

Análise de Custos da Energia Elétrica

D.M. Silva , G.S. Abreu , P.H.L.C.X. Andrade and W.I.K.Junior

Abstract—This paper presents a way to analyze the costs of electricity in a specific region located in Brazil from the year 2010 up to the year of 2019, focusing on the average pricing of the electricity tariff that reaches the consumer annually. It also goes through a long list of the factors that influence these tariffs and costs for different types of energy: Wind, nuclear, thermal, and hydroelectric power. With the main goal of predicting future values for the upcoming years using past data, in the southern region of the country involving the states of Paraná, Rio grande do Sul and Santa Catarina, through the use of linear regression. And for that, it was necessary to apply a linear regression program developed in a code format in Python language, using the Spyder4 software.

Index Terms—Spyder4, Energy, Pricing

I. INTRODUÇÃO

A Energia é um grande desafio para o desenvolvimento da economia, sendo essa vital para promover o processo industrial, permitindo que as demais atividades sejam realizadas e ampliadas. O seu caráter estratégico assume importância quando se pensa em desenvolvimento socioeconômico, uma vez que os custos sociais de uma política energética mal direcionada podem ser elevados, causando até mesmo uma estagnação das atividades de uma nação.

Devido ao crescente consumo elétrico, a atual tarifa sofre constantes alterações para regular a comercialização de eletricidade. Segundo dados do EPE, as tarifas médias aumentaram entre 2018 e 2019 de 7,8%, mas que foi inferior aos anos de 2017 e 2018 (12,6%). Vale também resaltar que em todos os subsistemas, houve um acréscimo de 6% no consumo total.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Custos na atual estrutura Tarifária

Devido ao constante crescimento de demanda de energia elétrica no país, a tarifa média de energia anualmente sofre ajuste, sendo na maioria das vezes um ajuste elevando seu valor. Além da demanda a tarifa atual analisa dois componentes: a Parcela A e a Parcela B. Ambas impactam diretamente no aumento na conta de energia. A parcela A tem como base todos os custos atrelados à distribuidora para a geração e transmissão da energia, somados aos encargos setoriais que influem no aumento na conta de energia [5].

A parcela B por sua vez são os custos diretamente gerenciáveis pela distribuidora, já que estão diretamente

atrelados às práticas gerenciais adotadas pelas empresas de distribuição. Esta parcela é composta pelos custos operacionais, cota de depreciação, remuneração do investimento, subtraído das outras receitas[5]. Vamos a cada um deles:

- Custo de aquisição de energia: é calculado através da energia gerada que é necessária para atendimento do mercado subtraído pela tarifa média dos contratos de compra;
- Custo com transporte de energia: que corresponde a todo o transporte feito, desde a unidade geradora até o sistema de distribuição;
- Encargos setoriais: que são os custos não gerenciáveis. Estes encargos têm o suporte das concessionárias de distribuição e são repassados para o consumidor com o objetivo de garantir o equilíbrio econômico-financeiro contratual.
- Custos operacionais: tudo aquilo que é associado à operação, manutenção, comercialização e administração;
- Cota de depreciação: que corresponde a recomposição do capital investido e a remuneração dos investimentos. Voltado principalmente a rentabilidade do negócio de distribuição;
- Remuneração do investimento: este custo varia de acordo com a rentabilidade adotada pelas empresas de distribuição. Ela representa o custo de oportunidade dos recursos que seja compatível ao risco das distribuidoras;
- Outras receitas: além das receitas da aplicação tarifária, existem outras fontes de receitas referentes a atividades relacionadas à concessão de serviços públicos. Como, por exemplo, as receitas inerentes aos serviços e às atividades acessórias próprias e complementares;

Ainda possui o sistema das bandeiras tarifárias, o qual, sinaliza aos consumidores os custos reais da geração de energia elétrica. Esse sistema foi criado a fim de garantir maior transparência e simplicidade para que o consumidor entenda o aumento na conta de energia. Simplesmente, a bandeira verde significa que as condições são favoráveis na geração de energia, não gerando aumentos na tarifa de energia elétrica. Bandeira amarela representa condições menos favoráveis, fazendo com que a tarifa sofra um acréscimo de R\$ 0,010 por kWh consumido. A bandeira vermelha é dividida em dois patamares. No patamar 1 a tarifa sofre um acréscimo de R\$ 0,030/kWh. No patamar dois o acréscimo é de R\$0,050/kWh consumido[5].

