de GLP durante a época, e a alta no final dos anos 90 deve-se à eliminação do mesmo.

Figure 16 – Preço real de 13 kg de GLP (volume do botijão residencial), médias mensais



Fonte: Elaboração própria, dados do ANP, 2011

Figura 17 – Preço real de GLP por kg para o consumidor final, e consumo de lenha, médias anuais



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ANP, 2011; BRASIL, 2010a

Depois transformar dados anuais em log para corrigir por eventual heteroscedasticidade, análise de regressão de lenha nos preços de GLP se mostrou uma correlação de 0,283. O sinal positivo mostra a correlação esperada, caso o GLP e lenha sejam bens substitutos. Nesse caso, um aumento no preço do GLP diminui a quantidade demandada do mesmo, e aumenta a quantidade demandada do bem substituto, neste caso a lenha. Como observado na Figura 16 que mostra o preço real de GLP e o consumo de lenha, houve uma queda no preço de GLP durante o período de 1980 até 1996, e enquanto o preço de GLP em termos reais começou a subir, também o consumo de lenha ficou em alta, em acordo com o efeito esperado. Dessa forma, espera-se a quantidade demandada de lenha em alta com alta de preços de GLP, o que é observado nos dados utilizados na Figura 17.

3.1.3 Subsídios para a produção e o consumo de GLP

Para complementar os preços de GLP, estimativas do subsídio do GLP e do valor total distribuído pelo programa auxílio-gás de 1973 até 2001 serão usados segundo os cálculos de Jannuzzi (2004). Entre 1980 e 2001, os valores usados são suas estimativas do subsídio total por pessoa, em dólares americanos. Dados de 2002 e 2003 representam os gastos totais do programa auxílio-gás por pessoa (da população total do Brasil). Embora o subsídio tenha sido destinado para apenas os cidadãos com menos de metade de um salário mínimo, para

comparar o efeito de subsídios totais entre os dois programas, uma média de subsídio por pessoa foi utilizada, desconsiderando o foco do segundo plano. O programa de auxílio-gás foi incorporado no PBF a partir de 2003, e segundo Araújo (2006, p.10), deixou a influenciar diretamente o consumo de GLP, e por extensão o consumo de lenha. Portanto, os subsídios foram considerados nulos entre 2004–2009. Espera-se uma correlação negativa entre o consumo de lenha e o subsídio do seu substituto (GLP); ou seja, espera-se que uma alta no subsídio no GLP corresponderia com uma queda no consumo de lenha. Depois o cálculo, verifica-se a correlação entre as variáveis de -0,362, em linha com as expectativas de sinal.

3.1.4 Produto Interno Bruto por Capita

Dados do PIB per capita são agregados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) em termos de preços 2009 em reais em milhares (IPEA, 2011). A série foi transformado em reais de agosto de 1994 através da divisão pelo índice geral dos preços de 2009 com agosto de 1994 como ano base (4,0041). A hipótese *a priori* é de correlação inversa entre a renda per capita e consumo de lenha, e empiricamente, encontra-se a relação esperada, com correlação de -0,381 entre as variáveis.

3.1.5 Seca de 2001

A seca de 2001 entrará como variável *dummy*, nulo para todo ano excetos 2001 e 2002, sendo esses os anos que foram sujeitos a controles de preços.

3.1.6 Taxa de inflação

A correção de inflação durante a época empregou o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) publicado pelo Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), da Fundação Getulio Vargas (FGV) como deflator de preços. Este índice se centra sobre as variações de preços de matérias-primas industriais e agrícolas, bem como bens de consumo final, índice apropriado para os preços de energia (JANNUZZI, 2004).

O IGP-DI e também o índice Geral de Preços de Mercadoria (IGP-M), são utilizados para reajustes de contratos de energia, e os preços e pesos usados para calcular cada um destes índices são rigorosamente as mesmas (FGV, 2011). Os dois divergem no período de

contemplação, onde o IGP-DI é coletado entre o primeiro e o último dia do mês de referência, e começa em 1944, enquanto o IGP-M é coletado entre os dias 21 do mês anterior e 20 do mês de referência, teve início apenas em 1989 (FGV, 2011). Os preços de GLP usados neste estudo são ponderados em períodos que seguem o mês calendário, e retroage a 1980, portanto se deu preferência para o IGP-DI como medida da índice de preços, transformado em log.

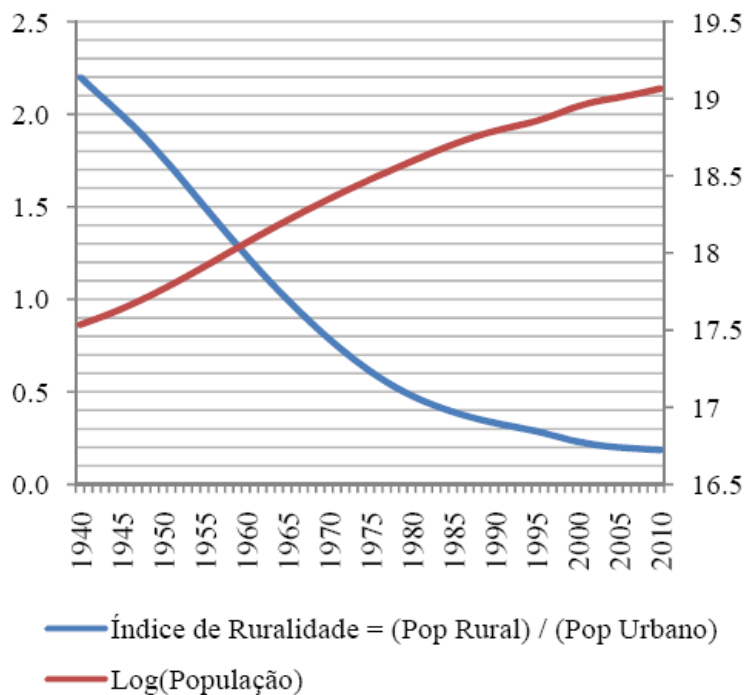
Como elaborado no capítulo 2, existe um debate sobre o efeito da inflação sobre o consumo de bens substitutos não monetizados no mercado (como a lenha). Os dados utilizados mostram uma correlação de -0,897 entre consumo de lenha e o índice de preços, e, dessa forma, interpreta-se que o consumo da lenha, um bem não monetizado e substituto de GLP, cai com alta na inflação. Esta correlação está de acordo com a teoria de Hellerstein (1997), em que a alta de inflação incentiva o consumo de bens de consumo precificados no mercado, o que prejudicaria a poupança e bens de consumo sem custo monetário. Testar-se-á a significância dessa correlação na regressão da seção 3.2.

3.1.7 Taxa de urbanização

Para medir a urbanização, criou-se um índice de “ruralidade” igual à razão entre a população rural sobre a população urbana, segundo estatísticas da IBGE. Dessa forma, a taxa representa o número de pessoas que moram em áreas rurais por cada pessoa urbana, que varia de forma aposta da população, com resultado na Figura 18.

Espera-se que enquanto o número de pessoas na região rural cai em relação ao número de pessoas nas áreas urbanas (e, portanto o índice de ruralidade cai), o consumo de lenha também cairá, sendo presumidamente um fenômeno predominante do campo. A correlação entre o consumo de lenha e o índice ruralidade é de 0,807, com correlação positiva, como o esperado.

Figura 18 – Crescimento populacional e urbanização no Brasil



Fonte: IBGE, 2010

3.1.8 População por domicílio

O censo brasileiro calcula cada 9–11 anos uma estatística de número de casas ocupadas (ver a FIGURA 7). Como os outros dados são séries temporais com observações anuais, não seriam comparáveis os dados. Uma razão *proxy* foi calculado usando a população nacional dada pelo IBGE, sobre o número de domicílios como calculado pela IBGE, base da estimativa de casas anuais. Observações de números de habitantes por domicílio existe em cada censo, ou podem ser deduzidos através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Observações de 1991, e 2000 foram do censo nacional dada a falta de informações nesses anos pela PNAD, e a observação de 1980 foi deduzido por extrapolação linear. A correlação entre as variáveis foi 0,782, e de sinal em acordo com as observações de Heltberg (2003), exposto na seção 2.1.8.

Apresenta-se na Tabela 2 as correlações entre todas as variáveis testadas, e o consumo de lenha pelo setor doméstico brasileiro.

Tabela 2 - Correlações entre o consumo de lenha pelo setor doméstico e variáveis

Variável	Correlação com Consumo de lenha
preço de GLP	0,283
subsídios e programa auxílio-gás	-0,362
PIB/cap	-0,381
Inflação doméstico	-0,897
variável dummy	N/A
índice de ruralidade (urbanização)	0,807
habitantes por domicílio	0,782

Fonte: Elaboração própria, 2011

3.2 TESTES & RESULTADOS ESTATÍSTICOS

Os dados utilizados são séries anuais de dados nacionais com 30 observações, de 1980 até 2009, e serão testadas segundo o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO)⁵. Uma regressão com todas as variáveis sobre-citadas foi montada, para avaliar quais entre elas teve o maior significância relativa. Na forma matricial:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

Onde o vetor y é 30×1 , e contém as observações de consumo de lenha, ε o vetor de erros de média zero, sem correlação entre os elementos ε_i e variância estável de $\text{var}(\varepsilon_i) = \sigma^2$, por suposto. A matriz X contém as observações das 7 variáveis de teste com 30 observações cada, mais um intercepto (matriz 30×8), todas as variáveis transformadas em log, menos o *dummy*,

$X =$ (termo de intercepto, Preço de GLP, Subsídio de GLP, PIB/cap, Índice de Preços, dummy da seca de 2001, Índice de Ruralidade, Habitantes por domicílio),

e o vetor de parâmetros desconhecidos β é estimado por MQO, onde a estimação do vetor é igual ao seguinte fórmula:

⁵ A exposição de modelo nesta seção é padrão na literatura, mas segue geralmente a progressão lógica de Hron e Filzmoser (2010), Greene (2008), Wooldridge (2002)

$$\hat{\beta}_{MQO} = (X'X)^{-1} X'y$$

Este modelo resulta com resíduos de média muito próxima a zero, e as estatísticas de teste no Apêndice A, com baixa significância nas variáveis de número de habitantes por domicílio (*hhdsz*), PIB per capita (*gdpcap*), e a seca de 2001 (*drought*). Para testar a significância conjunta destas variáveis, aplica-se o teste-F com os seguintes testes de hipótese:

$$H_0 : hhdsz, gdpcap, drought = 0;$$

$$H_A : hhdsz, gdpcap, drought \neq 0.$$

A estatística-F que resulta da omissão destes três variáveis é de 0,315. Comparado com intervalo de confiança de 5%, graus de liberdade do numerador de 3 e do denominador de 21, o valor crítico em uma tabela padrão de valores críticos da distribuição-F é 3,07. Sendo que o valor crítico é acima da estatística-F, não se rejeita a hipótese nula, e conclui-se que as variáveis são insignificantes em conjunto, o que justifica sua eliminação do modelo. O modelo que resulta é:

$$wood_i = \alpha + \beta_1 urban_i + \beta_2 subs_i + \beta_3 lpg_i + \beta_4 inf_i + \varepsilon_i$$

com o resultado estatístico no apêndice, com R^2 de 0,9497. Como “urban” é de fato o índice de ruralidade, o sinal positivo com uso de lenha corresponde com o resultado esperado de correlação positivo entre os termos. O subsídio tem também impacto positivo no uso de lenha, o que não é esperado. O preço de GLP teve intercepto positivo, e a inflação com coeficiente negativo, como esperado com a correlação.

3.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção, pretende-se destacar as principais conclusões dos testes realizados, assim como a interpretação lógica e econômica destas relações. Começa-se com as variáveis consideradas estatisticamente irrelevantes (PIB per capita, habitantes por domicílio, e a seca de 2001), e conclui-se com as variáveis de importância primária. Além disso, será realizado um debate sobre possíveis melhoramentos dos testes e conclusões mais gerais no capítulo 5.

Segundo nosso estudo, o PIB per capita tem pouca influência para o consumo de lenha. Esta conclusão, embora talvez não esperada, não deveria ser surpreendente em termos lógicos, dado o caso brasileiro do período estudado. Como observado nos dados, a época de maior queda no consumo de lenha foi nos anos 70, quando o PIB per capita crescia de forma constante; estima-se crescimento médio anual de 5,4% segundo os dados da Ipea (2011). Porém, nos anos 80, a queda gradativa do consumo de lenha não correspondia à variação do PIB per capita, ou seja, uma década sem crescimento. Quando o crescimento econômico voltou, em 1993, o consumo de lenha se estabilizou e reverteu até o fim dos anos 90. Isto representou uma correlação inversa às duas décadas anteriores. Durante a primeira década dos anos 2000, o consumo de lenha continuou em alta, até que houve uma estagnação e uma queda no consumo de lenha, desde 2006.

Conclui-se a partir destas observações e da verificação estatística que o crescimento econômico não implica na diminuição do consumo de lenha de forma significativa se comparado aos níveis atuais no Brasil pelo setor doméstico. A tendência atual de consumo de lenha não será alterada, uma vez que a urbanização e o preço de GLP deverão ter efeitos maiores. Sustenta-se que a urbanização da época e variação nos preços relativos de GLP sejam as variáveis mais relevantes para explicar as variações no consumo de lenha.

Verificou-se, em outros estudos mundiais, a importância do número de habitantes de cada domicílio na decisão do uso de combustível. Como elaborado no capítulo 2, maiores demandas de energia tendem a ser correlacionadas com a maior diversificação de combustíveis utilizados, então famílias menores tendem a usar somente combustíveis modernos. Neste estudo, verificou-se através da correlação de urbanização, que a localização do domicílio (urbano ou rural) é mais importante do que o número de pessoas que residem ali.

A última variável considerada não significativa foi a seca de 2001. Embora a seca tivesse grande impacto na produção elétrica, não foi uma variável importante no consumo de lenha pelo setor doméstico. As conclusões do impacto da eletricidade em outros países na escolha de combustível são indiretas, e tendem a ser associadas à distribuição simultânea de combustíveis modernos e à eletricidade (HELTBERG, 2003). A conclusão da baixa relevância da seca mostra a pouca influência da eletricidade nas decisões de combustível do período.

A premissa básica, segundo a literatura teórica e empírica, estabeleceu a restrição orçamentária domiciliar como causa primária de variação do uso de lenha no sentido agregado. A incorporação dos preços relativos de combustíveis alternativos provocará uma variação no uso de lenha de forma negativa. A análise empírica acima realizada não rejeita esta hipótese, com o subsídio e o preço do bem alternativo de GLP como principais variáveis na explicação do consumo de lenha. O que surpreende, de fato, é a elasticidade positiva no subsídio de 0,034. Sendo um modelo em log nos dois termos, o resultado implica que cada ponto percentual no subsídio para o consumo de GLP induz um aumento de 0,034% no consumo de lenha. O subsídio foi efetivo na diminuição do preço de GLP, mas seria difícil saber com certeza em que medida, com os resultados deste estudo. Sem desagregar o preço de GLP ao consumidor entre o preço de mercado e a diminuição no preço, devido ao subsídio, o efeito negativo do subsídio no consumo de lenha pode ser refletido através da variação do preço de GLP. Dessa forma, o efeito residual direto do subsídio perde relevância econômica, embora seja estatisticamente relevante. Esta tarefa de medir e estimar o impacto direto do subsídio para fins de desagregação entre o preço de GLP e o subsídio é notoriamente difícil, como explicado por Jannuzzi (2004).

O subsídio afetou vários setores da economia, e o efeito direto sobre o setor doméstico foi focado através da sua influência no preço de GLP. Futuras políticas de subsídio terão, portanto, impacto no consumo de lenha apenas através da manipulação do preço final, e pouco efeito pelo subsídio inicial na fonte de geração de GLP. Políticas que se concentram no preço de GLP para o consumo doméstico terão impacto maior no consumo de lenha, enquanto subsídios para a indústria de GLP causarão efeitos inesperados em outras indústrias e diluirão o efeito no consumo de lenha (HELTBERG, 2003).

