

Impacto de indicadores macroeconômicos no consumo de energia elétrica

Vinicius Jokubauskas^{1*}; Nuno Manoel Martins Dias Fouto²

¹ Engenheiro Eletricista. Rua Francisco C. Barbosa, 308 – Jardim Santa Maria 2; 13847-063 Mogi Guaçu, SP, Brasil

² FEA USP; Av. Prof. Luciano Gualberto, 908 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-010

*autor correspondente: nome@email.com

Impacto de indicadores macroeconômicos no consumo de energia elétrica

Resumo

O consumo de energia elétrica, por estar presente em todos os setores da sociedade, pode ser um indicador interessante sobre o estado atual de uma economia. O estudo da relação entre o consumo e outros indicadores macroeconômicos e ambientais pode possibilitar um entendimento maior das relações macroeconômicas, funcionando como mais um parâmetro de análise. O objetivo deste trabalho foi a busca de relações estatisticamente relevantes entre o consumo de energia elétrica no Brasil em três recortes setoriais, consumo total, residencial e residencial de baixa renda e indicadores macroeconômicos e ambiental — temperatura — para o entendimento da interdependência entre indicadores e consumo energético. Para o estudo das relações foram feitos modelos lineares simples para cada um dos indicadores utilizados (PIB, IPCA, SELIC, temperatura, recursos livres e salário mínimo) sendo que para cada indicador foram criadas variáveis como médias móveis e valores acumulados; após todos os modelos feitos para cada um dos recortes setoriais, foram gerados modelos para cada um dos recortes agregando os indicadores que tiveram significância estatística de modo isolado. O consumo total de energia elétrica mostrou sensibilidade a todos os indicadores selecionados; já o consumo residencial, sensível a todos os indicadores, foi mais afetado por indicadores de renda e ambiental; enquanto o consumo residencial de baixa renda não apresentou modelos estatisticamente significantes para indicadores como o salário mínimo e temperatura. Indicadores macroeconômicos e ambientais apresentaram-se como preditores viáveis de movimentos no consumo energético.

Palavras-chave: Inflação, SELIC, PIB, lineares, eletricidade

Impact of macroeconomic indicators on power consumption

Abstract

The power consumption present in several social sectors could work as an interesting gauge of the current economic situation. The relationship between power consumption and macroeconomic and environmental investigation can bring more understanding of the economic relations, working by itself as another gauge. The project's goal is to seek relevant statistical relationships between power consumption and the economic and environmental selected indicators — PIB, IPCA, SELIC, temperature, credit availability (recursos livres), and minimum wage—, using three different slices of our data — the total power consumption, the residential power consumption, and the low-income residential power consumption — for a better understanding of the relationship of the indicators and power consumption. To investigate the relationships, it was made linear models for each of the selected indicators, and for each of the sectors it was created new variables, such as moving averages and accumulated values; after the individual models were created and studied it was made three new models for each of the economical slices using all indicators with statistical significance together. The general power consumption has shown elasticity to all indicators studied, while the residential power consumption was more sensible to environmental and income indicators still being sensitive to the other indicators; the low-income hasn't had any sensitivity to the minimum wage and the temperature changes. Macroeconomic and environmental indicators have worked as good predictors of power consumption changes.

Keywords: Inflation, gdp, linear, interest, electricity

Introdução

A interdependência entre indicadores macroeconômicos como a relação entre os níveis de inflação e o crescimento das economias—podendo causar impactos tanto positivos quanto negativos, dependendo da magnitude e da fase econômica do país—encontrado em López-Villavicencio e Mignon (2011); os impactos das taxas de juros no produto interno bruto (Ang et al, 2006) ou as taxas de juros nas metas inflacionárias e produção industrial encontrado em Oliveira e Abrita (2015) já é amplamente estudada. Entretanto, estudos sobre os impactos desses mesmos fatores em outros indicadores, não tão óbvios quanto o consumo energético, são mais raros.

Este trabalho parte da premissa que o consumo energético de um país, mesmo não sendo um indicador macroeconômico em sua concepção, pode apresentar uma certa interdependência com fatores como inflação e taxa de juros, já que o consumo energético está intimamente ligado ao consumo e ao nível de aquecimento da economia, considerando que um parque industrial com toda sua capacidade em uso apresentará um consumo muito maior do que um parque industrial ocioso devido a economia desaquecida, ou por mudanças bruscas na taxa básica de juros (Oliveira e Abrita, 2015).

Os dados de consumo energético mensal utilizados neste trabalho são coletados e disponibilizados para o público geral de forma gratuita, de acordo com a Portaria nº 331 de 29 de julho de 2005 do MME e a Resolução Normativa ANEEL nº 414 de 09 de setembro de 2010 (Empresa de Pesquisa Energética, 2019), pela Empresa de Pesquisa Energética [EPE]. Os dados vão desde 01 de janeiro de 2013 até 31 de dezembro de 2019 sendo possível a segmentação em vários fatores, onde os mais importantes neste estudo são por setores econômicos e geografia.

Os indicadores macroeconômicos amplamente conhecidos e estudados, como a inflação, representada pelo IPCA neste trabalho, o produto interno bruto e a taxa básica de juros [SELIC] foram utilizados devido ao seu fácil acesso e pela grande quantidade de estudos relacionando estes indicadores à impactos em setores da economia, como encontrados, por exemplo, em Musarat et al. (2021). Além desses mais tradicionais, foram estudados também os impactos de indicadores da concessão de crédito (Recurso Livres) para a população e da variação do salário mínimo, no consumo de energia—por representarem, respectivamente, a quantidade de recursos extras na economia, cedidos por empréstimos; e a renda advinda de trabalhos com carteira assinada. Por acreditar-se que o consumo de energia não é apenas pautado por movimentos macroeconômicos e que fatores ambientais também influenciam o consumo, a relação entre a temperatura e o consumo energético foi modelada, pois como visto em Pérez-Lombard et al. (2008), o conforto térmico é uma das principais fontes de consumo energético.

Este trabalho teve como objetivo estudar os impactos de fatores macroeconômicos e de um fator ambiental (temperatura) no consumo energético mensal no Brasil, de forma

isolada, e de forma combinada, ou seja, incluindo todos os fatores ambientais e macroeconômicos em apenas um modelo linear para cada um dos recortes de consumo selecionados—consumo de energia mensal total, consumo de energia mensal residencial e residencial de baixa renda.

Material e Métodos

Este trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa descritiva quantitativa, segundo objetivo e natureza dos dados (Gil, 2017)

Coleta e preparação de dados

Para a elaboração deste trabalho, foram utilizadas várias fontes de dados. Os dados utilizados e seus bancos de dados de origem estão listadas abaixo:

Base de dados de consumo Empresa de Pesquisa Energética [EPE] (2022) — Consumo energia histórico no Brasil, de 01 de janeiro de 2013 até 01 de dezembro de 2019. Os dados são segmentados em vários subgrupos, sendo os mais importantes para esse trabalho:

- UF — As unidades federativas do consumidor
- SetorN1 — A divisão dos consumidores em sete setores: Comercial; residencial; rural; poder público; industrial; serviço público e outros (“Other”)
- SetorN2 — A subdivisão dos setores N1, como por exemplo os setores N2 para o SetorN1 residencial sendo: Baixa Renda e Convencional

Para maior facilidade na manipulação dos dados, novas colunas foram adicionadas ao “dataset”. Sendo elas: ano; mês, trimestre e região.

Como os dados macroeconômicos utilizados para a modelagem vêm com uma periodicidade mensal — com exceção dos dados do PIB e de temperatura (discutidos posteriormente) —, os dados de consumo foram agrupados mensalmente, trimestralmente (para a modelagem do PIB), mensalmente por setores e mensalmente por regiões.

Dados IPCA — Os dados foram coletados a partir da API do Banco Central do Brasil (BACEN, 2022a). Os valores medidos têm frequência mensal e os dados vão de 01 de janeiro de 1980 até o mês anterior à utilização da API. Como os dados mensais do IPCA acrescentam pouca informação histórica, os valores foram acumulados em três, 12, 24 e 36 meses. Deste modo, os efeitos inflacionários no consumo de energia foram analisados — investigando os efeitos de valores inflacionários de meses anteriores no consumo subsequente. Os dados do IPCA foram escolhidos pelo fato de a inflação ser considerada um indicador muito forte da

degradação do poder de compra do consumidor (Musarat et al, 2021) podendo afetar de forma direta a produção industrial, comercial e consumo residencial.

Dados SELIC — Os dados da taxa básica de juros [SELIC] foram coletados da API do Banco Central do Brasil (BACEN, 2022b). Os valores da taxa mensal vão de 01 de junho de 1986 até o primeiro dia do mês anterior. Assim como no IPCA, foram calculados os valores acumulados da taxa de juros para três, 12, 24 e 36 meses, de modo a incluir mais informação histórica às variáveis, já que as políticas monetárias são focadas no médio a longo prazo. Diferentemente da meta anual estabelecida pelo Banco Central (BACEN, 2022c), os valores mensais podem diferir a cada mês, mesmo ambos tendo a mesma meta anual, isso porque o valor é o acumulado nos dias úteis do mês considerando a meta anual como base. Com isso, os valores mensais apresentam uma sensibilidade maior se comparado apenas à meta corrente do mês atual, tornando essas medidas mais pertinentes ao trabalho. Desse modo, os efeitos das políticas monetárias no consumo de energia elétrica do país foram investigados, já que estas são utilizadas como ferramenta de estímulo ou desestímulo da economia (Oliveira e Abrita, 2015).

Dado Produto Interno Bruto [PIB] — Os dados coletados do PIB foram obtidos a partir da API do IBGE (IBGE, 2022). Os dados coletados têm periodicidade trimestral e anual. As medidas estão em valor real, ou seja, ajustadas pela inflação. Os dados vão desde 01 de janeiro de 2000 até o trimestre anterior à data de requisição da API. Os dados de produto interno bruto foram escolhidos para o estudo da elasticidade-renda, que representa a variação do consumo de energia de alguns setores em relação à variação do Produto Interno Bruto [PIB] (2019). Os valores do PIB com periodicidade anual foram descartados devido a pouca quantidade de dados para uma modelagem eficiente, pois os dados de consumo energético vão de 2013 até 2019.

Dados de temperatura — Os dados históricos de temperatura foram obtidos a partir do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022). Esses dados foram escolhidos para a análise de impacto nos valores de consumo residencial, pois como visto em Pérez-Lombard et al. (2008) o consumo com conforto térmico é uma das principais fontes de consumo energético em uma residência. Os dados são disponibilizados para download de forma anual, onde encontram-se os arquivos no formato csv para cada uma das estações ativas no ano. Dentro de cada arquivo estão medidas horários de temperatura, precipitação, pressão atmosférica, radiação, velocidade do vento, etc. Devido a quantidade de variáveis em cada arquivo e a grande quantidade de arquivos (em torno de 3500), foi escrito um script utilizando a linguagem de programação python que lia todos os arquivos de cada ano e calculava o valor mínimo, máximo, mediano e a média da variável Temperatura Do Ar - Bulbo Seco, Horaria (°C) agrupados diariamente, para a redução da dimensionalidade dos dados. Foram adicionadas também novas variáveis ao “dataset”, já que todos os arquivos foram

concatenados em uma única base de dados. As variáveis adicionadas foram: a região da estação, o estado, o código da estação e a cidade. Todos esses valores foram extraídos dos nomes dos arquivos que vinham no seguinte formato: INMET_[REGIÃO]_[ESTADO]_[CÓDIGO DA ESTAÇÃO]_[CIDADE]_[DATA DA PRIMEIRA MEDIDA DIA-MÊS-ANO]_A_[DATA DA ÚLTIMA MEDIDA DIA-MÊS-ANO]_CSV.

Com os dados processados, foi necessário agrupar os valores de temperatura mensalmente, pois a análise seria em comparação ao consumo de energia mensal. Para isso, agora utilizando R, foram agregados por mês e região a média mensal da temperatura média diária e o valor máximo das máximas diárias. Como as médias e os valores máximos eram referentes a cada região, foi necessário agrupar esses valores em uma média nacional, pois a análise seria no consumo de energia mensal no agregado nacional. Para isso, foi calculada uma média ponderada pelo consumo energético por região, ou seja, uma variação térmica na região sudeste teria um maior peso do que uma variação na região norte. Deste modo, acreditava-se que o agregado nacional teria uma maior chance de explicar o consumo energético agregado. O mesmo raciocínio foi usado para calcular a média do valor máximos mensais. Para o teste da hipótese de que a média ponderada pelo consumo mensal regional teria uma capacidade explicativa melhor, foram calculadas também as médias simples nacionais para serem usadas em modelos de referência.

Recursos Livres Totais — Os dados de recursos livres totais representam o total de desembolsos referentes a empréstimos e financiamentos. Estes valores têm periodicidade mensal e os dados utilizados neste trabalho vão desde março 2011 até abril de 2022. Para este trabalho foram utilizados duas bases de dados diferentes: Recursos Livres Totais (IPEADATA, 2022a) e Recurso Livres Pessoa Física (IPEADATA, 2022b). Sendo a primeira base utilizada para o impacto no consumo total de energia e a segunda para o consumo residencial. Os dados de recursos livres totais, assim como a taxa SELIC, podem nos indicar o estado atual do crédito no país. Desta forma, acreditava-se que a variação deste indicador poderia ocasionar impactos no consumo de energia tanto residencial (devido à maior liquidez das famílias) quanto no consumo total, que inclui o setor comercial e industrial, pois uma maior concessão de crédito também representa em mais liquidez e disponibilidades para empresas e comércios. Analisando os dados obtidos, notou-se uma tendência de aumento constante na concessão de crédito como visto na Figura 1, isso devido ao fato deste indicador não usar valores correntes, ou seja, sem ajustes inflacionários. Para a remoção desta tendência de aumento que já foi explorada com o estudo do impacto do IPCA no consumo, todos os valores foram trazidos para os valores correntes do último mês da série (abril de 2022). Desta forma, foi possível observar os ciclos de aumento e redução de disponibilidade de crédito sem a distorção do aumento constante de valores que a inflação causa. Por fim, foram calculadas as médias móveis dos recursos livres totais e pessoa física para 12, 24 e 36 meses.

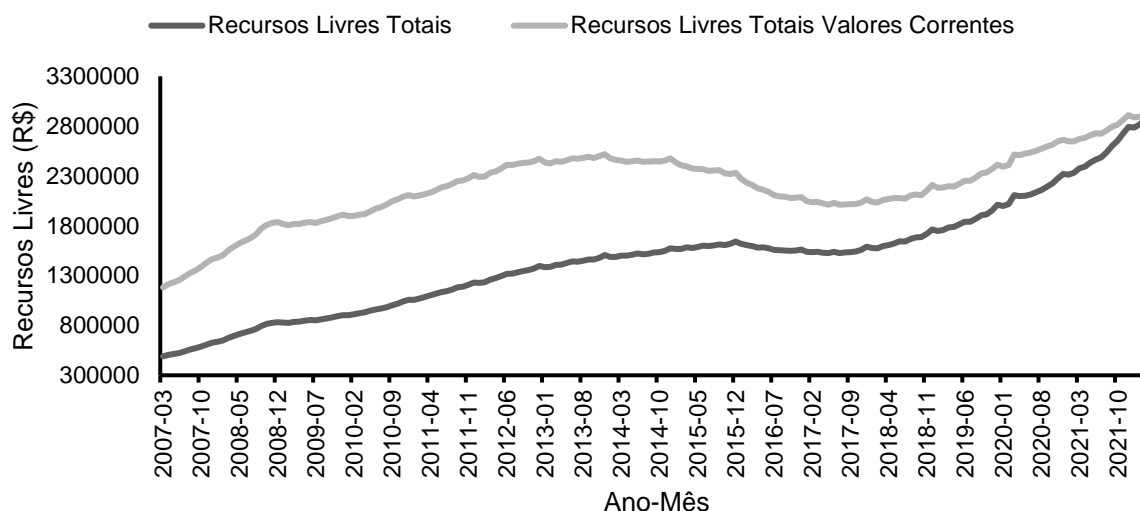


Figura 1. Recursos Livres totais e Recursos Livres Totais em Valores Correntes
Fonte: IPEADATA (2022a)

Salário Mínimo Real — Assim como os dados de Recursos Livres Totais e Pessoa Física, os dados de salário mínimo foram obtidos a partir do site do IPEA Data. Os dados têm periodicidade mensal e vão desde julho de 1940 até julho de 2022. Os valores dessa série representam o salário mínimo nominal abatido o percentual inflacionário do mês. Como o período abrange uma janela temporal de mais de 80 anos, vários indicadores foram utilizados para o reajuste, como encontrado na página da série no site do IPEA Data (IPEADATA, 2022c). Essa série foi escolhida, pois acreditava-se que o salário mínimo, por ser um indicador de renda para a população em geral — com um impacto muito maior nas camadas de baixa renda —, poderia ter um impacto no consumo de energia residencial, pois com as variações da renda as famílias poderiam passar a evitar o desperdício para priorizar outras fontes de gastos mais essenciais, como alimentação. O salário mínimo também, pode ser um representante mais acurado do impacto do IPCA no orçamento residencial. Pois os reajustes são feitos apenas uma vez ao ano, de modo que durante o resto do ano o poder de compra é corroído.