Quanto à urbanização, os dados mostram que ela tem um efeito considerável no consumo de lenha. Segundo este resultado, é provável que a tendência de urbanização diminua mais o consumo de lenha no futuro. Como visto na Figura 13, essa não é a tendência atual, e o recente retorno populacional para áreas rurais põe em risco as remanescentes das florestas. O grande impacto da urbanização no consumo de lenha sugere que haja políticas de incentivo ao consumo de GLP no setor doméstico rural para evitar o consumo de lenha e o subsequente desmatamento.

Esse fato é sustentado pelas conclusões de uma pesquisa realizada pelo Banco Mundial sobre o consumo de lenha no Brasil (HELTBERG, 2003, p. 27). Segundo os autores, o consumo de lenha no âmbito urbano é isolado, e a grande maioria da lenha usada para a cocção é recolhida sem custo financeiro, e não envolve transação de mercado. Ao contrário de outros países, como a Nicarágua, Guatemala, Índia e Nepal, onde o mercado mais formalizado de lenha para a cocção atende áreas rurais e urbanas.

4 PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

Este capítulo serve para avaliar e explicar os movimentos agregados no uso de energia no setor doméstico rural entre 1970 e 2009 no Brasil como um todo para extrapolar tendências futuras. O método utilizado é auto-regressivo, um modelo econométrico técnico que parte do suposto que as observações (seja preço ou quantidade) são determinadas pelas forças de oferta e demanda como produto de comportamento racional e irracional, e as causas de variações nas mesmas são difíceis a prever. Porém, o modelo presume que os deslocamentos reais na oferta e demanda podem ser observados no mercado, e a existência de rigidez no mercado é suficiente para sustentar tendências por períodos extensivos no tempo, e faz com que o método é eficiente em modelar comportamento futuro (SINE; STRONG, 2011). Embora esta metodologia não pretenda descobrir o modelo “verdadeiro” de geração de dados como modelos estruturais, pre-testes para raiz unitária tende a gerar previsões superiores para séries econômicas (DIEBOLD; KILIAN, 1999).

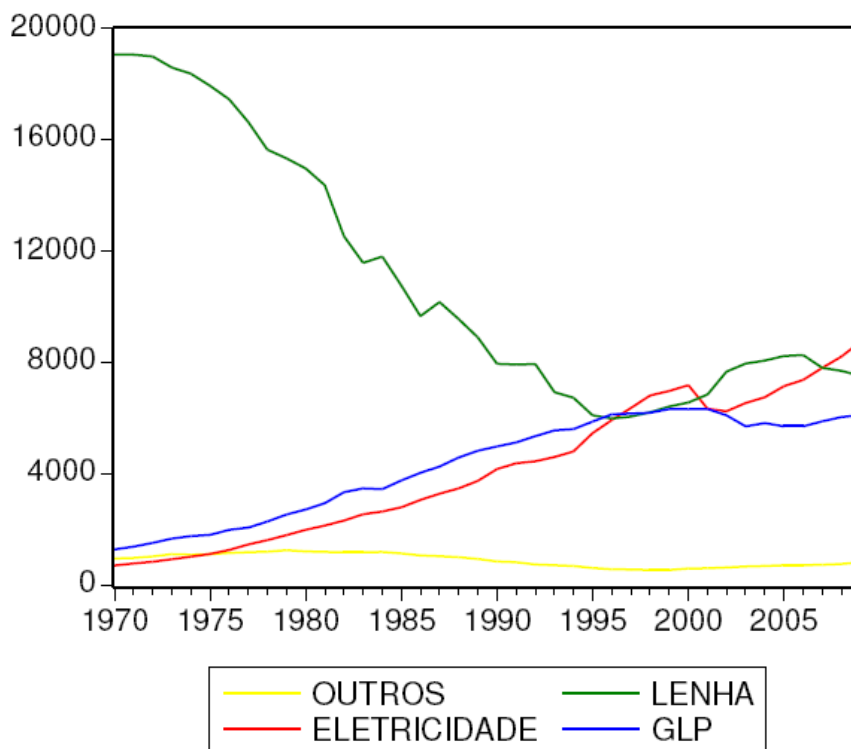
Após testes de raízes unitárias para estabilidade e grau de integração, um modelo auto-regressivo (AR) uni-variável será montado para cada série e utilizado para prever tendências futuras no uso das fontes principais de energia. Antes de realizar previsões, os resultados dos pre-testes ajudam identificar se os dados devem ser diferenciados, ou regredidos sobre funções determinísticas, para render séries estacionárias, para facilitar na criação de funções de previsão (MADDALA; KIM, 1998). O ideal seria uma aplicação do modelo de auto-regressão em vetores (VAR) empregando as variáveis definidas no capítulo 3, mas o baixo número de observações em cada série causaria uma queda de graus de liberdade no modelo de tal medida que perde poder explicativo.

Os dados agregados nacionais vêm das séries históricas completas disponibilizadas no Balanço Energético Nacional 2010 pela Empresa de Pesquisa Energética, órgão do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2010a). A contabilização do consumo de combustíveis se dá através da agregação de estatísticas, nacionais e regionais, publicadas pelo governo federal, pelos estados e por entidades setoriais. Além disto, a coleta direta do BEN busca esta informação junto aos setores consumidores. As estatísticas tentam ao máximo possível incorporar (i) a coleta de lenha nativa pelo setor residencial para uso próprio, além da (ii) venda de lenha no mercado legal. Mesmo assim, neste momento não existe estimativas que meçam a dimensão do mercado ilegal de lenha, nem existe clareza sobre o tamanho da parcela

não contabilizada nas estatísticas oficiais⁶. Para resolver a lacuna de informações, está em curso uma pesquisa de campo contratada pela EPE para aprimorar as estatísticas.

Segundo Figura 19, as séries de consumo de energia doméstica mostram que as fontes de energia doméstica ao longo da série são concentradas entre lenha, eletricidade e GLP, e estes três também compõem os elementos considerados os mais representativos para fins de previsão do MME (ANP, 2011). Os tipos de fontes energéticas usados e somados em “outros” são muito variados, e inclui restos de construção e serraria, gás natural, querosene, gás canalizado, e carvão vegetal, além de outras formas de biomassa a não ser lenha, como bagaço de cana e restos agrícolas, entre outros. O ano que estas fontes alternativas chegaram a seus níveis mais altos em termos relativos (o ano 1983), eletricidade, lenha e GLP ainda representaram mais do que 96,5% do uso de energia doméstica, e, portanto focaliza-se no uso destes três fontes para o presente estudo. A evolução destas fontes em termos relativos aos valores registrados em 1970 está apresentada na Figura 20, que mostra mais didaticamente a evolução relativa destas fontes de energia.

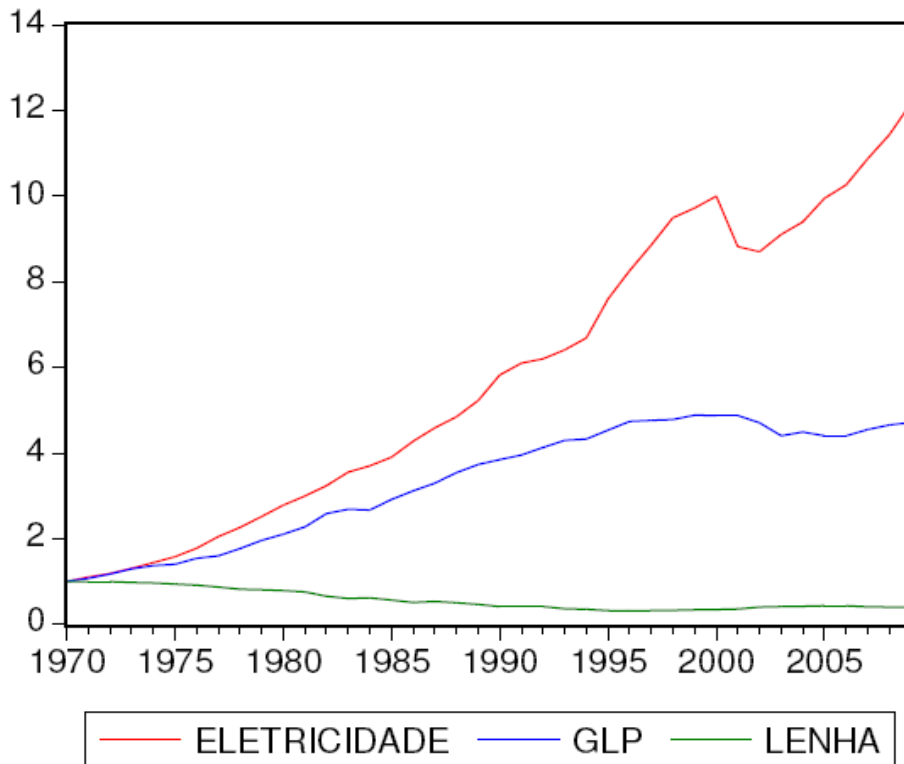
Figura 19 – Consumo de energia do setor doméstica no Brasil em 10^3 tep, 1970–2009



Fonte: BRASIL, 2010a

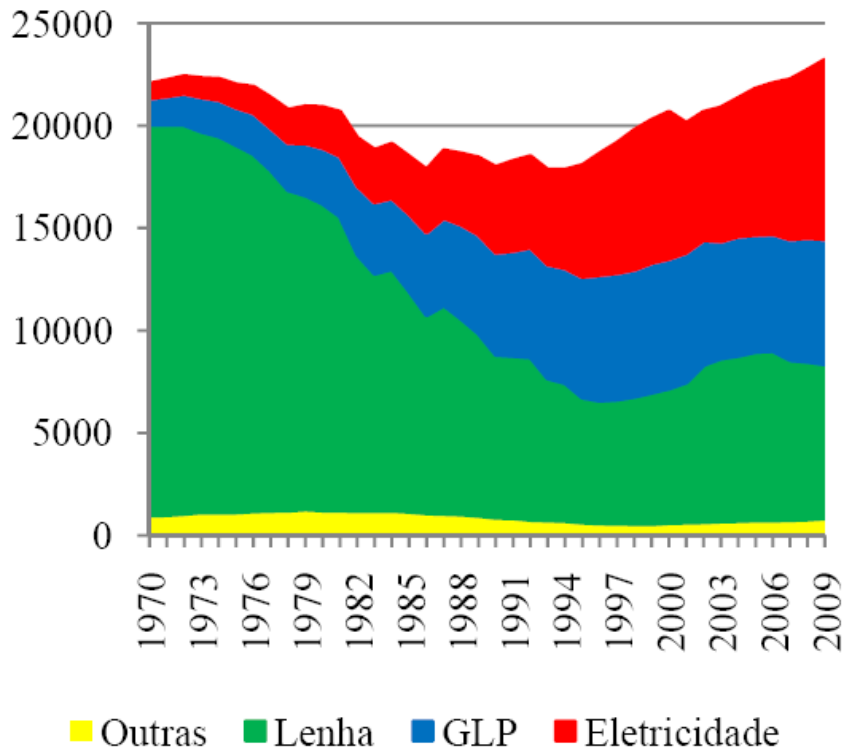
⁶ segundo informações da Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos (SEE) da EPE

Figura 20 – Consumo de energia do setor doméstica no Brasil em termos relativos de 1970, 1970–2009



Fonte: BRASIL, 2010a

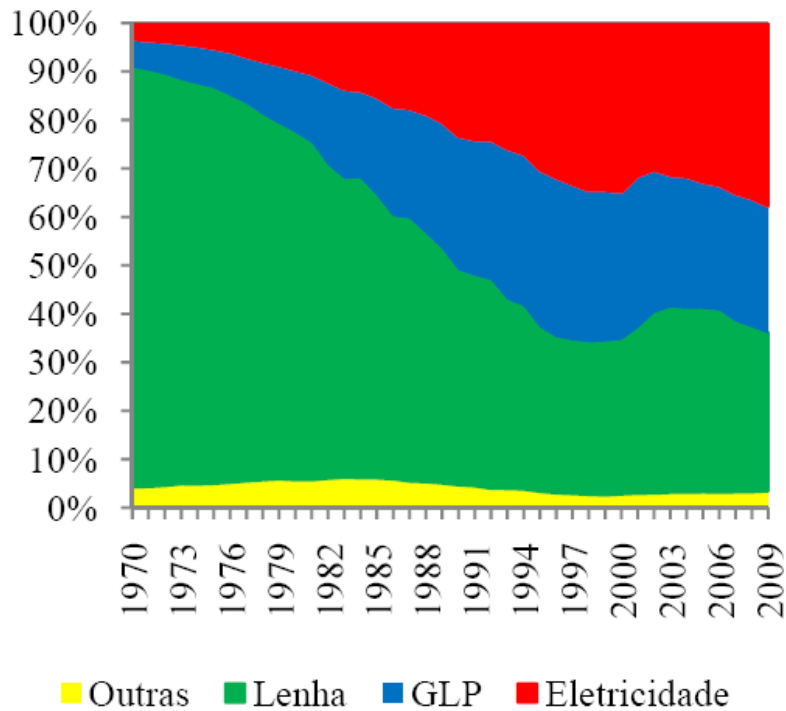
A Figura 21 mostra as tendências de composição do consumo de energia no setor doméstico, medida em 10^3 tep. Consumo de cada fonte neste gráfico está empilhado, e assim a fronteira superior segue o consumo de energia total durante o período. Por exemplo, lenha, GLP e eletricidade ficaram em 19.070 , 1.297 , e 719×10^3 tep respectivamente no ano 1970, e a soma de todas as outras fontes de energia ficaram em 971×10^3 tep. Consumo de energia total cai no fim da década 1970, liderado por uma forte queda de uso de lenha, enquanto todos os outros aumentaram durante o período e recuperaram algo da diferença nos anos 80. O consumo total de energia começou a crescer ao final dos anos 1990, e alcançou em 2007 um valor calorífico total igual ao máximo local de 1972, porém de composição diferente.

Figura 21 – Consumo doméstico de energia nacional total em 10³ tep, 1970–2009

Fonte: BRASIL, 2010a

A Figura 22 mostra o uso do setor doméstico por fonte em termos relativos, com a lenha o combustível mais consumido no setor doméstico em 1970. O uso de lenha começou a diminuir rapidamente em 1976, e se estabilizou até os idos dos anos 2000 quando começou a recuperar. O consumo de GLP mostra comportamento oposto à lenha de inclinação menor (ver também a FIGURA 19). A eletricidade teve outra trajetória durante o período, com crescimento constante ao longo da série em termos reais com uma queda só em 2001/2002. A diferença em comportamento se deve à diferença em uso de eletricidade para eletrodomésticos e outros equipamentos e não para a cocção, como é o caso de lenha e GLP (BRASIL, 2010b). No mesmo ano da queda em eletricidade, a utilização da lenha aumenta consideravelmente e o consumo de GLP diminui, até ficar estável no final da série. É importante destacar que observações iniciais podem ser ilusórias, e testes estatísticos serão necessários para substanciar qualquer inferência superficial, como será feita nas seguintes seções.

Figura 22 – Consumo doméstico de energia, termos porcentuais, 1970–2009



Fonte: BRASIL, 2010a

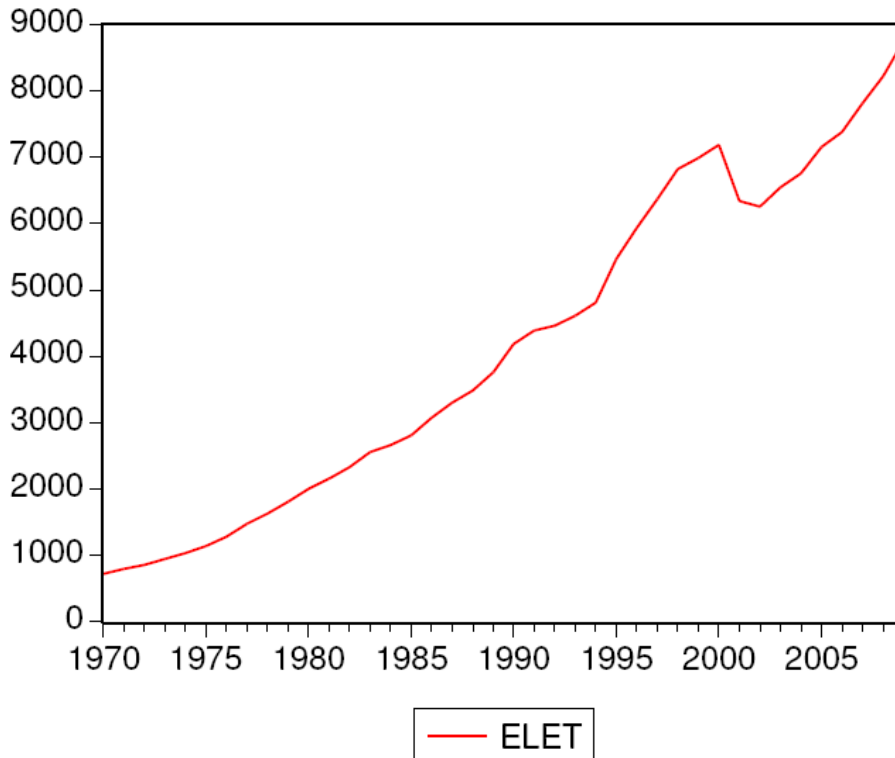
Destaca-se que os motivos destes comportamentos foram aprofundados segundo a bibliografia geral no capítulo 2, e testes originais no capítulo 3. Neste capítulo, o objetivo será o cumprimento dos objetivos 3 e 4 e a avaliação destas tendências para previsões futuras e a comparação com previsões feitas por outros meios, na criação de uma linha de base para a contagem de emissões futuras estimadas pelo setor.