Modelagem

Todos os modelos discutidos nesta seção são lineares simples. A escolha deste modelo foi devido a sua simples interpretação estatística (Fávero e Belfiore, 2017) e sua fácil implementação — sendo o objetivo destes modelos o estudo inicial da relação entre essas variáveis e o consumo energético, sem a pretensão de encontrar um modelo definitivo com a

maior capacidade preditiva ou ajuste possíveis. Para todos os modelos testados nesta seção foram analisados os seguintes testes e métricas:

- R^2 ajustado — Uma variação do R^2 utilizada para comparar modelos com tamanhos de amostra ou quantidade de amostras diferentes (Fávero e Belfiore, 2017)
- Estatística F — Avalia a existência de ao menos um beta estatisticamente significativo (Fávero e Belfiore, 2017);
- Estatística T — Avalia a significância estatística de cada beta e alfa do modelo (Fávero e Belfiore, 2017);
- Shapiro-Francia — Avalia a aderência dos resíduos do modelo à distribuição normal (Shapiro e Francia, 1972);
- Teste de Breusch-Pagan — Indica a presença de heterocedasticidade no modelo (Breusch e Pagan, 1979);
- Indicador de máxima verossimilhança — Indica a proximidade do modelo calculado à distribuição proposta pelo modelo (Harville, 1974).

Em todos os modelos com mais de uma variável explicativa, o método “stepwise” (Venables e Ripley, 2002) foi aplicado para a remoção das variáveis sem significância estatística em seus betas.

Inicialmente, todos os dados macroeconômicos foram modelados utilizando o consumo total de energia do Brasil. Assim, seria possível uma referência para os modelos com os dados mais segmentados — consumo residencial e residencial de baixa renda.

Para o teste do impacto do IPCA no consumo de energia mensal brasileiro, o “dataset” do IPCA mensal foi combinado com a base de dados do consumo de energia agrupada mensalmente. Com o novo “dataset”, um modelo linear simples foi criado usando todos os valores do IPCA mensal — o acumulado de três, 12, 24 e 36 meses. Este modelo foi analisado utilizando-se as métricas citadas acima.

Os dados da taxa básica de juros [SELIC], assim como os dados do IPCA, foram combinados com a base de dados do consumo energético mensal. Um modelo linear foi criado usando todas as variáveis: valor atual mensal da Selic, o acumulado de três, 12, 24 e 36 meses.

Diferentemente dos outros dados, os dados do produto interno bruto [PIB] têm apenas duas opções de periodicidade, anual e trimestral. Os valores anuais quando modelados com o consumo anual de energia não apresentaram significância estatística, pelo fato dos valores de consumo irem de 2013 até 2019, ou seja, apenas sete anos poderiam ser modelados. Entretanto, com os dados de periodicidade trimestral foi possível criar modelos com significância estatística, já que o total de relações entre o PIB e o consumo de energia trimestral era de 28. As variáveis utilizadas para a modelagem foram: o PIB trimestral, a média

móvel de 12, 24 e 36 meses do PIB. Vale notar que o estudo do impacto do PIB será apenas analisado nesta seção, com os dados gerais e de forma trimestral, pois uma das ideias centrais deste trabalho, além da análise isolada do impacto de cada indicador macroeconômico no consumo de energia, é a criação de um modelo que combina os indicadores em apenas um modelo. Como esta é a única base de dados com periodicidade trimestral e todas as outras são de periodicidade mensal, não há uma maneira simples de combinar os dados do produto interno bruto com as outras bases. Mesmo sendo limitado a apenas esta seção o estudo do impacto deste indicador foi adicionado ao trabalho para a investigação da elasticidade-renda citada em Empresa de Pesquisa Energética (2019).

Para a modelagem do consumo total de energia mensal em relação aos dados de temperatura, diferentemente dos outros indicadores nos quais as médias móveis foram calculadas durante a preparação de dados, as médias foram calculadas apenas depois que os dados foram combinados com os dados mensais de consumo.

No caso da temperatura, foram testados mais modelos. Pois, além da investigação da relação entre a relação da temperatura e o consumo energético, testou-se a diferença entre a média de pesos iguais e a média ponderada pelo consumo de energia. Além disso, como as médias são definidas a partir do consumo mensal atual, quando calculadas as médias móveis, os primeiros dois e cinco meses para as médias móveis de três e seis meses, respectivamente, tiveram valores nulos— vale notar que, para as outras bases de dados, os valores nulos devido às médias móveis ficaram de fora do período estudado, portanto sem impacto na modelagem. Deste modo, foram testados também um modelo com a média de três meses e um modelo com a média de seis meses, porque os valores nulos poderiam apresentar problemas quando juntos com variáveis sem eles. Portanto, analisou-se primeiro se estas variáveis apresentariam alguma capacidade explicativa de forma isolada. Após os testes preliminares, foi feito um modelo com as seguintes variáveis: temperatura média ponderada, média móvel de três meses da temperatura média ponderada, média ponderada da temperatura máxima e média móvel da média da temperatura máxima.

A base de dados de recursos livres totais foi combinada com a base de consumo de energia mensal. Após a união entre estas bases de dados foi feito um modelo linear simples utilizando o valor ajustado do crédito mensal e as médias móveis de 12, 24 e 36 meses.

Diferentemente dos outros indicadores, para o salário mínimo não foi utilizada nenhuma média móvel. Isso porque se observado na Figura 2 do salário mínimo, grande parte da variação do indicador se dá dentro do próprio ano, ou seja, sua média móvel não teria muita capacidade explicativa. Isto posto, a base de dados do salário mínimo foi combinada com o de consumo de energia mensal e um modelo linear simples foi feito.

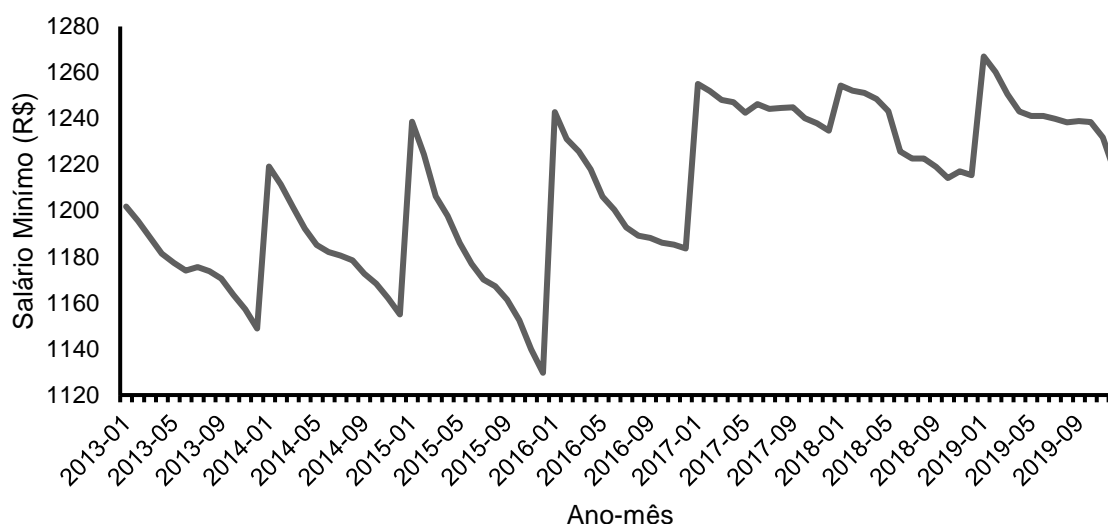


Figura 1. Salário mínimo em valores correntes de janeiro de 2013 a dezembro 2019
Fonte: IPEADATA (2022c)

Foi também estudado o impacto de todos os indicadores macroeconômicos no consumo energético mensal residencial, utilizando a base de dados de consumo residencial agrupada por SetorN1 e SetorN2, filtrando apenas para valores do setor de interesse. O filtro do SetorN2 será utilizado nos estudos do impacto dos indicadores nas residências de baixa renda. Como a metodologia utilizada para o setor residencial é a mesma utilizada para o consumo total de energia, mudando apenas a base de dados de consumo energético utilizada, serão comentadas apenas as diferenças de metodologia utilizadas em cada um dos indicadores. Para os indicadores que não forem citados, entenda-se que a única mudança foi a base de dados de consumo de energia utilizada.