4.1 AVALIAÇÃO DAS SÉRIES DE CONSUMO NACIONAL

Três séries de consumo do setor doméstico rural serão avaliadas para estabilidade, número de raízes unitárias (ru) e grau de integração para formar um modelo adequado para descrever seus comportamentos para o futuro: eletricidade, GLP e lenha para estatísticas nacionais. Os dados nacionais começam em 1970, e para cada análise, todas as informações disponíveis serão utilizadas para gerar as previsões. Todas as séries foram transformadas em log para estabilizar a variância.

4.1.1 Série de eletricidade

Figura 23 – Tendência de consumo doméstico de eletricidade, 1970–2009



Fonte: BRASIL, 2010a

Um teste de raiz unitária ajudará determinar se a série tem um comportamento de reversão à média após o choque exógeno da queda relacionada à seca de 2001 (ver a seção 2.1.6). A Estatística de teste de Dickey-Fuller Aumentado, ou ADF (DICKEY; FULLER, 1981) é empregada primeiro para testar a especificação do modelo, e verificar a existência de uma raiz unitária. O teste de ADF será descrita em detalhe para a série de uso nacional doméstico de eletricidade, mas para fins de brevidade, apenas as conclusões dos demais testes de raiz unitária serão mencionadas.

Para o teste ADF, começa-se por testar o seguinte modelo com uma defasagem (*lag*):

$$y_t = \alpha + \beta t + \rho(y_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Onde y_t é um vetor que representa a série de eletricidade em log, α é um termo constante, βt é uma tendência linear a ser estimada, e ε_t é por suposto um processo de ruído branco (*white*

noise). Segundo a metodologia do teste ADF, a equação é diferenciada uma vez (empregando Δ como o operador de diferença), e o resultante $1-\rho$ será representado pela estatística de teste γ (DICKEY; FULLER, 1981), onde γ é a nossa variável de interesse, com o seguinte teste de hipótese:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma(y_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$H_0 : \gamma = 0$$

$$H_A : \gamma < 0$$

A estatística de teste ADF para γ resulta em -1,439. Em comparação aos valores p uni-caudal de Mackinnon (1996), não se rejeita a hipótese nula de $\gamma = 0$ ao nível de confiança de 10% ($CV_{10\%} = -3,20$, e $p = 0,83$), o que significa que não existe evidência para rejeitar que a série tem uma raiz unitária e é instável.

O teste para uma tendência linear resulta em uma estatística de teste para β de 0,79. Comparado ao valor crítico ao nível de confiança de 10% (DICKEY; FULLER, 1981, Tabela II & III), não se rejeita o hipótese nula que $\beta = 0$, ou seja, não rejeita a inexistência de uma tendência linear.

Dickey e Fuller (1981) sugerem um método para um teste conjunto que o coeficiente da raiz unitária γ e o coeficiente da tendência β sejam os dois zero, e empregam Φ em três testes diferentes como estatística de teste. Primeiro, aplica-se o teste Φ_3 de um modelo com intercepto e tendência com o seguinte teste de hipótese:

$$H_0 : (\alpha, \gamma, \beta) = (\alpha, 0, 0)$$

$$H_A : (\alpha, \gamma, \beta) \neq (\alpha, 0, 0)$$

A soma dos quadrados dos resíduos (SQR), sem tendência linear, é $SQR_2 = 0,0526$, e com a tendência, $SQR_3 = 0,045$. Dadas as 28 observações depois de ajustamentos, encontra-se uma estatística de teste conjunta de 5,7209. Comparando com o valor crítico de ($CV_{\alpha=0,90} = 5,77$), não se rejeita a hipótese nula que $\gamma = \beta = 0$, ou seja, a série contém uma raiz unitária, mas não uma tendência linear ao nível de confiança de 10%.

Montar o modelo sem tendência, mas com intercepto e apenas uma defasagem causa autocorrelação além do intervalo de confiança e uma estatística Durbin-Watson abaixo de 1,30, o que sugere uma possível má especificação no modelo (uma possível correlação serial positiva). Adicionar uma segunda defasagem resolve os dois problemas, e testamos o seguinte modelo:

$$y_t = \alpha + \rho_1 y_{t-1} + \rho_2 y_{t-2} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Isso resulta em uma estatística τ acima do valor crítico ($\hat{\tau}_\mu = -2,658 > 2,943 = CV_{5\%}$), que de novo não rejeita a hipótese de uma raiz unitária ao nível de 5% (com estatística p de 0,091). O teste para o intercepto resulta em ($\hat{\tau}_\alpha = 2,91 > 2,59 = CV_{10\%}$), e rejeitamos a hipótese nula que o intercepto seja nulo, e conclui-se que a equação 3 é uma estimação razoável para a série de consumo de eletricidade nacional. Os resultados dos outros testes de raiz unitária na série são apresentados no apêndice A.

Para testar o número de raízes unitárias, aplica-se o método descrito em Dickey & Pantula (1987) a começar com um modelo que presume duas raízes unitárias no seguinte modelo já diferenciado:

$$\Delta^2 y_t = \beta_1 \Delta y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Onde $\beta_1 = \rho_1 \rho_2 - 1$, e $\beta_2 = -(1 - \rho_1)(1 - \rho_2)$. A comparação com os valores críticos (DICKEY; FULLER, 1979), encontra-se os resultados na Tabela 3.

Tabela 3 – Teste de Dickey-Pantula na série de eletricidade

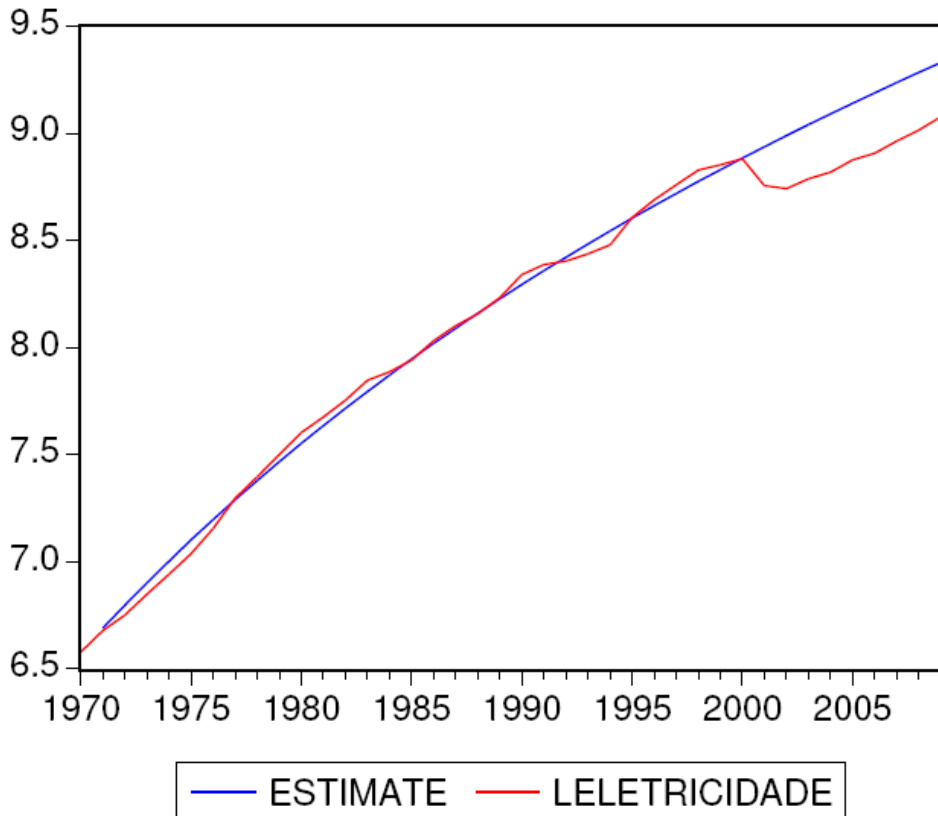
	ESTAT. DE TESTE	$CV_{10\%}$	$CV_{5\%}$	$H_0 : \beta_i = 0$	CONCLUSÃO
β_1	-4,3	-1,44	-2,74	rejeita	Rejeita 2 ru
β_2	-2,47	-4,48	-8,36	não rejeita	não se rejeita 1 ru

Fonte: Dados da pesquisa., 2011

Para fins de visualizar a seca de 2001 como raiz unitária, uma série foi gerada para incluir apenas os dados disponíveis de 1970 até 2000, para remover a seca. Como a equação 3 foi

determinado a ser uma boa estimação da série, uma previsão *ex post* dos anos entre 2000/2009 foi gerada e comparada com a série original. Em comparar a previsão com a série original na Figura 24, a diminuição no uso de eletricidade em 2001 como efeito da seca parece não voltar para a tendência anterior, típico de raízes unitárias.

Figura 24 – Raiz unitária na série de eletricidade



Fonte: Elaboração própria, 2011

Existe evidência na literatura que sustenta a hipótese de uma raiz unitária no ano 2002. Por definição, uma raiz unitária é um desvio da tendência de longo prazo de uma série, depois do qual a série não volta para a média ou tendência da série (ENDERS, 2004). A reação dos setores doméstico e industrial à seca e ao programa subsequente de rateio de energia em 2001 levou a uma queda da tendência de uso doméstico de energia.

A baixa quantidade de água do outono de 2001 causou uma queda na oferta de eletricidade e uma paralisação de instalação de capacidade adicional. Para evitar um ajuste no preço de eletricidade para incorporar a queda de oferta de energia, o governo instalou um projeto de rateio de energia para diminuir artificialmente a demanda (IEA, 2006, p. 462), e manter os preços em um patamar desejável. A poupança imposta de energia contribuiu à redução do

desperdício pela parte das indústrias e famílias por meio de substituir geradores e eletrodomésticos por modelos mais eficientes (ALMEIDA; MULDER, 2005). Isso gerou uma diminuição na demanda no mercado de eletricidade até igualar a oferta e a demanda.

Ao final da seca, a utilização de capacidade de energia voltou ao nível anterior e continuou a crescer com a expansão de capacidade a taxas parecidas ao período anterior. Porém, do lado da demanda, a reação ao programa de rateio pela parte da indústria e as famílias diminuiu a demanda no mercado de eletricidade, e até 2003, o consumo de eletricidade ainda não voltara ao nível de 2001. Foi nesta época que o governo federal começou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que contribuiu “de forma considerável” para a poupança de energia nacional (BRASIL, 2011d; IEA, 2006). Os dois efeitos geraram oferta em excesso da demanda no período pós-seca, e crescimento do uso doméstico a uma tendência abaixo da anterior (ALMEIDA; MULDER, 2005), e sustenta o suposto da seca representar uma raiz unitária na série de eletricidade.

Deve-se frisar que houve outras políticas públicas a partir de 1999 até 2004 que visaram ampliar a gama de fontes energéticas utilizadas para a geração de eletricidade. O objetivo foi a compensação deste tipo de queda de oferta causada por variações sazonais na quantidade de chuvas (IEA, 2006).

Para terminar a análise da série “eletricidade”, testamos a série para a ordem de integração. Primeiro, aplica-se a primeira diferença ao série em log, e avalia-se para uma raiz unitária via o teste ADF, sem tendência. O teste resulta-se na rejeição da hipótese nula de uma raiz unitária, dada $\hat{\tau}_{\mu} = -3,30 < 2,94 = CV_{5\%}$. Por tanto, o log da série de eletricidade é integrada de ordem 1, ou I(1), desde que a série é estacionária em uma diferença.

Com esta especificação da série completa, o modelo pode ser usado para fazer uma previsão *ex ante* da série. Sendo que a previsão é de longo prazo, preferência será dada para a modelagem apropriada do comportamento da tendência em vez de desvios entorno dela, o que seria o normal para previsões de curto prazo. A fórmula de previsão é o seguinte, com os resultados na Tabela 4:

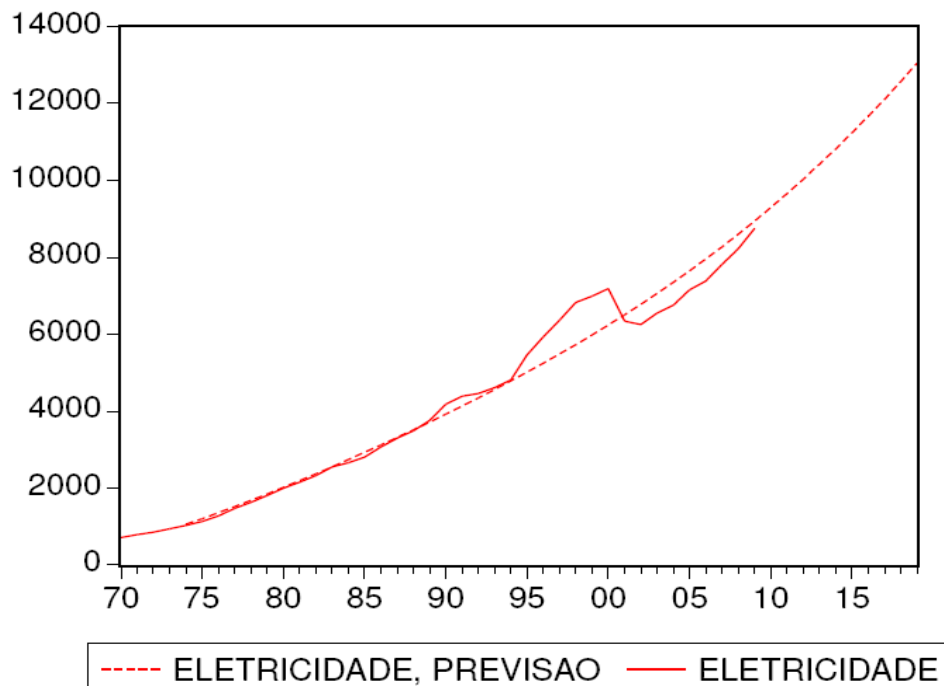
$$\hat{y}_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 y_{t-1} + \hat{\beta}_2 y_{t-2} \quad (5)$$

Tabela 4 – Resultados da equação de previsão, eletricidade

	Coefficient	Std Error	t Stat	Prob.
C(1)	0.028	0.01	2.604	0.013
C(2)	0.544	0.14	3.936	0
R-squared	0.301	Mean dependent var		0.063
Adjusted R-squared	0.281	S.D. Dependent var		0.046
S.E. of regression	0.039	Akaike info criterion		-3.616
Sum squared resid	0.054	Schwarz Criterion		-3.53
Log likelihood	70.718	Durbin-Watson statistic		2.068

Fonte: Dados de pesquisa, 2011

Figura 25 – Equação de previsão e a série, eletricidade

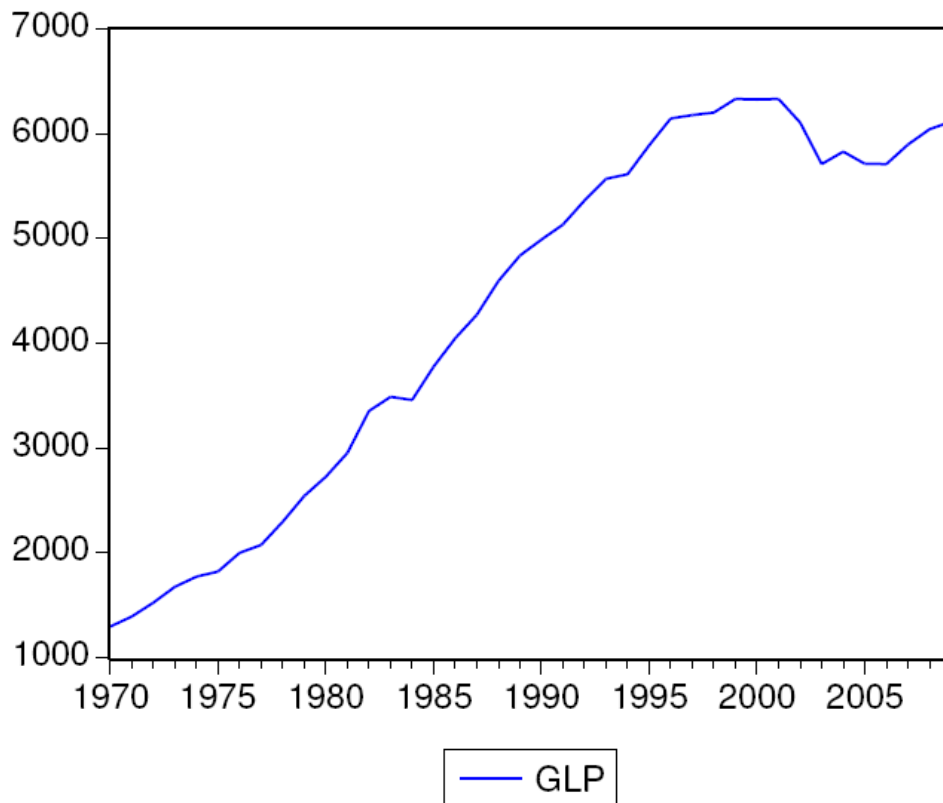


Fonte: Dados de pesquisa, 2011; BRASIL, 2010a

A Figura 25 mostra a série disponível pelo Brasil (2010a), e o resultado da previsão de consumo de eletricidade para os próximos 10 anos (até 2019). Os dois valores foram registrados em mil toneladas equivalentes de petróleo, e mostra uma tendência de alta para o futuro próximo no consumo de eletricidade.

4.1.2 Série de GLP

Figura 26 – Tendência de consumo doméstico de GLP, 1970–2009



Fonte: BRASIL, 2010a

A Figura 26 mostra a série de consumo de GLP em nível (em mil tep). Destaca-se o ponto de inflexão ao final dos anos 90, e flutuação no consumo a partir de 2000. Para gerar previsões próprias, a série é testada em primeiro lugar por elementos determinísticos e a existência de raízes unitárias. Como na série de eletricidade, o teste de ADF é empregado, e o primeiro modelo a ser testado leva tendência e constante, igual à equação 2 após transformação, com uma defasagem segundo o critério de Schwarz. Comparando a estatística τ_τ de -0,293 com o valor crítico de -3,196 ao nível de confiança de 10% (MACKINNON; HAUG; MICHELIS, 1996), não rejeitamos o hipótese nulo que γ é igual a zero.

Em seguida, deve-se verificar a validade da hipótese que $\alpha = 0$ e $\beta = 0$. O resultado é $\tau_\alpha = 0,771 < 2,750 = CV_{10\%}$, e $\tau_\beta = -1,982 < 2,380 = CV_{10\%}$, e, e desde que as estatísticas de teste são abaixo dos valores críticos, não se rejeita que $\alpha = 0$ e $\beta = 0$

Para analisar conjuntamente, realiza-se um teste Φ_3 (DICKEY; FULLER, 1981) com o seguinte teste de hipótese utilizado na série de eletricidade. Como $\Phi_3 = 1,963 < 5,610 = CV_{10\%}$ não se rejeita a hipótese nula de β e γ serem conjuntamente iguais a zero.

Em seguida, testa-se se existe um termo de intercepto, com hipótese $H_0: \alpha=0$. O modelo com intercepto e o menor número de defasagens sem auto-correlação nos resíduos seguia o critério de Akaike com três defasagens. Com valor $\tau_\alpha = 1,976 < 2,180 = CV_{10\%}$, não se rejeita o hipótese nula que α seja nulo. Testa-se então a hipótese conjunta de Φ_1 , e como $\Phi_1 - 2,140 < 3,94 = CV_{10\%}$, não se rejeita que α e γ sejam os dois nulos. Essa conclusão leva a um modelo sem elementos determinísticos, e concluímos que o modelo mais apropriado é o modelo 6:

$$\hat{y}_t = \hat{\beta}_1 y_{t-1} + \hat{\beta}_2 y_{t-1} + \hat{\beta}_3 y_{t-2} + \hat{\beta}_4 y_{t-3} \quad (6)$$

As outras raízes unitárias são realizadas segundo o método na literatura geral, e os resultados são apresentados no Apêndice A. Os testes sem constante confirmaram uma raiz unitária, e o teste KPSS concluiu que a séries não foi estacionária. Deve-se frisar que os testes ADF, Ng-Perron, e Phillips-Perron que incluíram uma tendência, um constante e defasagens segundo o Critério Schwarz rejeitaram uma raiz unitária ao nível de confiança de 5% e portanto estima a série como estável. Não obstante, todos estes testes resultaram em alta autocorrelação nos resíduos, e uma vez especificadas segundo o critério Akaike (que indica três defasagens), o teste ADF não rejeita uma raiz unitária, enquanto os testes de Phillips-Perron (PP) e Ng-Perron (NP) rejeitam, como mostrado no Apêndice A. Os resultados destes testes sofram de autocorrelação nos resíduos e o teste de ADF rejeitou a significância do componente de tendência, mas foram aqui incluídos por questão de integridade.

Finalmente, determina-se o grau de integração da série de GLP através do teste de ADF da primeira diferença da série GLP em log. Ao nível de 1%, rejeita-se a hipótese nula de uma raiz unitária na série transformada, logo rejeita-se que a série é não estacionária: $\hat{\tau}_\mu = -5.34 < -4.22 = CV_{1\%}$. Conclui-se que a série é estacionária após a primeira diferença, o que implica que é integrada da ordem 1, ou I(1), igual à série de eletricidade.

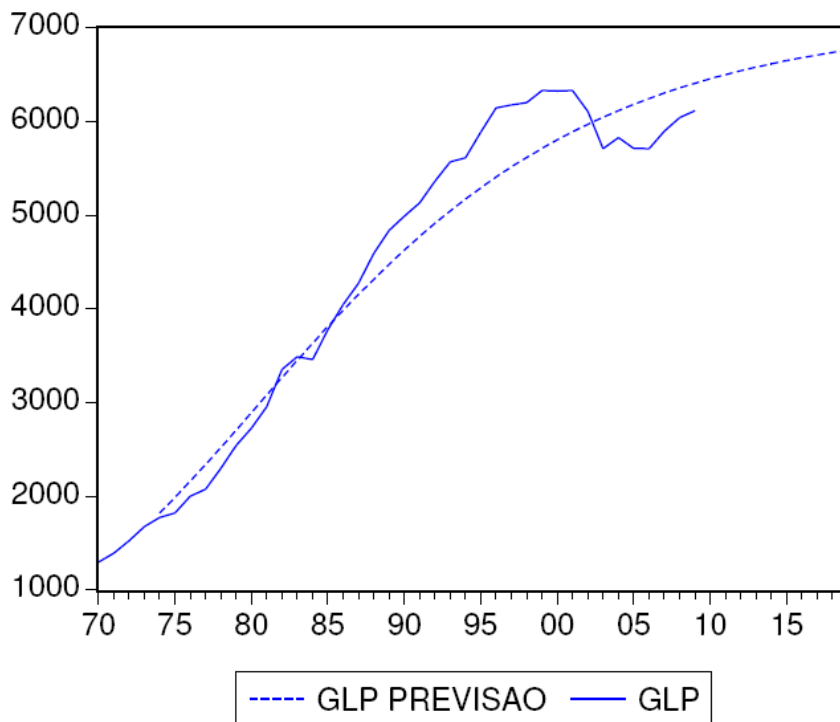
Agora realiza-se a regressão segundo o modelo 6 para gerar um modelo de previsão, com os resultados estatísticos na Tabela 5. Graficamente, a Figura 27 mostra a série de consumo de GLP pelo setor doméstico e a previsão gerada com a equação auto-regressiva.

Tabela 5 – Resultados da equação de previsão, GLP

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0,300	0,150	1,980	0,060
GLPBR L(-1)	0,970	0,020	55,280	0,000
D(GLPBR L(-1))	0,200	0,160	1,240	0,220
D(GLPBR) L(-2))	-0,090	0,160	-0,560	0,580
D(GLPBR) L(-3))	0,340	0,160	2,180	0,040
R-squared	0,998	Mean dependent var		8,370
Adjusted R-squared	0,990	S.D. dependent var		0,410
S.E. Of regression	0,030	Akaike info criterion		-4,020
Sum squared resid	0,030	Schwarz criterio		-3,800
Log likelihood	77,440	F-statistic		1.572
Durbin-Watson stat	1,920	Prob(F-statistic)		0,000

Fonte: Dados de pesquisa, 2011

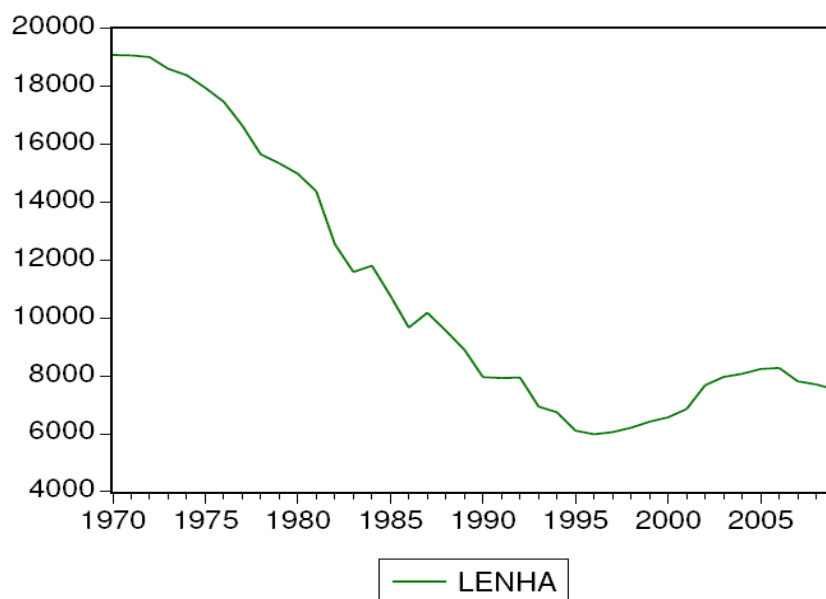
Figura 27 – Equação de previsão e a série original, GLP



Fonte: Dados de pesquisa, 2011; BRASIL, 2010a

4.1.3 Série de Lenha

Figura 28 – Tendência de consumo doméstico de lenha, 1970–2009



Fonte: BRASIL, 2010a

Sendo o uso de lenha no setor doméstico o objetivo de estudo neste trabalho, elabora-se melhor os testes utilizados e os resultados deles. Como se vê na Figura 28, a série de lenha tem uma aparente tendência negativa durante o período de 1970 até 1995, uma leve alta até 2007, quando começa a diminuir de novo. Os motivos desta tendência já foram elaborados nos capítulos 2 e 3—o objetivo desta seção é a estimação da tendência para previsões futuras empregando métodos de séries temporais e a comparação com outras previsões.

Procura primeiro estabelecer a existência e número de raízes unitárias na série para determinar suas propriedades estatísticas para montar o modelo de previsão. O primeiro modelo testado é modelo 1, com tendência e intercepto como elementos determinísticos, e apenas uma defasagem, como especificado pelos critérios de Akaike e Schwarz para este série.

O teste resulta na não rejeição da hipótese nula que $\gamma = 0$ e existe uma raiz unitária, pois se calcula em uma estatística τ_τ estimado acima do valor crítico: ($\tau_\tau = -0,089 > -3,296 = VC_{10\%}$).

Teste-se então a significância do coeficiente da tendência linear:

$$H_0 : \beta = 0$$

$$H_A : \beta \neq 0$$

Para o teste, o valor de $\hat{\tau}_\beta$ resultou em 0,770, e comparado com o valor crítico de 2,38 ao nível de confiança de 10% (DICKY; FULLER, 1981), não se rejeita a hipótese nula que $\beta=0$. O teste conjunto resulta em Φ_3 de 0,2961, abaixo do valor crítico de 10% de 5,61, e portanto não se rejeita a hipótese nula de γ e β serem conjuntamente iguais a zero.

O modelo sem tendência resulta em $\hat{\tau}_\mu = -1,772$, e comparando com os valores críticos calculados por MacKinnon (1996) a 10% de significância, ($\hat{\tau}_\mu = -1,772 > -2,610 = VC_{10\%}$), portanto não se rejeita a hipótese nula que $\gamma = 0$ e existe uma raiz unitária. A estatística de teste no intercepto, $\hat{\tau}_\alpha$, é 1,696, e comparado com o valor crítico de 2,18, não se rejeita a hipótese nula da inexistência de um intercepto no modelo. O teste conjunto que γ e α sejam iguais a zero em conjunto, calcula-se o valor de teste de Φ_1 (DICKY; FULLER, 1981), com

resultado de $\Phi_1=1,526$. Comparado com o valor crítico de 3,940 ao nível de 10%, não se rejeita de γ e α serem iguais a zero, e conclui-se que não há intercepto nem tendência no modelo mais adequado, e leva a seguinte forma:

$$y_t = y_{t-1} + y_{t-2} + \varepsilon_t$$

Foram realizados outros testes de raiz unitária, empregado metodologias diferentes e modelos com e sem elementos determinísticos. O resumo destes testes se encontra no apêndice A—em geral, não existe evidencia para rejeitar uma raiz unitária.

Para medir o número de raízes unitárias, emprega-se o teste Dickey-Pantula (DICKEY; PANTULA, 1987) a partir do suposto de três raízes unitárias, que resulta em uma estatística t na β_1 de -6,47. Comparado com os apropriados valores críticos (DICKEY; FULLER, 1979), rejeita-se que $\beta_1=0$ ao nível de 1% de confiança, o que implica que não existem três raízes unitárias. Testa-se em seguinte para duas raízes unitárias, que emprega o seguinte modelo após modificação para testes de hipótese (DICKEY; PANTULA, 1987):

$$\begin{aligned}\Delta^2 y_t &= \beta_1 \Delta y_{t-1} + \beta_2 y_{t-1} + \varepsilon_t \\ H_0 : \beta_1 &= \beta_2 = 0 \\ H_A : \beta_1, \beta_2 &\neq 0\end{aligned}$$

Onde β_1 e β_2 terão os dois serem iguais a zero para ter duas raízes unitárias. A estatística t em β_1 e β_2 são -7,04 e -2,63 respectivamente, e comparando com os valores críticos em (DICKEY; PANTULA, 1987), rejeita-se que os dois sejam iguais a zero, e que a série tem duas raízes unitárias, que lida para o teste de apenas uma raiz unitária.