Para o estudo do impacto de temperatura no consumo de energia residencial, ao invés de utilizar a média do consumo de energia mensal total por região como peso para a média ponderada de temperatura, a média de consumo mensal residencial foi utilizada. Deste modo, os dados médios de temperatura apresentariam uma maior aderência ao consumo residencial. Quanto ao modelo linear, os mesmos métodos utilizados no estudo do impacto no consumo total foram aplicados.

Na modelagem do impacto da disponibilidade de crédito (Recursos Livres), além do diferente “dataset” utilizado como a variável alvo, foi também utilizado uma outra base de dados para as variáveis explicativas, os Recursos Livres Pessoa Física. Esta base de dados foi escolhida pela sua possibilidade de apresentar uma maior relevância ao consumo energético residencial, já que o crédito para pessoal jurídica — incluído nos Recursos Livres Totais — é menos relacionado ao consumo residencial do que o crédito para pessoa física.

Além do estudo do impacto dos indicadores macroeconômicos no consumo residencial, foi também analisado o impacto destes mesmos indicadores no setor de Baixa

Renda Residencial. Acreditava-se que alguns indicadores teriam um impacto maior neste subsetor em específico. As diferenças em relação a análise do consumo residencial total foi que a base de dados de consumo energético utilizada foi o filtro adicional no SetorN2 para o valor “Baixa Renda”, e a remoção de dados de antes de maio de 2015, pois, como visto na Figura 2 há uma queda acentuada no consumo de baixa renda, sem a queda de mesma magnitude no consumo residencial total, sendo provavelmente uma mudança na metodologia de medida deste setor.

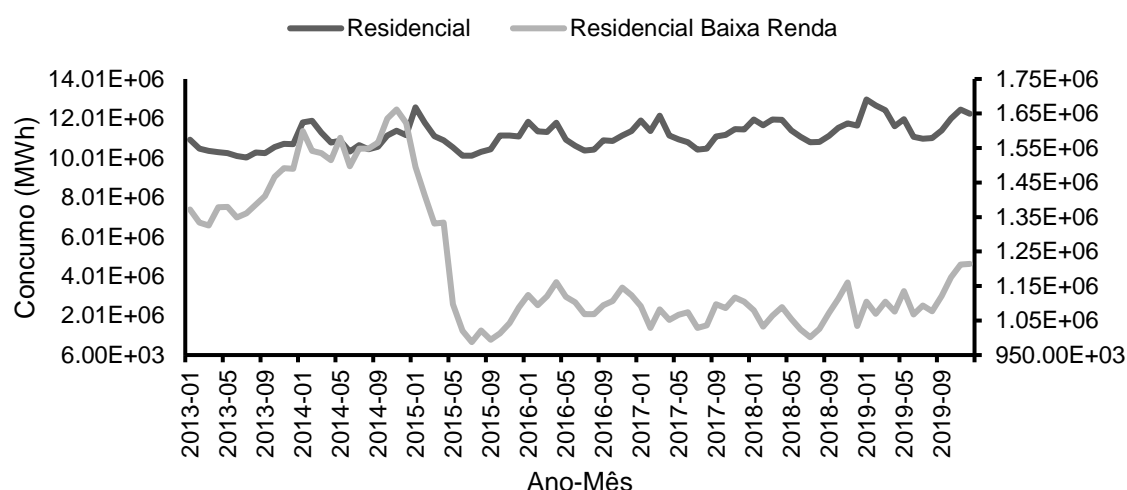


Figura 2. Consumo energético residencial e residencial de baixa renda de janeiro de 2013 a dezembro de 2019.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2022)

Após todos os testes individuais feitos entre a relação de cada indicador macroeconômico e o consumo (total, residencial e residencial de baixa renda), foram feitos modelos agregados, ou seja, um modelo com todos os indicadores macroeconômicos e todas suas variáveis—valores atuais, médias móveis etc. Para a seleção de qual indicador macroeconômico iria estar incluído no modelo final, foram utilizadas as seguintes estatísticas: estatística F, estatística T e teste de Shapiro-Francia.

Para o modelo geral todos os indicadores macroeconômicos passaram nos testes, porém mesmo o PIB tendo modelos com significância estatística e com um desses modelos com resíduos aderentes a normalidade, o indicador não foi incluído, pois como explicado acima, a periodicidade trimestral dos dados impossibilitou a união do PIB com os outros indicadores. Portanto, os indicadores incluídos no modelo de consumo de energia total foram: IPCA; SELIC; dados de temperatura; concessão de crédito (Recursos Livres Totais) e salário mínimo.

Para a modelagem, os “datasets” de todos os indicadores foram combinados em um só, removendo as variáveis redundantes. O modelo foi feito incluindo todas as variáveis

explicativas utilizadas nos modelos isolados. Para a análise do modelo as mesmas estatísticas dos modelos anteriores foram utilizadas com a adição da métrica de multicolinearidade “variance inflation factor” [VIF] descrita em Fávero e Belfiore (2017) para a verificação da presença ou não de uma correlação muito forte entre as variáveis explicativas.

Para o modelo do impacto dos indicadores agregados no consumo residencial mensal, a bases de dados selecionados foram o IPCA, SELIC, os dados de temperatura, a concessão de crédito para pessoa física (Recursos Livres Pessoa Física) e os dados de salário mínimo.

Os mesmos procedimentos de modelagem e as mesmas estatísticas utilizadas no modelo de consumo total foram utilizados no consumo residencial e residencial de baixa renda. Diferentemente do modelo de consumo total e do consumo residencial, no modelo de indicadores agregados de baixa renda, dois indicadores não passaram nos testes para seleção para o modelo agregado. Assim sendo, os indicadores selecionados foram: IPCA; SELIC e a concessão de crédito pessoa física (Recursos Livres Totais Pessoa Física). Vale notar que, mesmo tendo uma estatística F abaixo de 0,05 e resíduos aderentes a normalidade os dados de temperatura foram removidos, pois o modelo não apresentou nenhum beta com significância estatística.

Resultados e Discussão

A partir da Tabela 1, pode-se ver que o IPCA é capaz de explicar uma parte considerável (R^2 ajustado de 0,30) da variabilidade do consumo mensal de energia elétrica para todo o país. É interessante notar também que o único valor acumulado que permaneceu no modelo após o método “stepwise” foi o de 36 meses. Além disso, o acumulado de 36 meses teve um sinal negativo, o que era esperado, já que a inflação alta acaba por desaquecer a economia em geral (López-Villavicencio e Mignon, 2011). Uma hipótese para a não presença de valores acumulados com períodos mais curtos—12 ou 24 meses— seria o fato de que pelo consumo total incluir muitos setores da economia, a sensibilidade da inflação de curto prazo de alguns setores poderiam ser compensados pela insensibilidade de outros setores.

Tabela 1. Coeficientes e estatísticas para todos os indicadores macroeconômicos e ambientais contra o consumo energético total

Modelo	Coeficientes (Valor / p_value)	Estatística F	R ² Ajustado	Shapiro Francia	Breusch-Pagan	LogLik
IPCA Total	$\alpha = 9e5 / 6e-3$ $\beta_{36} = 1e5 / 1e-7$	2,6E-07	0,2950	0,8722	0,3093	-1277
SELIC Total	$\alpha = 4e7 / 2e-16$ $\beta_{03} = -2e6 / 7e-3$ $\beta_{12} = 6e5 / 2e-2$ $\beta_{24} = -2e5 / 2e-3$	1,2E-04	0,2269	0,8011	0,0580	-1279
PIB Total	$\alpha = 9e7 / 1e-13$ $\beta_{12} = 8e1 / 5e-3$ $\beta_{36} = -7e1 / 8e-3$	4,6E-03	0,2980	0,6054	0,1418	-452
Temperatura Total	$\alpha = 3e7 / 2e-16$ $\beta_{m\acute{e}dia} = 3e6 / 1e-3$ $\beta_{03} = 2e5 / 4e-2$	1,7E-13	0,5129	0,9088	0,0033	-1231
Recursos Livres Total	$\alpha = 4e7 / 2e-16$ $\beta_{valores_correntes} = 8e0 / 4e-5$ $\beta_{12} = -8e0 / 4e-5$	1,6E-04	0,1740	0,2681	0,6433	-1283
Salário Mínimo Total	$\alpha = 3e7 / 1e-7$ $\beta = 1e4 / 2e-3$	2,3E-03	0,0969	0,3050	0,2882	-1288

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Para o impacto da SELIC no consumo mensal total de energia elétrica, os valores acumulados de três, 12 e 24 meses tiveram significância estatística para o modelo linear. Mesmo que os períodos tenham capacidade explicativa, pode-se notar que o modelo deu uma magnitude maior para os valores acumulados curto prazo, isso pode-se explicar pelo fato de que os valores acumulados de curto prazo estarem contidos nos valores acumulados de longo prazo, ou seja, o valor acumulado de três meses está contido nos valores de 12, 24 e 36 meses. A inversão de sinal para o valor acumulado de 12 meses, de negativo para positivo foi um ponto interessante desta modelagem, já que se esperava que uma alta na SELIC teria apenas impactos negativos no consumo energético.