As estatísticas t em β_1 e β_2 calculados foram -6,47 e -3,15, e β_3 , -1,64. Rejeita-se a hipótese que $\beta_1=0$ e $\beta_2=0$, mas não que $\beta_3=0$, que significa que existe apenas uma raiz unitária. Neste modelo, não houve problema de auto-correlação segundo o correlograma dos resíduos gerado, e, portanto não existe a necessidade de diferenças adicionais para chegar a um modelo mais estável.

$$\Delta^3 y_t = \beta_1 \Delta^2 y_{t-1} + \beta_2 \Delta y_{t-1} + \beta_3 y_{t-1} + \dot{\varepsilon}_t \quad (7)$$

Para avaliar o grau de integração, aplica-se a primeira diferença à série e testa-se se tem uma raiz unitária via o teste ADF. Ao nível de 1% de confiança, rejeita-se a hipótese nula de uma raiz unitária, e rejeita-se que a série é não estacionária: ($\hat{\tau}_\mu = -4.68 < -4.22 = CV_{1\%}$). Confirma-se que a série é integrada da ordem 1, ou I(1), desde que a primeira diferença da série é estável, e todas as séries de dados nacionais foram integradas da primeira ordem. Com esta informação, monta-se um modelo da série com quatro defasagens e um intercepto, como no modelo seguinte.

$$y_t = \alpha + \sum_{i=1}^4 \beta_i y_{t-i} + \varepsilon_t$$

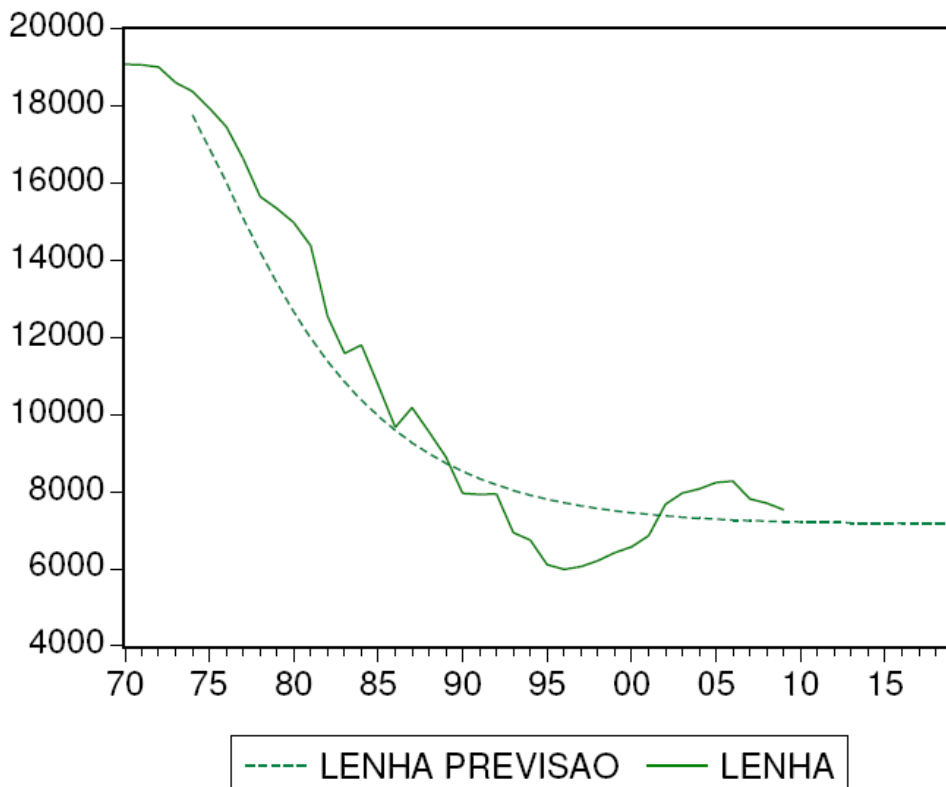
O resultado da estimação desta equação se encontra na Tabela 6. A equação de estimação foi utilizada para gerar uma previsão para os próximos 10 anos, com o resultado na Figura 29. A figura também conta com a série de dados utilizada para gerar a previsão, para efeitos de comparação com a tendência anterior.

Tabela 6 – Resultados da segunda equação de previsão, lenha

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.384	0.215	1.783	0.084
LENHABR L(-1)	1.159	0.168	6.876	0.001
LENHABR L(-2)	-0.213	0.262	-0.814	0.422
LENHABR L(-3)	0.335	0.263	1.273	0.213
LENHABR L(-4)	-0.323	0.162	-2	0.054
R-squared		0.982	Mean dependent var	9.149
Adjusted R-square		0.98	S.D. dependent var	0.352
S.E. Of regression		0.05	Akaike info criterion	-3.018
Sum squared resid		0.078	Schwarz criterion	-2.798
Log likelihood		59.329	F-statistic	423.353
Durbin-Watson stat		2.127	Prob(F-statistic)	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2011

Figura 29 – Equação de previsão e a série original, lenha



Fonte: Dados de pesquisa, 2011; BRASIL, 2010a

A previsão estima uma série de tendência estacionária no futuro de comportamento assintótico acima do valor de 7.170×10^3 tep até 2019. Esta previsão coincide com a teoria de uma diminuição no consumo até um ponto mínimo, onde as preferências dominam a restrição orçamentária como determinante de escolha do combustível utilizado.

A estimativa de consumo pelo setor doméstico no ano 2019 é 17,6% abaixo da estimativa feita pelo BRASIL (2010b) de 8.699×10^3 tep, devido principalmente às metodologias diferentes: A MME calcula o consumo de lenha através de estimativas feitas pelo EPE do número de domicílios com fogão a lenha, multiplicado pelo consumo específico único nacional de 20,0 kg/domicílio/dia. Esta abordagem desconsidera a variação de consumo específico por região e local de moradia, como elaborado por Uhlig (2008). Outra estimativa realizada pela IEA (2006, p. 462) calcula crescimento de 1,9% anual de 2004 até 2030, baseado no suposto da continuidade da tendência entre 1990 e 2004. Porém, o consumo de lenha pelo setor doméstico desde 2004 cresceu de forma decrescente, e inverteu a trajetória no ano 2007.

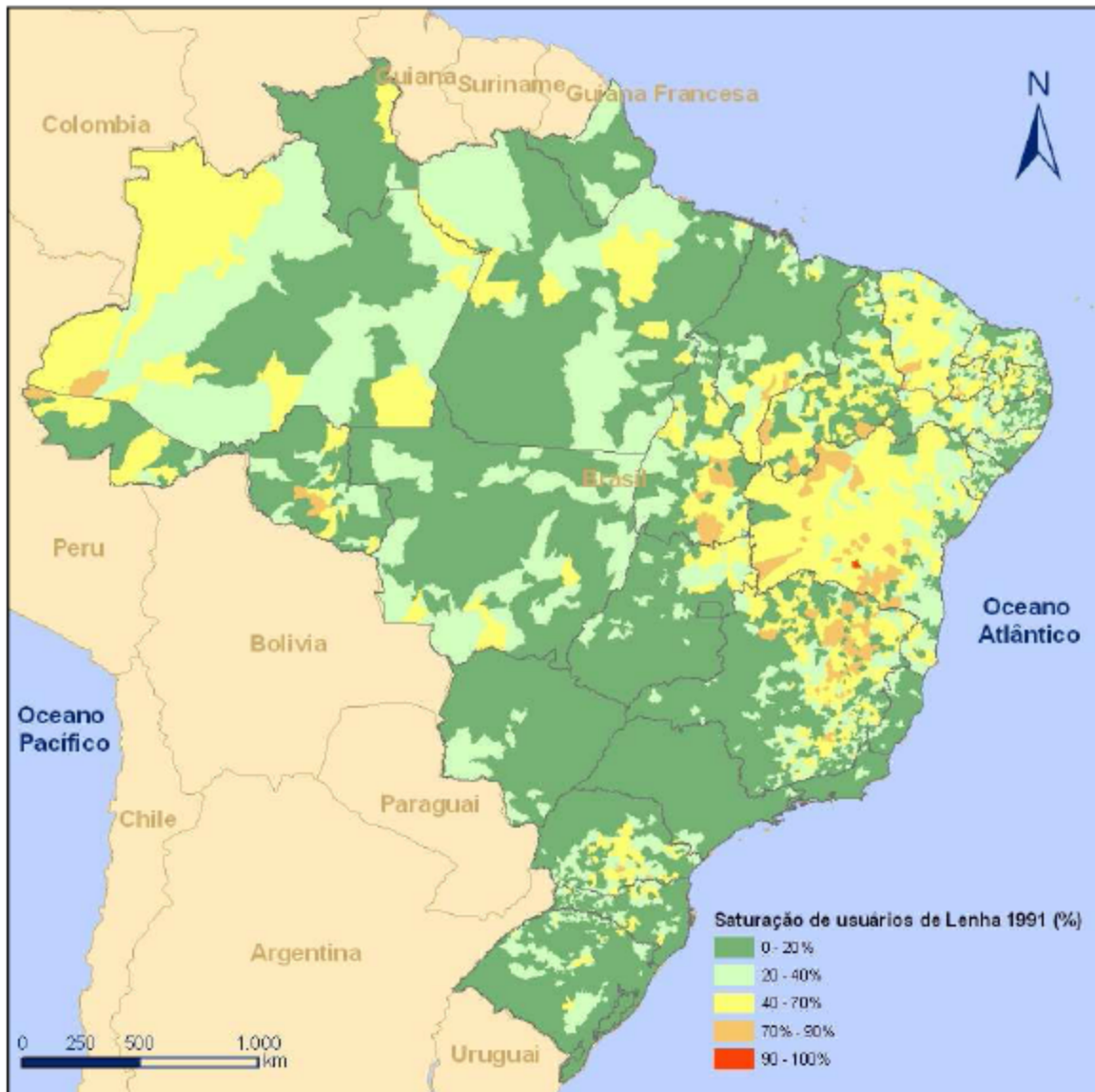
4.2 AVALIAÇÃO DAS SÉRIES DE CONSUMO ESTADUAL

O consumo doméstico de lenha como fonte energética varia de região em região por dependência e intensidade. No seu estudo de casos internacionais, Heltberg (2003) mostra que o consumo de combustíveis freqüentemente não se concentra em uma única fonte, e Uhlig (2008) reconhece esse fato para o Brasil, e segmenta a população por grau de dependência na lenha. No Brasil, observa-se consumo de lenha baixo na região sul e sudeste, mas nas áreas menos desenvolvidas do país, nos domicílios de baixa renda na norte e nordeste, depende-se predominantemente na lenha para a cocção e aquecimento (IEA, 2006).

Uhlig (2008) descobre que os usuários exclusivos de lenha se concentram no interior da Bahia e norte de Minas Gerais, como mostrado na Figura 30. A Bahia é um caso particular, considerada pelo autor um dos três estados em situação crítica quanto ao equilíbrio de oferta-demanda de lenha para fins energéticos, junto com os Estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, e um dos maiores produtores de lenha para consumo doméstico, com Estados de Mato Grosso do Sul e Amazonas. Dada esta distinção, aprofunda-se o estudo no consumo de energia no Estado da Bahia.

O Balanço Energético Nacional (BEN) utiliza dados do nível estadual/regional e estimativas próprias para gerar dados apenas nacionais, mas no âmbito da Empresa de Pesquisa Energética (a órgão que publica o BEN), não existem dados desagregados por região para lenha. A responsabilidade para agregação estadual cai na Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA) dos respectivos estados (STILPEN, 2011).

Figura 30 – Proporção de usuários exclusivos de lenha para a cocção, nível municipal, 1991



Fonte: BRASIL, 2004 *apud* UHLIG, 2008, p. 43

A SEINFRA da Bahia disponibiliza as informações de consumo de lenha, GLP e eletricidade pelo setor doméstico estadual, desde 1993 até 2009 (BAHIA, 2009). Porém, obtenção de dados de uso de lenha no setor doméstico é em muitos casos difíceis. Para dados no início da série, a SEINFRA usa os seguintes relatórios:

1. BAHIA. Fundação Centro Estadual de Planejamento Agrícola. **Consumo de Energia no Setor Agropecuário do Estado da Bahia**. Salvador, 1986.
2. BAHIA. Secretaria de Minas e Energia da Bahia. **Consumo de Energia no Setor Residencial da Bahia**. Salvador, 1983.

3. BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Nacional de Amostragem de Domicílios**, relatórios anuais.

Números atuais consistem em projeções estatísticas feitas pela Seinfra realizada anualmente de “razoável confiabilidade” baseada em valores anteriores (BAHIA, 2009). O mesmo método é utilizado para os setores residencial e agropecuário, e para outros setores, os valores estimados são baseados em resultados de questionários encaminhados às indústrias consumidoras ou, no caso de consumo de lenha no setor Energético, dados fornecidos pelas destilarias de Álcool.

Nas estimativas da Secretaria, o consumo residencial total de energia diminuiu de 2.616×10^3 tep, em 1993, para de 2.077×10^3 tep em 2009, uma diminuição média geométrica de 1,43% ao ano, devido a substituição da lenha para GLP na cocção de alimentos. Os dados também mostram uma queda da participação de 76,2% para 58,1% no uso de lenha no intervalo (BAHIA, 2009).

Observa-se um aumento no uso de lenha em resposta da seca de 2001 como nas estatísticas agregadas nacionais, se bem que em termos menores do que o Brasil como um todo. Desde o ano 2004, a estimativa segue uma metodologia parecida de extrapolação de observações do presente trabalho, mas sob o suposto de tendência linear fixa em vez de modelagem por auto-regressão. O resultado foi uma inclinação negativa estimada de 44.000 tep por ano em uso de lenha, representando uma queda acirrada de dependência na lenha como fonte energética em comparação dos 15 anos anteriores, com diminuição até 3,51% em 2009 comparado a 3,08% em média antes de 2004. O mesmo intervalo de 1993/2009 apresenta uso em alta de lenha no setor doméstico nacional, com taxa positiva de 0,51% ao ano segundo dados da BEN (BRASIL, 2010a), e comparado com dados nacionais na Figura 32, o comportamento nos dados é substancialmente diferente.

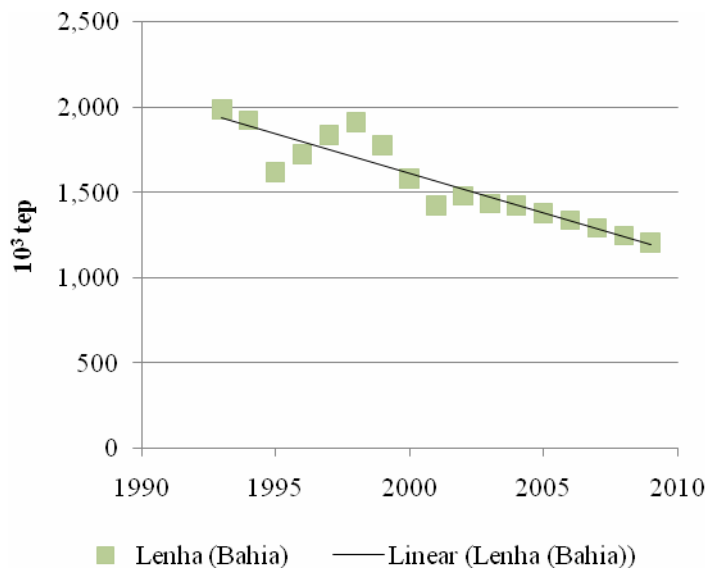
No uso de eletricidade e GLP no nordeste tem se mostrado crescimento consistente durante o intervalo com comportamento parecido ao agregado nacional. O consumo de eletricidade foi beneficiado pelos projetos governamentais nacionais e regionais de ampliação da rede elétrica, com taxa média de crescimento de 5,43%. O processo de substituição de GLP por lenha causou taxa média anual de crescimento de 0,25%, aumentando de 16,4%, em 1993, para 21,4% em 2009.

Tabela 7 – Consumo doméstico de lenha na Bahia e no Brasil, em tep

	Lenha (Bahia)	variação annual (tep)	variação porcentual	Lenha (Brasil)	variação annual (tep)	variação porcentual
1993	1.992	NA	NA	6.942	NA	NA
1994	1.928	-64	-3,22%	6.742	-200	-2,88%
1995	1.623	-305	-15,82%	6.108	-634	-9,40%
1996	1.729	106	6,52%	5.987	-120	-1,97%
1997	1.84	111	6,44%	6.062	74	1,24%
1998	1.915	75	4,06%	6.214	152	2,50%
1999	1.779	-136	-7,11%	6.421	208	3,34%
2000	1.584	-194	-10,92%	6.57	149	2,32%
2001	1.426	-159	-10,02%	6.857	287	4,37%
2002	1.485	59	4,15%	7.675	817	11,92%
2003	1.437	-48	-3,21%	7.964	290	3,77%
2004	1.427	-10	-0,72%	8.074	109	1,37%
2005	1.383	-44	-3,08%	8.235	161	2,00%
2006	1.339	-44	-3,17%	8.276	41	0,50%
2007	1.295	-44	-3,28%	7.812	-464	-5,61%
2008	1.251	-44	-3,39%	7.706	-106	-1,36%
2009	1.207	-44	-3,51%	7.529	-177	-2,29%

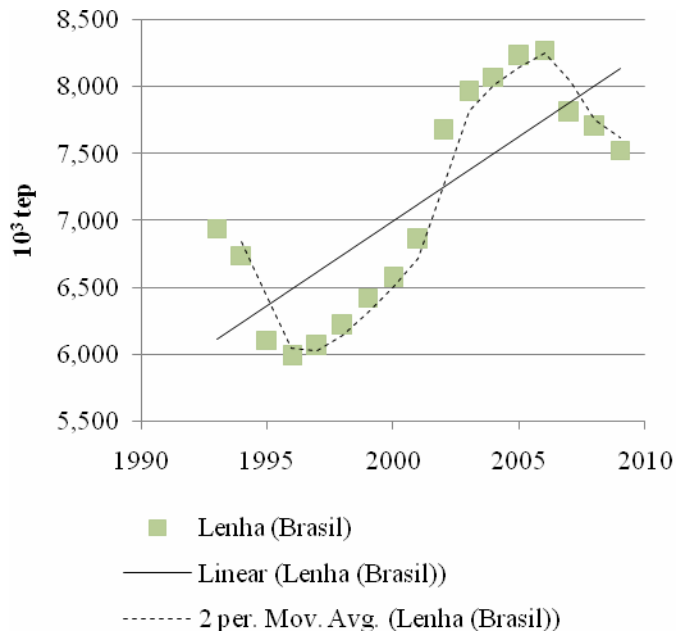
Fonte: BAHIA, 2009

Figura 31 – Consumo de lenha, setor doméstico da Bahia



Fonte: BAHIA, 2009

Figura 32 – Consumo de lenha, setor doméstico do Brasil



Fonte: BRASIL, 2010a

4.3 ESTIMAÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO NA LINHA DE BASE

As externalidades ambientais discutidas no capítulo 2 de emissões de carbono têm impacto global e contribuem ao aquecimento global (GARCIA-FRAPOLLI *et al.*, 2010). De fato, a maior fonte de gases de efeito estufa antropológicos são relacionados ao consumo de combustíveis para a demanda de energia, e soluções para mitigar as emissões globais precisam de mudanças no consumo e geração de energia (SMITH; HAIGLER, 2008).

A padronização do cálculo de emissões facilita várias funções empíricas: Serve para critério de comparação entre países de emissões devido a esse setor, um indicador do progresso para diminuir as emissões para um único país, e medida do tamanho do problema para resolver para guiar políticas públicas.

As estimativas da linha de base de consumo de energia pelo setor doméstico possibilitam a computação das emissões de carbono proveniente do consumo de GLP e de lenha. São estas as duas variáveis de possível variação com a instalação de projetos ou políticas para diminuir as emissões provenientes deste setor e são de interesse particular. Emissões evitadas devem ser calculadas por projeto e comparado com uma linha de base como esta.

Segundo o BERC (2010), a queima de biomassa gera emissões totais superiores à queima de petróleo por kg de combustível, mas as emissões são de composição diferente: as emissões de monóxido de carbono são “consideravelmente superiores” (o quanto depende do método de queima da lenha), produz 1/6 dos óxidos sulfúricos, e a mesma quantidade de óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.

As emissões de matéria particulada têm o maior impacto na saúde e o meio ambiente. A partir de uma perspectiva de saúde, a matéria particulada de diâmetro inferior a 2,5 μm (micrometros) é a mais preocupante, e a queima ineficiente de lenha produz quantias superiores da queima de petróleo (BERC, 2010).

A previsão calculada de consumo de energia é denominada em 10^3 tep, e para chegar em emissões em toneladas equivalentes de CO_2 (tCO_2e), usou-se as seguintes conversões:

Tabela 8 – Transformação, 10^3 tep para tCO_2e

10^3 tep	41.868 GJ	1 TJ	FE tCO_2e
	10^3 tep	10^3 GJ	1 TJ

Fonte: Elaboração própria, 2011

onde GJ representa gigajoules, TJ terajoules, e FE tCO_2e é o fator de emissões de default (*default emissions factor*), de toneladas de emissões equivalentes de CO_2 por TJ, uma medida padrão de emissões de carbono. A FE de lenha é 112 tCO_2e por TJ, segundo o valor estabelecido pela IPCC (GÓMEZ; WATTERSON, 2006), com variância entre 95 e 132 TJ por tCO_2e . O mesmo órgão estima um FE de vários outros combustíveis, inclusive a GLP. As conversões de 41,868 GJ por tep, e 10^9 TJ por 10^{12} GJ são estabelecidas por definição⁷.

A conta oficial mais recente sobre as emissões nacionais se encontra no Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa, publicado em 2010, e abarca o período de 1990-2005 (IPEA, 2011). A IEA (2011) mantém estimativas de emissões mais recentes, e segundo essa agência, o Brasil foi responsável por 420,16 milhões de tCO_2e em 2009. Nesse ano, a EPE do Brasil (2010a) calcula consumo de 7.223×10^3 tep de lenha pelo setor residencial. Estimam-se

⁷ver, por exemplo, ONU (1987), Howes (1991)

emissões de $(7.223 \times 10^3 \times 41.868 \times 112) / (10^3 \times 10^3) = 33,9$ milhões de tCO₂e, provenientes da queima de lenha pelo setor doméstico, com estimativa mínima e máxima de 28,7 e 39,9 milhões. Essa estimativa corresponde a 6,8–9,5% das todas as emissões totais do Brasil naquele ano. Para fins de comparação, Jiménez (2000) realizou estimativas da participação do setor residencial para as emissões totais do México, com resultado de 0,9–2,3% de todas as emissões provenientes da queima de lenha, bem abaixo dos 6,4% reportado pelo órgão nacional responsável para calcular emissões naquele país. Dadas as previsões estimados nesta seção e empregando a fórmula acima elaborada, estimou-se emissões geradas pelo setor doméstico até 2019, reportado na Tabela 9.

Tabela 9 – Emissões geradas pelo consumo de lenha na linha de base, em 10³ tep

ano	Estimativas		
	inferior	média	superior
2010	28.689.907	33.823.890	39.863.870
2011	28.656.118	33.784.055	39.816.922
2012	28.627.850	33.750.729	39.777.645
2013	28.604.281	33.722.942	39.744.895
2014	28.584.699	33.699.856	39.717.687
2015	28.568.494	33.680.751	39.695.171
2016	28.555.140	33.665.007	39.676.615
2017	28.544.186	33.652.093	39.661.396
2018	28.535.248	33.641.555	39.648.976
2019	28.527.995	33.633.005	39.638.898

Fonte: Dados de pesquisa, 2011

Deve-se destacar o suposto empregado aqui que toda a lenha utilizada como combustível pelo segmento residencial é obtida de forma não sustentável. Em casos de reflorestamento ou recuperação de mata nativa após a colheita, as emissões geradas pela queima da lenha podem ser anuladas pela nova plantação, e não são contemplados em metodologias do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para créditos no mercado de carbono (Blunk, 2011, p. 25). Por tanto, este suposto pode causar um viés positivo nas estimativas, acima das emissões verdadeiras provenientes do consumo de lenha.

Destaca-se também que existem dois fatores que têm grande influência nas reais emissões de tCO₂e causadas pela queima de lenha. Primeiro, embora a metodologia estabelecida aqui utilize um único fator de emissões para todo tipo de lenha, o FE pode variar por espécie, e

causar variação nas emissões totais (DARLING, 2011). Segundo, a condição da lenha usada em termos do teor de umidade tem alta influência na densidade energética da lenha (EECA, 2011). Deve-se, portanto, considerar estas estimativas como uma primeira tentativa, para futuros melhoramentos.

Com aplicação prática, uma linha de base como esta pode ser usada para comparar o efeito de um projeto com o objetivo de diminuir as emissões eminentes deste setor. Por exemplo, utilizando as estimativas de coeficientes do capítulo 3, calcula-se que uma queda no preço de GLP de R\$0,01 provocaria uma queda no consumo de lenha de aproximadamente 396 tep consumido pelo setor doméstico, *ceteris paribus*, o que equivale a emissões de 125-174 tCO₂e. A alta no consumo da GLP por causa da queda no seu preço contraria esse efeito em parte, assim como outras mudanças na economia causada pela queda no preço de GLP; a quantificação desses efeitos adicionais é além do escopo deste trabalho.

4.4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A metodologia utilizada acima para a previsão presume que a tendência histórica será mantida nos próximos anos, e serve como modelo útil para previsões de séries temporais. Como exposto acima, métodos de previsão de auto-regressão não tentam construir a verdadeira equação de geração de dados. Esta é, de fato, gerada por um grande conjunto de variáveis exógenas e endógenas, podendo também incluir defasagens da própria variável de estudo. Porém, embora a equação em si tenha pouca interpretação econômica, o método tende a gerar previsões de alta qualidade, empregando observações recentes, e freqüentemente com resultados melhores a modelos estruturais (ENDERS, 2004). Deve-se frisar que, embora não haja problemas técnicos *a priori* sobre esta metodologia de extrapolação para fins de diminuição de emissões, o método terá que ser sujeito à avaliação para ser aprovado como linha de base para redução de emissões (OECD, 2001).

Os números de observações nacionais e regionais são restritos em tempo e freqüência, restringindo a capacidade de previsão de modelos de séries temporais e enfraquecendo o poder dos testes. A significância estatística de séries curtas em duração pode, portanto, enfraquecer as principais conclusões. Acompanhar os dados no futuro, assim como aumentar a freqüência das observações, deve aprimorar as previsões cada vez mais.

Existem outras previsões sobre o uso de combustíveis no setor doméstico que, no período estudado, colaboram com as principais conclusões desta pesquisa. A partir de percentuais da população, a IEA2010 estimou a dependência de biomassa da população brasileira nos próximos 20 anos. Segundo as premissas das Nações Unidas e IBGE sobre crescimento populacional e o suposto de uso pessoal de lenha de 20,0 kg/domicílio/dia (BRASIL 2008; 2010c, p. 45), os resultados conferem com os valores no modelo acima pelo erro de arredondamento.

O Ministério de Minas e Energia do Brasil faz, anualmente, previsões para os próximos anos no que se refere ao uso de energia, empregando os mesmos pressupostos. O modelo básico do MME presume crescimento linear durante todas as previsões da demanda, empregando estimativas do (i) crescimento em consumo de energia por capita; (ii) estimativas do crescimento populacional; e (iii) estimativas do PIB per capita para gerar uma previsão do consumo per capita futuro (BRASIL, 2010c). O método gerou resultados mais conservadores do que os valores aqui elaborados, com a estimativa de $8,699 \times 10^3$ tep para 2019 (BRASIL, 2010c).

Tolmasquim (2007) também monta um modelo para gerar previsões do uso de lenha, eletricidade e GLP e conclui que o uso de lenha continua com uma tendência levemente crescente, com previsões acima das estimativas aqui. Além disso, o autor conclui que, além das três principais fontes de energia atuais, o gás natural liquefeito (GNL) e a cana-de-açúcar serão mais representativos na futura matriz energética no setor doméstico, com uma redução relativa do uso de lenha. O GNL também foi citado como elemento de crescimento na gama de fontes energéticas nos próximos anos pelo Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2010c), mas na visão do MME, deslocará apenas pequena parcela do GLP.

5 CONCLUSÕES, EXTENSÕES & CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais resultados desta pesquisa foram: (1) a caracterização das variáveis que mais afetam o consumo de lenha no setor doméstico brasileiro, (2) a criação de uma previsão de consumo de lenha pelo setor no futuro próximo, e (3) o cálculo de emissões de CO₂ provenientes da queima de lenha doméstica utilizando esta previsão. Os resultados contribuem para o melhor entendimento das variáveis que afetam as decisões de consumo e do impacto de projetos futuros que visam modificar o consumo de combustíveis para a diminuição das emissões causadas pelo setor.

Segundo a literatura sobre a escada energética, o desenvolvimento macroeconômico pode incentivar uma mudança no uso de combustíveis de formas tradicionais para mais modernas (BARNES, 1994). Porém, os mais beneficiados pelo crescimento econômico no curto/médio prazo tendem a ser as populações urbanas, que têm maior acesso aos serviços oferecidos, como a eletrificação e a educação, e tendem a usar combustíveis mais modernos (HELTBERG, 2003). Mostrou-se neste estudo que o crescimento econômico, como medido pelo PIB per capita, não foi estatisticamente significativo para o consumo de lenha.

Concluiu-se que a recente queda na urbanização e o aumento de consumo de lenha foram maiores, ou seja, quanto maior o número de habitantes no meio rural, maior o consumo de lenha. Dado o processo pontual de declínio de urbanização e a baixa significância do PIB per capita no consumo de lenha, o crescimento econômico não se mostrou capaz de diminuir o consumo de lenha para a cocção no curto/médio prazo.

Destaca-se que, no tratamento teórico do capítulo 2, o problema da restrição orçamentária não é a única consideração que afeta decisões sobre a fonte de energia utilizada. As preferências (incluindo as considerações culturais, preferências, e a facilidade de uso), a assimetria de informações quanto aos riscos de saúde e comportamentos já estabelecidos (o chamado *incumbancy*) podem ter efeitos consideráveis, e recomenda-se a incorporação de medidas de preferências em pesquisas futuras. Também se recomenda considerar a significância desses fatores estruturais no aspecto da demanda na avaliação de qualquer intervenção de incentivo à adoção de energias modernas.

Os resultados quanto ao fim do programa de subsídio de GLP e a subsequente alta no seu

preço, e a cessão do programa vale-gás foram correlacionados com a alta no consumo de lenha nos últimos anos. Este resultado está de acordo com a IEA (2006), que também evidenciou a alta nos preços de petróleo como causa da alta no consumo de lenha nos últimos 10 anos, após a queda gradual das décadas anteriores. Entende-se que os subsídios no aspecto da oferta (através de subsídios à indústria de GLP), e da demanda (com o programa de vale-gás) foram bem sucedidos ao incentivarem o consumo de GLP como alternativa à lenha. De acordo com Barnes (2000) e os resultados deste estudo, são necessários subsídios para diminuir o preço de energia para as pessoas mais carentes na luta contra a pobreza, pois despesas de energia representam a maior porcentagem do orçamento de famílias de renda baixa.

Porém, a correlação entre o subsídio de GLP e o consumo de lenha não significa que seja uma boa política pública. Heltberg (2003) recomenda evitar beneficiar algum combustível em particular, e em vez disso, facilitar o acesso a diferentes fontes de energia, para propiciar uma gama maior de opções. A concorrência, dessa forma, produzirá preços menores para os consumidores finais, e ajudará o consumidor a mudar de combustível em reação à variação dos preços relativos. Políticas de subsídios para GLP podem aliviar o ônus do custo de biocombustíveis, mas sofrem de efeitos não antecipados em outros setores, e podem se tornar subsídios regressivos por beneficiar os que já adotaram a nova tecnologia. Portanto, é necessário cuidado especial para beneficiar a construção de programas de ajuda fiscal.

Na literatura, outros autores sugeriram alternativas para estimular a queda no preço de GLP. Por exemplo, uma extensão do programa vale-gás para consumidores finais, até o valor de 3 botijões por ano direcionado aos consumidores rurais, foi sugerido por (Sanga, 2005) como meio de influenciar o preço final sem impactos na cadeia produtiva. Araújo (2006, p. 7) recomenda um esquema de imposto/subsídio *ad valorem* sobre petróleo importado a preços abaixo do valor doméstico, e positivo caso contrário, ou a diminuição na carga tributária sobre o consumo de GLP, agora em 22%. Qualquer uma destas opções, ou outras não mencionadas, devem ser avaliadas por seus próprios méritos e efeitos secundários, mas devido à alta correlação entre o preço de GLP e o consumo de lenha, espera-se que um programa que resulte em uma queda no preço de GLP para o consumidor rural resultaria também em uma alta em seu consumo, e em uma queda no consumo de lenha, *ceteris paribus*.

Existem formas para estender o estudo. Nos testes estatísticos do capítulo 3, este trabalho

focou tão somente no dado oficial de consumo de lenha pelo setor doméstico fornecido pelo MME. Porém, como elaborado no capítulo 3, existe uma grande divergência entre as várias estimativas feitas por órgãos diferentes, e recomenda-se a realização de estudos aprofundados sobre a adequação destas estimativas alternativas. Uma pesquisa futura que calcule este consumo segundo a metodologia estatística de Uhlig (2008), ou levantamentos primários no campo, aprimorará ainda mais o entendimento das variáveis que afetam o consumo de lenha no Brasil.