Os valores da modelagem do PIB trimestral em relação ao consumo trimestral de energia vistos na Tabela 1 mostram que a média móvel dos últimos 12 meses apresentou um impacto positivo no consumo de energia elétrica, o que pode ser explicado pelo fato de que um aumento no PIB significa uma economia mais aquecida que por consequência aumenta o consumo total de energia elétrica. Porém, a média do PIB dos últimos 36 meses apresentou

um impacto negativo de mesma magnitude ao impacto positivo dos últimos 12 meses, ou seja, uma tendência de subida nos últimos três anos reduz o consumo energético na mesma proporção que um aumento no PIB do último ano se traduz em um aumento do consumo, segundo o modelo.

A diferença do impacto no consumo de energia mensal entre o uso da média ponderada pelo consumo de energia por região e a média simples das temperaturas pode ser observado na Tabela 2. O uso da média ponderada pelo consumo energético da temperatura mostrou-se ligeiramente melhor do que o uso da média simples por região, com um R^2 ajustado de 0,46 contra 0,42. A melhor performance da média ponderada se dá pelo fato de o consumo de energia não ser uniforme entre as regiões do país, sendo a região sudeste responsável por aproximadamente 51% do consumo total de energia (Empresa de Pesquisa Energética, 2022) ou seja, uma média com pesos iguais resultaria em uma temperatura média menos aderente ao real cenário do consumo de energia. A Figura 3 mostra a distorção que a média simples traria ao consumo médio de energia, principalmente nos meses de inverno. Portanto, a partir de agora, neste trabalho, o termo valor médio de temperatura vai se referir ao valor médio ponderado pelo consumo de energia por região.

Tabela 2. Comparativo entre o modelo utilizando a média simples de temperatura e a média ponderada por consumo regional

Modelo	Coeficientes (Valor / p_value)	Estatística F	R^2 Ajustado	Shapiro Francia	Breusch-Pagan	LogLik
Temperatura Ponderada Geral	$\alpha = 3e7 / 2e-16$ $\beta = 4e5 / 1e-12$	1,1E-12	0,4564	0,8489	0,0040	-1266
Temperatura Média Geral	$\alpha = 3e7 / 2e-16$ $\beta = 5e5 / 1e-12$	1,4E-11	0,4220	0,6866	0,0068	-1269

Fonte: Resultados originais da pesquisa

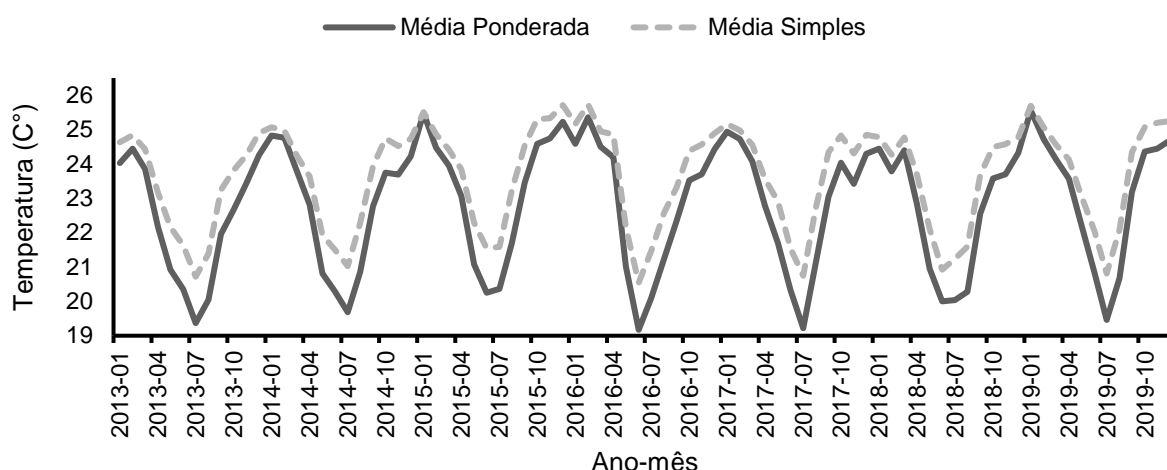


Figura 3. Temperatura média ponderada pelo consumo energético por região e média aritmética da temperatura por região de janeiro de 2013 a dezembro de 2019.

Fonte: Resultados originais da pesquisa

O modelo final do impacto da temperatura média ficou apenas com os valores médios do mês e a média móvel dos últimos três meses do valor médio. Os valores médio, máximos e a média móvel destes valores não tiveram betas com significância estatística para permanecerem no modelo. Como esperado, os valores médios de temperatura e sua respectiva média móvel tiveram um beta com valor positivo, ou seja, o aumento na temperatura representou um aumento no consumo mensal de energia elétrica. Pelo fato do Brasil ser um país com invernos em média amenos — como pode ser visto na Figura 3 —, apenas o aumento da temperatura representou em um aumento no consumo de energia, já que, em geral o aquecimento não é necessário nos meses frios.

Os coeficientes e estatísticas para o impacto da concessão de crédito (Recursos Livres Totais) no consumo mensal de energia podem ser vistos na Tabela 1. As únicas variáveis que tiveram betas com significância estatística foram o valor corrente mensal dos recursos livres e a média móvel de 12 meses para estes valores. É interessante notar que ambos os betas apresentam valores muito próximos, mas com sinais invertidos.

O modelo da relação do salário mínimo com o consumo de energia, apresentou um beta positivo, ou seja, o aumento ou diminuição do salário mínimo tem uma relação direta com o consumo de energia. Também na Tabela 1, pode-se ver que o R^2 ajustado deste modelo se mostrou mais baixo que dos outros indicadores, isso se dá principalmente pelo fato de estarmos relacionando o salário mínimo, um indicador muito mais voltado a pessoa física, à média total de consumo, que inclui todos os setores da economia como industrial, comercial e rural. Como será visto a seguir, o R^2 ajustado para o modelo relacionando o consumo residencial ao salário mínimo será mais significativo.

A Tabela 3 contém todos os coeficientes e estatísticas dos modelos relacionando o consumo energético mensal do setor residencial e os indicadores macroeconômicos selecionados.

Tabela 3. Coeficientes e estatísticas para todos os indicadores macroeconômicos e ambientais contra o consumo energético residencial

Modelo	Coeficientes (Valor / p_value)	Estatística F	R ² Ajustado	Shapiro Francia	Breusch-Pagan	LogLik
IPCA Residencial	$\alpha = 1e7 / 2e-16$ $\beta_{ipca} = 8e5 / 6e-4$ $\beta_{12} = -2e5 / 5e-6$	1,6E-05	0,2204	0,1905	0,1834	-1234
SELIC Residencial	$\alpha = 1e7 / 2e-16$ $\beta_{03} = -1e6 / 4e-4$ $\beta_{12} = 6e5 / 4e-5$ $\beta_{24} = -3e5 / 2e-4$ $\beta_{36} = 1e5 / 1e-2$	2,8E-05	0,2436	0,2838	0,0806	-1232
Temperatura Residencial	$\alpha = 4e6 / 1e-6$ $\beta_{média} = 1e5 / 8e-3$ $\beta_{03} = 2e5 / 4e-3$	2,8E-14	0,5348	0,8991	0,0133	-1184
Recursos Livres Pessoa Física	$\alpha = 2e7 / 2e-11$ $\beta_{24} = 5e1 / 6e-3$ $\beta_{36} = -8e1 / 7e-4$	2,9E-03	0,1332	0,1519	0,6792	-1043
Salário Mínimo Residencial	$\alpha = -4e6 / 7e-2$ $\beta = 1e4 / 2e-10$	2,2E-10	0,3822	0,0648	0,4369	-1225

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Para o modelo relacionando o IPCA com o consumo residencial, os betas que tiveram significância estatística foram os do valor corrente do IPCA e o valor acumulado dos últimos 12 meses. Se comparado com o modelo que relaciona a inflação ao consumo total, este modelo teve um R² ajustado menor 0,22 contra 0,30, podendo indicar que o IPCA tem um efeito maior em outros setores da economia se comparado ao setor residencial. Além disso, os betas com significância estatística foram os do valor atual mensal do IPCA e seu valor acumulado em 12 meses, diferente do modelo do consumo total que incluía apenas o valor acumulado em 36 meses. Assim como encontrado em vários outros modelos, houve a mudança de sinal entre os períodos, ou seja, o beta do consumo atual mensal tem um impacto positivo no consumo de energia residencial; enquanto o do valor acumulado, seguindo o encontrado no modelo incluindo todos os setores, teve um impacto negativo, significando que um aumento na inflação impacta negativamente o consumo de energia residencial.