Os regressores também podem ser aprimorados para focar ainda mais o estudo. O número médio de pessoas por domicílio, por exemplo, foi calculado através de estatísticas nacionais e, portanto, é influenciado pelo tamanho dos domicílios urbanos. Para pesquisa futura, recomenda-se a criação de uma medida que considere apenas os domicílios rurais, para verificar se existe uma diferença significativa entre as taxas de crescimento dos domicílios rurais e urbanos.

Com as variáveis identificadas no capítulo 3 como fatores relevantes, e na mesma linha de previsão no capítulo 4, as previsões podem ser mais robustas utilizando as defasagens das variáveis explicativas para aprimorar a previsão de consumo futuro, com um modelo de auto-regressão em vetores, ou modelo VAR.

Além do mais, será importante seguir os dados no futuro para aprimorar a capacidade explicativa e entender melhor a relação entre as variáveis. Também, a diminuição do nível de agregação dos dados a respeito do consumo de energia por região ou fontes mais específicas, e a geração de dados próprios de comunidades locais podem testar as mesmas relações e dirigir políticas no nível regional.

Finalmente, ampliar o estudo com comparações internacionais e regionais estudadas será capaz de propiciar maior precisão dos testes, fortalecer as principais conclusões, e tornar a relação entre as variáveis mais convincente.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **As portarias (de 1980 a 2001) e os preços médios (2001-2010) mensais Brasil**, por região, por estado e por município. 2011.
- ALMEIDA, E.; MULDER, N. **Enhancing Brazil's regulatory framework for network industries: the case of electricity, oil and gas, and water and sanitation**. Washington, DC: Organisation for Economic Co-operation and Development. 2005.
- ARAGÃO, R. **Dados IBGE**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <uhlig@uol.com.br>. em: 17 out. 2006.
- ARAÚJO, J. T. **A Regulação do setor de GLP no Brasil**. [S.l.], 2006.
- BAHIA. Secretaria de Infraestrutura. **Balanco energético da Bahia 2010: série 1993-2009**. Salvador, 2009. Disponível em: <<http://www.seinfra.ba.gov.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2011.
- BANCO SIDRA. **Domicílios particulares permanentes por classes de rendimento nominal médio mensal domiciliar, combustível usado para cozinhar e situação**. 2004. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp>>. Acesso em: 23 jun. 2011.
- BARNES, D.; HALPERN, J. The role of energy subsidies. In: BROOK, P.; SMITH, S. (Ed.): **Energy and Development Report 2000: energy services for the world's poor**. Washington, DC: The World Bank, 2000.
- BARNES, D. F. *et al.* **What makes people cook with improved biomass stoves? a comparative international review of stove programs**. Washington, D.C.: World Bank, 1994. 44 p. (Paper, n. 242).
- BERC. **Biomass emissions: air emissions from modern wood energy systems**. [S.l.], 2010. Disponível em: <[http://www.biomasscenter.org/images/stories/FSE Biomass Emissions.pdf](http://www.biomasscenter.org/images/stories/FSE%20Biomass%20Emissions.pdf)>. Acesso em: ago. 2011.
- BLUNCK M., *et al.* **Carbon markets for improved cooking stoves**. A GIZ guide for project operators. Eschborn, Alemanha. 2011.
- BRASIL. Ministério de Desenvolvimento Social e Combate à Fome. **Famílias do Programa Auxílio-Gás terão os benefícios financeiros encerrados em 31 de dezembro de 2008**. 2008. Informe. Disponível em: <[http://www.mds.gov.br/bolsafamilia/informes/informegestores/Informe 154.pdf](http://www.mds.gov.br/bolsafamilia/informes/informegestores/Informe%20154.pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2011.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2007: ano base 2006**. 2007. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco**

energético nacional 2010: ano base 2009. 2010a. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano decenal de expansão de energia 2019**. [S.l.], 2010c.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Sobre o PBE**. [S.l.], 2011d. Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Governo pode acabar com programa vale-gás**. jun. 2006. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/resenhaeletronica/MostraMateria.asp?cod=340240>>. Acesso em: 12 mar. 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2011**: ano base 2010—resultados preliminares. 2011e. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 12 ago. 2011.

BRUCE, N. ; PEREZ-PADILLA, R. ; ALBALAK, R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 78, n. 9, p. 1079 - 1092, 2000.

BRYDEN, D. M. *et al.* **Design principles for wood burning cook stoves**. [S.l.]: USAID, 2010.

CAMPELLO, F. ; AROUCHA, M. **Redução de consumo de lenha em usos domésticos e produtivos: preservação ambiental e conservação da biodiversidade**. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE POLUIÇÃO DOMÉSTICA, FOGÕES ECOLÓGICOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, n. 1, 2006, Brasília. **Anais...** Brasília, [S.n.], 2006.

CATTANEO, A. **A Revised stock-flow mechanism to distribute REDD incentive payments across countries**. [S.l.], 2009.

CAVALCANTI, I. F. A. ; KOUSKY, V. E. Drought in Brazil during summer and fall 2001 and associated atmospheric circulation features. **Revista Climanalise**, v. 1, p. 1-10, 2001.

COUTO, L. C. *et al.* Via de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, v. 1, p. 71-92, 2004.

DARLING, D. Wood heat value (btu). In: THE Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living, v. 1, 2011. Disponível em: <<http://www.daviddarling.info/encyclopedia>>. Acesso em: 12 set. 2011.

DICKEY, D. A. ; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 366, p. 427-431, 1979.

DICKEY, D. A. ; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica**, v. 49, n. 4, p. 1057-72, June 1981. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/a/econ/emetrp/v49y1981i4p1057-72.html>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

DICKEY, D. A. ; PANTULA, S. G. Determining the ordering of differencing in autoregressive processes. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 5, n. 4, p. 455, oct. 1987. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/a/bes/jnlbes/v5y1987i4p455-61.html>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

DIEBOLD, F. X. ; KILIAN, L. Unit root tests are useful for selecting forecasting models. **Journal of Business and Economic Statistics**, v. 18, p. 265-273, 1999.

EECA. **Wood energy knowledge centre**. 2011. Disponível em: <<http://www.eecabusiness.govt.nz/renewable-energy/wood-energy-knowledge-centre/>>. Acesso em: 10 maio 2011.

ELGAR, E. Hiperinflação e estabilização no Brasil: o primeiro Plano Collor. **Revista de Economia Política**, v. 11, n. 4, p. 89-114, 1999.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. 2. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004.

EUA. Central Intelligence Agency (CIA). **The CIA world factbook**. Washington, DC: U.S. Printing Office, 2009. Disponível em: <<http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

FAO. Forestry and food security. **Unasyuva**, v. 37, n. 149, p. 8-11, 1985.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **Índices gerais de preços**. 2011. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp>>. Acesso em: ago. 2011.

GARCIA-FRAPOLLI, E. *et al.* Beyond fuelwood savings: valuing the economic benefits of introducing improved biomass cookstoves in the Purépecha region of Mexico. **Ecological Economics**, v. 69, p. 2598-2605, 2010.

GÓMEZ, D. R. ; WATTERSON, J. D. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. In: EGGLESTON, S. *et al.* **Intergovernmental panel on climate change**. Nova Iorque: [S.n.], 2006. v. 2, cap. 2, p. 2.22-2.23. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>.

GOLDEMBERG, J. ; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Revista Estudos Avançados**, v. 59, p. 1, 2006. Disponível em: <[http://www.fcmc.es.gov.br/download/Energia meioambiente.pdf](http://www.fcmc.es.gov.br/download/Energia%20meioambiente.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2011.

GREENE, W. H. **Econometric analysis**. 6. ed. New Jersey: Pearson Education, 2008.

HELLERSTEIN, R. The impact of inflation. **Regional Review**, v. 7, n. 1, p. 1, 1997. Disponível em: <[http://www.bos.frb.org/economic/nerr/tr1997/winter/hell97 1.htm](http://www.bos.frb.org/economic/nerr/tr1997/winter/hell97%201.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2011.

HELPMAN, E. Macroeconomic effects of price controls: the role of market structure. **The Economic Journal**, v. 98, p. 340-354, 1988.

HELTBERG, R. **Household fuel and energy use in developing countries- a multicountry**

study. Washington, D.C: World Bank. 2003.

HOWES, R. *et al.* **The energy sourcebook:** a guide to technology, resources, and policy. [S.l.]: American Institute of Physics, 1991.

HRON, K. ; FILZMOSER, P. Combining soft computing and statistical methods in data analysis. In: BORGELT, C. *et al.* **Elements of robust regression for data with absolute and relative information.** Berlin, 2010. p. 329-335.

IBGE. **Censo demográfico 2000.** Brasília, 2000.

IBGE. **Censo demográfico 2010.** Brasília, 2010.

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios.** [S.l.], 1993. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios.** [S.l.], 1999. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: ago. 2010

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios.** [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

IBGE. **Population projection of Brazil.** IBGE: Brazilian population aging is in an accelerated rhythm and will stop increasing in 30 years. [S.l.], nov. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/english/presidencia/noticias/>>. Acesso em: 12 fev. 2011.

IBGE. **População residente.** [S.l.], 2011. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: jul. 2011

IBGE. **Séries Estatísticas.** Série: PD232 - Domicílios particulares permanentes, por tipo de combustível utilizado no fogão. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx> Acesso em: jul. 2011.

IDER. **Fogões ecoeficientes.** 2010. Disponível em: <<http://wp2.oktiva.com.br/ider/files/2010/01/Folder-Fogões-Ecoeficientes.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **PIB (preços 2009).** [S.l.], 2011. Disponível em: < www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **International energy statistics.** 2011. Disponível em: <<http://205.254.135.24/countries/>>. Acesso: 10 jul. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World energy outlook 2006.** [S.l.], 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World energy outlook 2009.** [S.l.], 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World energy outlook 2010.** [S.l.], 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (Ipea). **Inventário de emissões.**

2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cop/panorama/o-que-o-brasil-esta-fazendo/inventario-de-emissoes>>. Acesso em: 06 dez. 2011.

JANNUZZI, G. M. LPG subsidies in Brazil: an estimate. **Energy for Sustainable Development**, v. 8, n. 3, p. 127-129, 2004.

JIMÉNEZ, R. D. **Consumo de Leña en el sector residencial de México: evolución histórica y emisiones de CO₂**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2000.

KAMMEN, D. M. Cookstoves for the developing world. **Scientific American**, v. 273, n. 1, p. 72, 1995.

LARSON, B. ; ROSEN, S. Household benefits of indoor air pollution control in developing countries. In: USAID/WHO. **Global technical consultation on the health impacts of indoor air pollution and household energy in developing countries**. Washington, D.C: USAID, 2000.

MACKINNON, J. ; HAUG, A.; MICHELIS, L. **Numerical distribution functions of likelihood ratio tests for cointegration**. [S.l.], 1996. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/fth/aixmeq/96a09.html>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

MADDALA, G. S. ; KIM, I. M. **Unit roots, cointegration, and structural change**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1998.

NIEZ, A. **Comparative study on rural electrification policies in emerging economies; keys to successful policies**. [S.l.]: International Energy Agency, 2010.

NORBERG, J. **In defense of global capitalism**. [S.l.]: Cato Institute, 2003.

OECD. **Framework for baseline guidelines**. [S.l.], 2001. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/16/34/2390669.pdf>>. Acesso em: set. 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Energy statistics: definitions, units of measure and conversion factors**. [S.l.], 1987.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **UN-backed 'clean stove' initiative to save lives and heal environment**. set. 2010. Disponível em: <<http://www.un.org/apps/news/story.asp>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

PAMPLONA, N. **Gás de cozinha: 4 anos sem aumento**. jun. 2006. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/resenhaeletronica/MostraMateria.asp?cod=340239>>. Acesso em: 10 abr. 2011.

PEREIRA, L. C. B. ; NAKANO, Y. **Economic problems of the 1990s**, 1991.

PINHEIRO, P. C. D. C. ; FERREIRA, O. C. Redução da vulnerabilidade no suprimento de glp no Brasil. In: III CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA, v. 2-239, 1997, Cidade de México. **Anais...** Havana, Cuba: CIDIM 97, 1997. p. 6.

PITT, M. ; ROSENZWEIG, M. ; HASSAN, N. **Sharing the burden of disease: gender, the household division of labor and the health effects of indoor air pollution.** [S.l.], 2005.

SANDLER, R. Best available document. **Environment**, v. 25, p. 40-44, 1983.

SANGA, G. A. ; JANNUZZI, G. D. **Impacts of efficient stoves and cooking fuel substitution in family expenditures of urban households in Dar es Salaam, Tanzania.** Campinas, 2005. Disponível em: <[http://www.iei-la.org/documents/E. D. PAPER No. 2.59.01-05.pdf](http://www.iei-la.org/documents/E.D.PAPER.No.2.59.01-05.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2009.

SINE, B. M.; STRONG, R. A. **Ethical and professional standards and quantitative methods.** Mexico City: CFA Institute, 2011. cap. 12, p. 645-700.

SMITH, K. R.; HAIGLER, E. Co-benefits of climate mitigation and health protection in energy systems: Scoping methods. **Annual Review of Public Health**, v. 29, p. 11-25, 2008.

SPRINGER, W. L. Consumer spending and the rate of inflation. **The Review of Economics and Statistics**, v. 59, p. 299-306, 1977.

STILPEN, D. V. d. S. **Dúvidas sobre consumo de lenha.** [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: daryl.w.brown@gmail.com em: 19 set. 2011.

TOLMASQUIM, M. ; GUERREIRO, A. ; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma perspectiva. **Novos Estudos CEBRAP**, v. 79, p. 47-69, 2007.

UHLIG, A. **Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia - USP, São Paulo, 2008.

VALLADARES, G. **Efficient stoves.** Salvador, Ambiental PV, 09 set. 2008. Entrevista a Daryl Brown.

VARIAN, H. **Microeconomic analysis.** 3. ed. [S.l.]: W.W. Norton & Company, 1992.

WALTER, A. ; DOLZAN, P. ; PIACENTE, E. **Biomass energy and bio-energy trade: historic developments in Brazil and current opportunities.** [S.l.], 2006.

WORLD ENERGY OUTLOOK – WEO. **The transition to modern energy services.** [S.l.], 2011. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/energy_services.asp>. Acesso em: 13 ago. 2011.