Os betas que permaneceram para o modelo relacionando a taxa SELIC e o consumo residencial foram para os valores acumulados em três, 12, 24 e 36 meses. Diferentemente dos modelos com o IPCA, o modelo com SELIC para o consumo residencial teve uma capacidade explicativa melhor que para o modelo de consumo total, sugerindo uma sensibilidade ligeiramente maior do consumo residencial às variações da taxa de juros se comparado ao consumo de energia total. Houve também a troca de sinais entre os diferentes intervalos de tempo, sendo o impacto negativo para o valor acumulado de três e 24 meses, ou seja, um aumento nos juros acumulados representa uma redução no consumo de energia residencial. Enquanto nos períodos de 12 e 36 meses, houve uma correlação positiva, representando que o aumento nos valores da taxa de juros acumulados nestes meses pode resultar em uma tendência de aumento no consumo energético residencial, segundo o modelo.

O modelo relacionando a variação na temperatura e consumo energético residencial apresentou resultados muito semelhantes ao modelo que relaciona este indicador ao consumo total. Os betas que permaneceram no modelo foram os mesmos do modelo total — temperatura média e a média móvel de três meses. No caso do modelo residencial, a proporção da variância explicada (R^2 ajustado) foi ligeiramente maior do que o modelo total — 0,53 contra 0,51 — podendo indicar uma sensibilidade maior do consumo residencial às variações de temperatura se comparado ao consumo agregado de todos os setores. Uma hipótese para essa sensibilidade maior é quantidade de energia dispendida em um ambiente residencial para climatização se comparada a setores como o Industrial e Rural, nos quais, mesmo que a energia dispendida em tempos mais quentes seja maior, proporcionalmente essa energia apresenta um efeito mínimo se comparado ao consumo de outros equipamentos utilizados.

As variáveis que permaneceram no modelo da relação entre a concessão de crédito privado (Recursos Livres Pessoa Física) e o consumo de energia foram a média móvel dos últimos 24 e 36 meses. Se comparado ao modelo que relaciona os Recursos Livres Totais ao consumo total de energia, é possível notar que ambos não tiveram uma capacidade descritiva tão bons — 0,17 para o modelo total e 0,13 para o modelo de consumo residencial. Diferentemente do modelo total, os betas tiveram magnitudes diferentes para os diferentes períodos, apresentando uma sensibilidade maior para a média de 36 meses se comparado à média de 12 meses. Neste modelo houve também a inversão de sinais, sendo que a média de crédito dos últimos 12 meses apresentou uma relação positiva, ou seja, um aumento de crédito no último ano significou um aumento de consumo; enquanto um aumento de crédito médio nos últimos 36 meses representa uma redução no consumo de energia residencial.

Diferentemente do modelo que relacionava o salário mínimo ao consumo total de energia elétrica, no modelo entre este mesmo indicador e o consumo residencial o R^2 ajustado

foi muito mais significativo — 0,38 contra 0,10. Além disso, o beta tem um sinal positivo, o que também corrobora com o senso comum de que o aumento do poder de compra médio da população ocasiona em um maior consumo energético.

A Tabela 4 contém os coeficientes e estatísticas para a modelagem de todos os indicadores contra o consumo mensal residencial de baixa renda.

Tabela 4. Coeficientes e estatísticas para todos os indicadores macroeconômicos e ambientais contra o consumo energético residencial de baixa renda

Modelo	Coeficientes (Valor / p_value)	Estatística F	R ² Ajustado	Shapiro Francia	Breusch-Pagan	LogLik
IPCA Residencial Baixa Renda	$\alpha = 1e6 / 2e-16$ $\beta_{12} = -1e4 / 3e-2$ $\beta_{24} = 1e4 / 2e-3$ $\beta_{36} = -1e4 / 4e-4$	3,6E-03	0,1830	0,5101	0,3277	-677
SELIC Residencial Baixa Renda	$\alpha = 1e6 / 2e-16$ $\beta_{03} = -1e5 / 2e-5$ $\beta_{12} = 6e4 / 8e-6$ $\beta_{24} = -2e4 / 3e-6$	2,2E-05	0,3338	0,5396	0,7614	-672
Temperatura Residencial Baixa Renda	$\alpha = 8e5 / 2e-11$ $\beta_{media} = 6e3 / 4e-1$ $\beta_{03} = 8e3 / 3e-1$	5,3E-03	0,1483	0,6370	0,1068	-679
Recursos Livres Pessoa Física (Baixa Renda)	$\alpha = 8e5 / 6e-8$ $\beta_{valores_correntes} = 3e0 / 1e-4$ $\beta_{12} = -5e0 / 3e-3$ $\beta_{24} = 4e0 / 8e-3$	4,5E-04	0,2489	0,4216	0,5675	-675
Salário Mínimo Residencial (Baixa Renda)	$\alpha = 7e5 / 5e-3$ $\beta = 3e2 / 2e-1$	1,6E-01	0,0184	0,1388	0,4257	-683

Fonte: Resultados originais da pesquisa

O modelo relacionando a SELIC ao consumo residencial de baixa renda, diferentemente do modelo com o IPCA, teve uma capacidade explicativa melhor do que o modelo relacionando o consumo residencial total, com um R² ajustado de 0,33 contra 0,24. As variáveis que permaneceram no modelo final, após o método “stepwise”, foram os valores acumulados de três, 12 e 24 meses. E assim como outros modelos relacionando a SELIC ao consumo, houve inversão de sinal para os períodos. A relação ao valor acumulado de 12

meses foi positiva, ou seja, um aumento na taxa SELIC nos últimos 12 meses significou um aumento no consumo residencial de baixa renda. Já no acumulado de três e 24 meses a relação foi negativa, ou seja, um aumento nesta variável significou uma redução no consumo.

Na Tabela 4, podemos afirmar que não foi possível obter um modelo relacionando a temperatura ao consumo residencial de baixa renda, pois não foram encontrados betas com significância estatística, como indicado pelos “p-values” de cada beta (0,36 e 0,27).

O modelo relacionando os Recursos Livres Pessoa Física e o consumo energético residencial de baixa renda manteve como variáveis explicativas a média móvel dos últimos 12 e 24 meses da concessão de créditos em valores correntes, além do valor mensal de recursos livres. Nestes betas, assim como nos outros modelos de Recursos Livres, houve inversão de sinais, onde a média móvel de 24 meses e o valor mensal tiveram um sinal positivo, indicando que um aumento nessas variáveis significava um aumento no consumo energético e na média de 12 meses a relação era negativa. Diferentemente dos modelos relacionando o consumo total e o consumo residencial geral, o R^2 ajustado deste modelo apresentou um valor muito maior 0,25 contra 0,13 para o residencial geral e 0,17 para o consumo total.

Não foi possível obter um modelo relacionando o salário mínimo ao consumo mensal de energia nas residências de baixa renda, como visto na Tabela 4.

Na Tabela 5, tem-se os valores de R^2 ajustado para todos os indicadores e recortes do consumo de energia elétrica nos quais obteve-se betas estatisticamente significantes.

Tabela 5. R^2 ajustado para todos os modelos e recortes do consumo energético

Indicador Macroeconômico	Consumo Total	R^2 Ajustado	
		Consumo Residencial	Consumo Residencial Baixa Renda
IPCA	0,2950	0,2204	0,1830
SELIC	0,2269	0,2436	0,3338
PIB	0,2980	-	-
Temperatura	0,5129	0,5348	-
Recursos Livres (Totais para consumo Total e Pessoa Física)	0,1740	0,1332	0,2489
Salário Mínimo	0,0969	0,3822	-

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Nos modelos de baixa renda é possível notar uma certa inelasticidade a indicadores que apresentaram capacidade explicativa alta nos modelos de consumo residencial, como o salário mínimo e a temperatura. A falta de um modelo relacionando o salário mínimo ao consumo residencial de baixa renda pode ser explicado majoritariamente pelo fato de que boa parte das famílias de baixa renda vem de trabalhos informais (Souza e Trovão, 2022), ou seja, sem a obrigatoriedade de um piso salarial e a maior taxa de desempregados neste setor da

população. A inelasticidade do consumo às variações de temperatura, ou seja, a falta de um modelo com significância estatística, pode vir do fato que o gasto basal de energia dessas famílias não permite a adição de equipamentos de climatização, ou seja, com calor ou frio o consumo permanece o mesmo já que o gasto nesta faixa de renda geralmente não inclui equipamento de aquecimento ou resfriamento.

A maior sensibilidade a concessão de crédito (Recursos Livres) e a SELIC, comparada ao consumo residencial e ao consumo total da economia, pode ser visto como um forte indicador do fato destas famílias estarem vivendo no limite de seus orçamentos, pois um aumento na concessão de crédito para pessoas físicas pode significar mais recursos para a adição de equipamentos domésticos e consumo no dia a dia destas famílias.

No modelo agregado para o consumo total visto na Tabela 6, ou seja, utilizando o IPCA e suas respectivas variáveis, SELIC, dados de temperatura, Recursos Livres Totais e Salário mínimo, os indicadores que permaneceram com significância estatística foram: IPCA com seus valores acumulados de três, 12 e 24 meses; os valores acumulados de 36 meses da taxa SELIC; Recursos Livres Totais em valor corrente e suas médias móveis de 24 e 36 meses; dados de temperatura média, média móvel de três meses das temperatura média e a média móvel de três meses da temperatura média máxima. O modelo apresentou um R^2 ajustado de 0,84, seus resíduos tiveram a aderência a normalidade e não foi constatada heterocedasticidade.

Tabela 6. Coeficientes e estatísticas para os modelos com todos os indicadores macroeconômicos e ambientais agregados por recorte de consumo (Continua)

Modelo	Coeficientes (Valor / p_value)	Estatística F	R ² Ajustado	Shapiro Francia	Breusch-Pagan	LogLik
Agregado Total	$\alpha = 4e7 / 8e-13$	5,9E-26	0,8361	0,6098	0,0991	-1182
	$\beta_{ipca_3} = -4e5 / 3e-3$					
	$\beta_{ipca_12} = 2e5 / 2e-2$					
	$\beta_{ipca_24} = -5e5 / 3e-8$					
	$\beta_{selic_36} = -2e5 / 1e6$					
	$\beta_{recursos_t} = -2e1 / 4e-7$					
	$\beta_{recursos_t_24} = 3e1 / 1e-5$					
	$\beta_{recursos_t_36} = -1e1 / 2e-3$					
	$\beta_{ponderada_temp} = 2e5 / 3e-2$					
	$\beta_{temp_3} = 3e5 / 1e-4$					
	$\beta_{mean_max_temp_3} = 2e5 / 3e-2$					
	$\alpha = -3e7 / 4e-12$					
	$\beta_{selic_24} = -2e5 / 9e-9$					
Agregado Residencial	$\beta_{selic_36} = 3e5 / 2e-8$	5,0E-34	0,8881	0,3328	0,0072	-1123
	$\beta_{ipca_3} = -1e5 / 3e-3$					
	$\beta_{recursos_pf_24} = 1e2 / 1e-9$					
	$\beta_{ponderada_temp} = 1e5 / 3e-5$					
	$\beta_{temp_3} = 2e5 / 2e-5$					
	$\beta_{salario} = 8e3 / 2e-10$					

Tabela 6. Coeficientes e estatísticas para os modelos com todos os indicadores macroeconômicos e ambientais agregados por recorte de consumo (Conclusão)

Modelo	Coeficientes (Valor / p_value)	Estatística F	R ² Ajustado	Shapiro Francia	Breusch-Pagan	LogLik
Agregado Residencial Baixa Renda	$\alpha = 6e6 / 9e-5$	3,9E-10	0,6385	0,9725	0,6985	-652
	$\beta_{ipca_3} = -2e4 / 3e-2$					
	$\beta_{ipca_24} = 2e4 / 4e-2$					
	$\beta_{recursos_pf} = 2e0 / 1e-3$					
	$\beta_{recursos_pf_12} = -2e1 / 6e-4$					
	$\beta_{selic_03} = -2e5 / 1e-8$					
	$\beta_{selic_24} = 4e4 / 3e-3$					
	$\beta_{selic_36} = -6e4 / 1e-3$					

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Na Tabela 7, os resultados do teste de multicolinearidade mostram que existe muita correlação entre as variáveis explicativas, isso pode ser explicado pelo fato de que as variáveis macroeconômicas serem interligadas entre si, ou seja, um aumento na inflação pode impactar a política monetária nacional, afetando assim a SELIC e a concessão de crédito por consequência. Parte da multicolinearidade pode vir também de como as variáveis foram obtidas, por exemplo, o valor acumulado de 12 meses inclui o valor acumulado de três meses dentro de si, assim como o de 24 meses inclui os valores de 12 e assim por diante

Tabela 7. Teste de multicolinearidade para o modelo agregado total

Variáveis	Tolerância	VIF
ipca_3	0,2448	4,08
ipca_12	0,0894	11,18
ipca_24	0,0318	31,46
selic_36	0,1059	9,44
recursos_t	0,0097	103,42
recursos_t_mean_24	0,0032	316,77
recursos_t_mean_36	0,0091	109,54
ponderada_temp	0,1161	8,61
temp_3	0,2004	4,99
mean_max_temp_3	0,1794	5,57

Fonte: Resultados originais da pesquisa

No modelo agregado residencial foram incluídas as seguintes variáveis: IPCA; SELIC, dados de temperatura, Recursos Livres Pessoa Física e salário mínimo. Destas, após o método “stepwise” aplicado, permaneceram: o valor acumulado da SELIC de 24 e 36 meses; o valor acumulado de três meses do IPCA; a média móvel de 24 meses dos recursos livres de pessoa física; a média ponderada da temperatura e sua média móvel de três meses e o salário mínimo. O modelo teve um R² ajustado de 0,89, seus resíduos tiveram aderência a

normalidade, porém o modelo se mostrou muito heterocedástico. Uma alta heterocedasticidade pode ser o indicativo da escolha da forma funcional incorreta ou à omissão de alguma variável relevante (Greene, 2018). Ainda, segundo Fávero e Belfiore (2017), a heterocedasticidade também pode ser gerada devido algum “outlier” na variável alvo.

Na Tabela 8, podem ser vistos os fatores de multicolinearidade. Os maiores fatores VIF vêm das variáveis que são derivações de si mesmas, ou seja, os valores acumulados.

Tabela 8. Teste de multicolinearidade para o modelo residencial

Variáveis	Tolerância	VIF
selic_24	0,0272	36,76
selic_36	0,0103	97,39
ipca_3	0,4258	2,35
recursos_pf_24	0,0364	27,47
ponderada_temp	0,2619	3,82
temp_3	0,2005	4,99
salario	0,4878	2,05

Fonte: Resultados originais da pesquisa

No modelo agregado do consumo residencial de baixa renda, as variáveis que permaneceram após o método “stepwise” foram: IPCA e seus valores acumulados de três e 24 meses; médias móveis dos recursos livres pessoa física de 12 e 24 meses e o valor acumulado da SELIC de três, 12 e 24 meses. O R^2 ajustado do modelo foi de 0,64, com os resíduos aderentes a normalidade. E, diferentemente do modelo residencial geral, sem presença de heterocedasticidade nos resíduos.

Na Tabela 9, estão os valores do fator VIF de multicolinearidade, assim como nos outros modelos, as variáveis com os maiores fatores foram os recursos livres e a SELIC.

Tabela 9. Teste de multicolinearidade para o modelo residencial de baixa renda

Variáveis	Tolerância	VIF
ipca_3	0,4984	2,01
ipca_24	0,0099	101,12
recursos_pf	0,2255	4,44
recursos_pf_12	0,0048	206,50
selic_03	0,0196	50,94
selic_24	0,0040	249,71
selic_36	0,0018	557,01

Fonte: Resultados originais da pesquisa

O consumo total de energia mensal do país pôde ser explicado de forma estatisticamente relevante por todos os indicadores macroeconômicos e ambientais

propostos. Os indicadores com maior capacidade explicativa foram a temperatura, a variação do PIB trimestral e o IPCA com os respectivos valores de R^2 ajustados 0,51, 0,30 e 0,30. Ou seja, o fator com maior capacidade explicativa acabou sendo um fator ambiental e não um macroeconômico, porém não podendo descartar a importância da inflação e do PIB, principalmente.