WITKIN, J. A trek for cleaner cookstoves. **New York Times**, New York. out. 2011. Disponível em: <<http://green.blogs.nytimes.com/2011/10/05/a-trek-for-cleaner-cookstoves/>>. Acesso em: 10 out. 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Testes estatísticos

Modelo Irrestrito

Source	SS	df	MS	Number of obs = 30		
Model	1.76955515	7	.252793593	F(7, 22) =	62.15	
Resid	.089480063	22	.004067276	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9519	
				Adj R-squared =	0.9366	
Total	1.85903522	29	.064104663	Root MSE =	.06378	

wood	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
urban	.4912934	.334598	1.47	0.156	-.2026204	1.185207
subs	.0222161	.0209679	1.06	0.301	-.0212688	.0657009
lpg	.2012902	.054111	3.72	0.001	.0890709	.3135095
inf	-.0195482	.0063339	-3.09	0.005	-.0326838	-.0064126
hhdsz	-.4840803	.6143686	-0.79	0.439	-1.758203	.7900421
gdpcap	.2327068	.331565	0.70	0.490	-.454917	.9203305
drought	.0019324	.0640777	0.03	0.976	-.1309567	.1348215
çons	10.35014	1.123172	9.22	0.000	8.020823	12.67945

Modelo Restrito

Source	SS	df	MS	Number of obs = 30		
Model	1.76552509	4	.441381273	F(4, 25) =	118.00	
Resid	.093510124	25	.003740405	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9497	
				Adj R-squared =	0.9417	
Total	1.85903522	29	.064104663	Root MSE =	.06116	

wood	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
urban	.2310923	.19941	1.16	0.257	-.1796002	.6417849
subs	.0341342	.0125497	2.72	0.012	.0082875	.0599809
lpg	.1901469	.0439953	4.32	0.000	.0995368	.280757
inf	-.0194685	.0050216	-3.88	0.001	-.0298107	-.0091263
cons	9.651097	.3283648	29.39	0.000	8.974817	10.32738

Testes de Raiz Unitária da Série de Eletricidade

TESTE	TEST STAT	CV _{10%}	CV _{1%}	MODELO	CONCLUSÃO
ADF	-1.4391	-3.1983	-4.2191	const, tend	não se rejeita RU
ADF	-2.6582	-2.6103	-3.6210	const	não se rejeita RU
DFGLS	-1.1903	-2.8900	-3.7700	const, tend	não se rejeita RU
PP	-1.1131	-3.1964	-4.2119	const, tend	não se rejeita RU
NG-PERRON	-1.1855	-2.6200	-3.4200	const, tend	não se rejeita RU
NG-PERRON	0.4828	-1.6200	-2.5800	const	não se rejeita RU
KPSS	0.3197	0.1190	0.2160	const, tend	não estacionária
KPSS	0.7549	0.3470	0.7390	const	não estacionária

Testes de Raiz Unitária da Série de GLP

TESTE	TEST STAT	CV _{10%}	CV _{1%}	MODELO	CONCLUSÃO
ADF	-0,29	-3,20	-4,22	const tend	não se rejeita RU
ADF	-1,94	-2,61	-3,62	const	não se rejeita RU
ADF	0,61	-1,61	-2,63	Nenhum	não se rejeita RU
DFGLS	-1,49	-2,89	-3,77	const tend	não se rejeita RU
DFGLS	-0,27	-1,61	-2,63	const	não se rejeita RU
PP	-0,34	-3,20	-4,21	const tend	não se rejeita RU
PP	-4,33	-2,61	-3,61	const	rejeita-se RU
NG-PERRON	-2,95	-2,62	-3,42	const tend	rejeita-se RU
NG-PERRON	-0,50	-1,62	-2,58	const	não se rejeita RU
KPSS	0,67	0,12	0,22	const tend	não estacionária
KPSS	0,70	0,35	0,74	const	não estacionária 5%

Testes de Raiz Unitária da Série de Lenha

TESTE	TEST STAT	CV _{10%}	CV _{1%}	MODELO	CONCLUSÃO
ADF	-0,09	-3,20	-4,22	const tend	não se rejeita RU
ADF	-1,70	-2,61	-3,62	const	não se rejeita RU
DFGLS	-0,94	-2,89	-3,77	const tend	não se rejeita RU
DFGLS	-0,43	-1,61	-2,63	const	não se rejeita RU
PP	-0,6	-3,20	-4,21	const tend	não se rejeita RU
PP	-1,49	-2,61	-3,61	const	não se rejeita RU
NG-PERRON	-0,98	-2,62	-3,42	const tend	não se rejeita RU
NG-PERRON	-0,17	-1,62	-2,58	const	não se rejeita RU
KPSS	0,167920	0,12	0,22	const tend	não estacionária
KPSS	0,651757	0,35	0,74	const	não estacionária

APÊNDICE B – Séries de dados

Dado	Descrição	Fonte
A	Consumo de lenha, setor doméstico, em 10 ³ tep	(BRASIL, 2010a)
B	Consumo de GLP, setor doméstico, em 10 ³ tep	(BRASIL, 2010a)
C	PIB per capita, em reais de agosto, 1994	(IPEA, 2011)
D	Índice de ruralidade (medida da urbanização)	(IBGE, 2010)
E	Preço de GLP, em reais de agosto, 1994	(ANP, 2011)
F	IGP-DI taxa de inflação	(FGV, 2011)
G	Número médio de habitantes por domicílio	(BRASIL, 2000; <i>ibid.</i> , 2010b; IBGE, 2011; PNAD, de 1999 até 2009.)
H	Estimativa do subsídio de GLP per capita, em reais de agosto, 1994	(JANNUZZI, 2004)
I	Variável <i>dummy</i> para a seca de 2001	Conta própria, 2011

Todos os dados são apresentados antes de transformação em log para aplicação. Itens C, D, E, G e H foram transformados ou calculados a partir dos dados da fonte indicada segundo explicado no capítulo 10. A, B e F são idênticas aos dados na fonte.

Dados Usados na Regressão, em nível

ANO	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1980	14973,83	2728,13	13,5929	0,4796	0,32849	1,20E-09	5,4515	0,0163	0
1981	14366,78	2954,35	12,7130	0,4588	0,30417	2,33E-09	5,1900	0,0177	0
1982	12542,54	3354,15	12,5225	0,4397	0,28923	4,72E-09	5,0031	0,0162	0
1983	11585,33	3489,52	11,8793	0,4221	0,31408	1,47E-08	4,9734	0,0149	0
1984	11805,35	3460,43	12,2376	0,4060	0,30578	4,83E-08	4,9668	0,0163	0
1985	10763,54	3778,06	12,9088	0,3911	0,30408	1,66E-07	4,8722	0,0136	0
1986	9668,13	4048,09	13,5881	0,3774	0,20769	2,67E-07	4,8828	0,0104	0
1987	10179,43	4273,13	13,7864	0,3647	0,21844	1,42E-06	4,7912	0,0117	0
1988	9559,05	4594,68	13,5122	0,3530	0,17447	1,73E-05	4,7169	0,0113	0
1989	8904,29	4837,18	13,6794	0,3422	0,10758	3,65E-04	4,6101	0,0136	0
1990	7959,78	4988,00	12,8527	0,3322	0,14519	4,80E-03	4,3006	0,0163	0
1991	7927,56	5131,03	12,7674	0,3229	0,12569	0,0287	4,2205	0,0139	0
1992	7945,84	5360,36	12,5021	0,3141	0,15353	0,3632	4,1409	0,0204	0
1993	6941,84	5570,58	12,8781	0,3055	0,14154	10,7194	4,0867	0,0217	0
1994	6741,66	5612,51	13,3530	0,2966	0,14828	108,0525	4,0262	0,0353	0
1995	6107,66	5887,46	13,7283	0,2869	0,13315	124,2871	3,9753	0,0253	0
1996	5987,42	6143,92	13,8107	0,2762	0,12887	135,7473	3,9582	0,0326	0
1997	6061,79	6176,59	14,0627	0,2645	0,11396	145,4001	3,9387	0,0353	0
1998	6213,63	6202,41	13,8585	0,2525	0,15057	148,0736	3,9050	0,0434	0
1999	6421,25	6331,81	13,6877	0,2411	0,22842	177,5482	3,8904	0,0448	0
2000	6569,99	6325,17	14,0666	0,2308	0,28173	194,4444	3,7921	0,0515	0
2001	6857,25	6330,27	14,0440	0,2222	0,34319	214,3359	3,6719	0,0381	1
2002	7674,70	6106,83	14,2132	0,2150	0,42636	273,6192	3,6340	0,0176	1
2003	7964,21	5709,80	14,1801	0,2090	0,41725	292,6252	3,5512	0,0230	0
2004	8073,64	5828,33	14,7944	0,2040	0,39184	327,3736	3,5007	0,0000	0
2005	8234,98	5712,66	15,0723	0,1997	0,36714	332,0264	3,3957	0,0000	0
2006	8276,07	5709,80	15,4846	0,1961	0,38937	344,1162	3,3299	0,0000	0
2007	7812,00	5896,15	16,2460	0,1930	0,38014	372,3075	3,2591	0,0000	0
2008	7705,67	6042,79	16,9070	0,1902	0,34336	404,2145	3,2279	0,0000	0
2009	7528,87	6114,94	16,6342	0,1877	0,36626	400,4110	3,2124	0,0000	0

Preço de GLP ao consumidor: Reais de Maio, 1994, por quilograma, Década de 80

Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG
1980/01	0,35	1983/01	0,30	1986/01	0,23	1989/01	0,06
1980/02	0,34	1983/02	0,28	1986/02	0,22	1989/02	0,13
1980/03	0,32	1983/03	0,31	1986/03	0,21	1989/03	0,13
1980/04	0,31	1983/04	0,30	1986/04	0,21	1989/04	0,12
1980/05	0,31	1983/05	0,28	1986/05	0,21	1989/05	0,11
1980/06	0,32	1983/06	0,34	1986/06	0,21	1989/06	0,10
1980/07	0,34	1983/07	0,33	1986/07	0,21	1989/07	0,10
1980/08	0,35	1983/08	0,33	1986/08	0,21	1989/08	0,09
1980/09	0,33	1983/09	0,33	1986/09	0,20	1989/09	0,10
1980/10	0,34	1983/10	0,29	1986/10	0,20	1989/10	0,12
1980/11	0,32	1983/11	0,34	1986/11	0,20	1989/11	0,11
1980/12	0,32	1983/12	0,34	1986/12	0,18	1989./12	0,12
1981/01	0,30	1984/01	0,33	1987/01	0,16		
1981/02	0,28	1984/02	0,36	1987/02	0,15		
1981/03	0,26	1984/03	0,33	1987/03	0,20		
1981/04	0,28	1984/04	0,30	1987/04	0,20		
1981/05	0,32	1984/05	0,28	1987/05	0,22		
1981/06	0,30	1984/06	0,25	1987/06	0,31		
1981/07	0,32	1984/07	0,23	1987/07	0,25		
1981/08	0,33	1984/08	0,23	1987/08	0,24		
1981/09	0,31	1984/09	0,36	1987/09	0,22		
1981/10	0,32	1984/10	0,32	1987/10	0,22		
1981/11	0,33	1984/11	0,35	1987/11	0,22		
1981/12	0,31	1984/12	0,34	1987/12	0,22		
1982/01	0,30	1985/01	0,36	1988/01	0,21		
1982/02	0,28	1985/02	0,33	1988/02	0,21		
1982/03	0,31	1985/03	0,37	1988/03	0,20		
1982/04	0,30	1985/04	0,35	1988/04	0,19		
1982/05	0,30	1985/05	0,32	1988/05	0,19		
1982/06	0,31	1985/06	0,30	1988/06	0,18		
1982/07	0,29	1985/07	0,29	1988/07	0,17		
1982/08	0,28	1985/08	0,27	1988/08	0,17		
1982/09	0,28	1985/09	0,27	1988/09	0,16		
1982.10	0,28	1985.10	0,28	1988/10	0,16		
1982/11	0,27	1985/11	0,26	1988/11	0,15		
1982/12	0,26	1985/12	0,25	1988/12	0,12		

Preço de GLP ao consumidor: Reais de Maio, 1994, por quilograma, década de 90

Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG
1990/01	0,15	1993/01	0,14	1996/01	0,14	1999/01	0,18
1990/02	0,15	1993/02	0,14	1996/02	0,14	1999/02	0,18
1990/03	0,16	1993/03	0,08	1996/03	0,14	1999/03	0,19
1990/04	0,18	1993/04	0,14	1996/04	0,14	1999/04	0,21
1990/05	0,16	1993/05	0,15	1996/05	0,14	1999/05	0,22
1990/06	0,15	1993/06	0,09	1996/06	0,13	1999/06	0,22
1990/07	0,13	1993/07	0,16	1996/07	0,13	1999/07	0,25
1990/08	0,13	1993/08	0,16	1996/08	0,12	1999/08	0,26
1990/09	0,14	1993/09	0,16	1996/09	0,12	1999/09	0,27
1990/10	0,12	1993/10	0,16	1996/10	0,12	1999/10	0,26
1990/11	0,13	1993/11	0,16	1996/11	0,12	1999/11	0,25
1990/12	0,13	1993/12	0,16	1996/12	0,12	1999/12	0,25
1991/01	0,12	1994/01	0,15	1997/01	0,11		
1991/02	0,13	1994/02	0,14	1997/02	0,11		
1991/03	0,12	1994/03	0,14	1997/03	0,11		
1991/04	0,11	1994/04	0,14	1997/04	0,11		
1991/05	0,11	1994/05	0,21	1997/05	0,11		
1991/06	0,13	1994/06	0,18	1997/06	0,11		
1991/07	0,13	1994/07	0,15	1997/07	0,11		
1991/08	0,12	1994/08	0,14	1997/08	0,11		
1991/09	0,11	1994/09	0,14	1997/09	0,11		
1991/10	0,13	1994/10	0,13	1997/10	0,11		
1991/11	0,14	1994/11	0,13	1997/11	0,12		
1991/12	0,15	1994/12	0,13	1997/12	0,13		
1992/01	0,15	1995/01	0,12	1998/01	0,13		
1992/02	0,15	1995/02	0,12	1998/02	0,13		
1992/03	0,15	1995/03	0,12	1998/03	0,14		
1992/04	0,14	1995/04	0,12	1998/04	0,15		
1992/05	0,15	1995/05	0,12	1998/05	0,15		
1992/06	0,15	1995/06	0,13	1998/06	0,15		
1992/07	0,16	1995/07	0,15	1998/07	0,15		
1992/08	0,17	1995/08	0,14	1998/08	0,15		
1992/09	0,16	1995/09	0,15	1998/09	0,15		
1992/10	0,17	1995/10	0,14	1998/10	0,15		
1992/11	0,14	1995/11	0,14	1998/11	0,15		
1992/12	0,14	1995/12	0,14	1998/12	0,18		

Preço de GLP ao consumidor: Reais de Maio, 1994, por quilograma, 2000-07/2011

Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG	Mês	R\$/KG
2000/01	0,25	2003/01	0,43	2006/01	0,37	2009/01	0,34
2000/02	0,25	2003/02	0,42	2006/02	0,37	2009/02	0,34
2000/03	0,25	2003/03	0,41	2006/03	0,38	2009/03	0,34
2000/04	0,25	2003/04	0,42	2006/04	0,39	2009/04	0,35
2000/05	0,25	2003/05	0,42	2006/05	0,39	2009/05	0,36
2000/06	0,24	2003/06	0,43	2006/06	0,40	2009/06	0,36
2000/07	0,30	2003/07	0,42	2006/07	0,40	2009/07	0,37
2000/08	0,32	2003/08	0,42	2006/08	0,40	2009/08	0,37
2000/09	0,31	2003/09	0,41	2006/09	0,40	2009/09	0,39
2000/10	0,31	2003/10	0,41	2006/10	0,39	2009/10	0,39
2000/11	0,32	2003/11	0,41	2006/11	0,39	2009/11	0,39
2000/12	0,34	2003/12	0,40	2006/12	0,39	2009/12	0,39
2001/01	0,34	2004/01	0,40	2007/01	0,39	2010/01	0,39
2001/02	0,34	2004/02	0,40	2007/02	0,39	2010/02	0,39
2001/03	0,34	2004/03	0,40	2007/03	0,39	2010/03	0,38
2001/04	0,33	2004/04	0,41	2007/04	0,39	2010/04	0,38
2001/05	0,33	2004/05	0,40	2007/05	0,39	2010/05	0,37
2001/06	0,33	2004/06	0,40	2007/06	0,39	2010/06	0,37
2001/07	0,34	2004/07	0,39	2007/07	0,38	2010/07	0,37
2001/08	0,35	2004/08	0,39	2007/08	0,38	2010/08	0,37
2001/09	0,35	2004/09	0,38	2007/09	0,37	2010/09	0,36
2001/10	0,36	2004/10	0,38	2007/10	0,37	2010/10	0,36
2001/11	0,36	2004/11	0,37	2007/11	0,37	2010/11	0,35
2001/12	0,36	2004/12	0,37	2007/12	0,36	2010/12	0,35
2002/01	0,41	2005/01	0,37	2008/01	0,36	2011/01	0,35
2002/02	0,42	2005/02	0,37	2008/02	0,36	2011/02	0,34
2002/03	0,41	2005/03	0,37	2008/03	0,35	2011/03	0,34
2002/04	0,45	2005/04	0,36	2008/04	0,35	2011/04	0,34
2002/05	0,44	2005/05	0,36	2008/05	0,34	2011/05	0,34
2002/06	0,47	2005/06	0,36	2008/06	0,34	2011/06	0,34
2002/07	0,47	2005/07	0,36	2008/07	0,34	2011/07	0,34
2002/08	0,44	2005/08	0,37	2008/08	0,34		
2002/09	0,40	2005/09	0,37	2008/09	0,34		
2002/10	0,38	2005/10	0,37	2008/10	0,34		
2002/11	0,41	2005/11	0,37	2008/11	0,33		
2002/12	0,42	2005/12	0,37	2008/12	0,34		