O consumo total de energia mostrou uma sensibilidade menor à indicadores de renda e crédito como a variação taxa SELIC, concessão de crédito e salário mínimo — R^2 de 0,23 para SELIC, 0,17 para concessão de crédito e 0,10 para o salário mínimo —, se comparado a outros recortes do consumo energético.

O modelo agregando todos os indicadores macroeconômicos mais a temperatura contra o consumo total de energia teve um R^2 ajustado de 0,84 com uma forte multicolinearidade entre as variáveis macroeconômicas. Neste modelo, apenas o indicador do salário mínimo foi removido após o método “stepwise”, evidenciando ainda mais a inelasticidade do consumo total de energia a este indicador.

Os indicadores macroeconômicos e a variação da temperatura, de forma isolada, foram capazes de explicar a variação do consumo mensal residencial com significância estatística. Os indicadores com maior R^2 ajustado foram a temperatura (0,53), o salário mínimo (0,38) e a taxa SELIC (0,24). Enquanto o IPCA e os Recursos Livres Pessoa Física tiveram valores de R^2 ajustado de 0,24 e 0,13, respectivamente.

Diferentemente do modelo de consumo total, o salário mínimo foi capaz de explicar grande parte das variações do consumo de energia, isso porque o salário mínimo é um dos indicadores mais importantes de renda, já que afeta diretamente a disponibilidade de recursos em uma residência.

O modelo da relação entre o consumo residencial e todos os indicadores macroeconômicos e ambiental agregados teve um R^2 ajustado de 0,89.

Diferentemente dos outros recortes do consumo de energia, o consumo residencial de baixa renda não foi explicado por todos os indicadores macroeconômicos e ambiental. As variações de temperatura, sempre o maior R^2 nos outros modelos, não foi capaz de explicar as variações desta faixa renda. Além da temperatura, o salário mínimo também não teve um modelo estatisticamente significativo para esse recorte.

Os indicadores com maior capacidade explicativa foram a SELIC (0,33), Recursos Livres Pessoa Física (0,25) e IPCA (0,18).

O modelo agregando todas os indicadores com significância estatística (SELIC, Recursos Livre Pessoa Física e IPCA) obteve um R^2 de 0,64 e nenhum indicador foi removido, evidenciando a importância explicativa destes indicadores para o consumo energético residencial de baixa renda.

Para esta faixa de renda, nota-se uma grande dependência do crédito e do poder de compra para o consumo energético, podendo ser um grande sinal da fragilidade e incapacidade destas famílias suprirem gastos básicos do dia-a-dia com a sua renda mensal.

Conclusões

O consumo de energia, de forma geral, mostrou-se sensível à indicadores macroeconômicos e ambientais como a inflação, taxa de juros e crédito, PIB, salário mínimo e a temperatura. A sensibilidade do consumo variou de acordo com os recortes deste, ou seja, o consumo residencial mostrou-se mais sensível à indicadores como temperatura e salário mínimo. O consumo de baixa renda, insensível às variações de salário mínimo e temperatura, apresentou sensibilidade alta aos fatores relacionados a crédito — SELIC e concessão de crédito. O uso de modelos além dos lineares simples poderiam fornecer mais informações valiosas a respeito das relações entre os indicadores e o consumo de energia. Além disso, melhorias nos indicadores como o cálculo da média de temperatura por estados e não por região; o uso de outros indicadores de renda como a taxa de ocupação e a proporção de trabalhadores no mercado informal; o uso de bandeiras de energia elétrica na análise, já que o custo de KWh mais alto, provavelmente, altera o perfil de consumo tanto do setor comercial e industrial quanto do residencial. Além das melhorias no método, trabalhos independentes sobre o impacto de cada um dos indicadores utilizados poderiam ser feitos, já que ainda existem muitas nuances a serem investigadas.

Referências

- Ang, A.; Piazzesi, M.; Wei, M. 2006. What does the yield curve tell us about GDP growth?. *Journal of econometrics*, 131(1-2), 359-403.
- Banco Central do Brasil [BACEN]. 2022a. Índice Nacional de Preços ao Consumido Amplo. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/consultarmetadados/consultarMetadadosSeries.do?method=consultarMetadadosSeriesInternet&hdOidSerieSelecionada=433>>. Acesso em 06 jun. 2022
- Banco Central do Brasil [BACEN]. 2022b. Taxa de juros - Selic acumulada no mês. Disponível em: <<https://dadosabertos.bcb.gov.br/dataset/4390-taxa-de-juros---selic-acumulada-no-mes>>. Acesso em 06 jun. 2022
- Banco Central do Brasil [BACEN]. 2022c. Taxa Selic. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em 28 set. 2022
- Breusch, T. S.; Pagan, A. R. 1979. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1287-1294.
- Empresa de Pesquisa Energética [EPE]. 2019. NOTA TÉCNICA EPE DEA 003/2019 — Metodologia: Modelo de Projeção da Demanda de Eletricidade. Disponível em:

<[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-374/NT%20Metodologia_Novo%20Modelo%20de%20Eletricidade%20\(MDE\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-374/NT%20Metodologia_Novo%20Modelo%20de%20Eletricidade%20(MDE).pdf)>. Acesso em 15 de março de 2022.

Empresa de Pesquisa Energética [EPE]. 2019. NOTA TÉCNICA EPE DEA 003/2019 — Metodologia: Modelo de Projeção da Demanda de Eletricidade. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-374/NT%20Metodologia_Novo%20Modelo%20de%20Eletricidade%20\(MDE\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-374/NT%20Metodologia_Novo%20Modelo%20de%20Eletricidade%20(MDE).pdf)>. Acesso em 15 de março de 2022.

Empresa de Pesquisa Energética [EPE]. 2022. Dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/dados-abertos/dados-do-anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acessado em 15 de março de 2022

Fávero, L.P.; Belfiore, P. 2017. Modelos de Regressão Simples e Múltipla. p. 511-602. In: Fávero, L.P.; Belfiore, P. Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®. 1ed. Gen LTC. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Figueiras, L. A. M. 2000. História do Plano Real: fundamentos, impactos e contradições. 1ed. Boitempo Editorial

Gil, A. C. 2017. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. Atlas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Greene, W. H. 2018. Econometric Analysis. 8ed. Pearson. Nova Iorque, Nova Iorque, Estados Unidos.

Harville, D. A. 1974. Bayesian inference for variance components using only error contrasts. Biometrika, 61(2), 383-385.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE]. 2022. API de dados agregados do IBGE. Disponível em: < <https://servicodados.ibge.gov.br/api/docs/agregados?versao=3#api-bq>>. Acesso em 15 jun. 2022

Instituto Nacional de Meteorologia [INMET]. 2022. Dados Históricos Anuais. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

IPEADATA. 2022a. Operações de crédito - concessões de crédito - recursos livres. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=1065634240>>. Acessado em 20 ago. 2022.

IPEADATA. 2022b. Operações de crédito - concessões de crédito - recursos livres - pessoa física. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=1065634242>>. Acessado em 20 ago. 2022.

IPEADATA. 2022c. Salário mínimo real. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=37667>>. Acessado em 20 ago. 2022.

López-Villavicencio, A.; Mignon, V. 2011. On the impact of inflation on output growth: Does the level of inflation matter?. Journal of macroeconomics, 33(3), 455-464.

Musarat, M. A.; Alaloul, W. S.; Liew, M. S. 2021. Impact of inflation rate on construction projects budget: A review. Ain Shams Engineering Journal, 12(1), 407-414.

Oliveira, L. de; Abrita, M. B. 2015. Regime de Metas de Inflação: uma análise empírica do impacto da taxa de juros selic em variáveis macroeconômicas. ANAIS DO ENIC, (6). Disponível em: <<https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/view/2504>>.

Pérez-Lombard, L.; Ortiz, J.; Pout, C. 2008. A review on buildings energy consumption information. Energy and buildings. 40(3): 394-398.

Shapiro, S. S.; Francia, R. S. 1972. An approximate analysis of variance test for normality. Journal of the American statistical Association, 67(337), 215-216.

Souza, D. M. D.; Trovão, C. J. B. M. 2022. A dinâmica da informalidade no Brasil e na Argentina (2012-2019) e a vulnerabilidade da classe trabalhadora. Trabalho, Educação e Saúde. 20.

Venables, W. N.; Ripley, B. D. 2002. Modern Applied Statistics with S. 4ed. Springer. New York, NY, USA.