B. Método da Regressão Linear

O método da regressão linear é o mais simples para ajuste de retas para um conjunto de pares de observação, de modo a

D.M. Silva, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (e-mail: daniel.silva11@unioeste.br).

G.S. Abreu, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (e-mail: gabriel.abreu@unioeste.br).

P.H.L.C.X. Andrade, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (e-mail: pedro.andrade2@unioeste.br).

W.I.K. Junior, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (e-mail: wilson.junior8@unioeste.br).

estimar uma terceira variável partindo de suas antecessoras[7]. A equação característica para esse tipo de método é:

$$y = a_0 + a_1x + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

Segundo [7], a melhor estratégia para ajustar a reta dos dados seria pela minimização do valor absoluto da soma dos erros residuais para todos os pontos dados e apresentados, seguindo o seguinte critério :

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i)^2 \quad (2)$$

C. Classificação dos custos

Os custos embutidos em qualquer tipo de atividade econômica devem ser constantemente avaliados, uma vez que as atuais exigências de mercado abrigam uma visão onde os lucros são resultantes de baixo custo de produção de um determinado produto. Conforme descreve [9], o custo surge muito antes do início do procedimento produtivo, onde custos de implantação, investimento, pesquisa, etc, devem ser avaliados com antecedência.

1) *Custos de globais do setor elétrico*: Conforme a situação geológica de uma nação, alguns tipos de geração podem ser aplicados a essa, como forma de atender as necessidades de seu povo. Alguns fundamentos primordiais que devem ser avaliados para os custos de uma usina:

- Os investimentos de capital aplicado a essa;
- Investimentos na forma de transmissão da geração;
- Operação e manutenção das unidades geradora;
- Custos em matéria prima de produção: essa representa os gastos com combustível para o funcionamento das unidades geradoras;

Outro entrave, caracterizado por alguns autores como “Custos Ambientais” e por outrem como “Exigências Ambientais” devem também ser elaborados conforme as legislações específicas de cada Estado, conforme o aumento das necessidades em preservação onde essas legislações, em algumas situações, inflam mais o gasto de todos os setores de construção, operação e manutenção do sistema de produção.

2) *Custos marginais*: O custo marginal pode ser caracterizado como o aumento do custo de produção na situação de aumento do número adicional de produtos[6]. Definido matematicamente como ,derivada do custo total sobre o volume produzido por tempo.

$$C Ma = \frac{dCT}{dQ} \quad (3)$$

Na produção elétrica, o custo marginal pode ser definido como a relação do custo total na geração, onde podemos dividir esse em outros três:

- O de curto prazo: que é o custo por unidade de energia produzida para atender um acréscimo de carga momentâneo;
- Custo marginal de longo prazo: que é o custo para atender uma nova demanda de energia, incorporando nova unidade geradora;
- Custo marginal a longuíssimo prazo: uma estimativa dos custos de geração para um prazo maior que 10 anos;

D. Custos nas plantas de produção

Os valores agregados para construção e manutenção de plantas geradoras cresceu consideravelmente nos últimos anos, esses reajustes podem ser associados aos novos valores dos metais e dos componentes necessários para as unidades geradoras. Um exemplo de alguns valores, pode ser apresentado segundo a Tabela 1 apresentada por [8] e reproduzida abaixo.

Custos UHE	Participação no Custo Total %	Custo em R\$/kW
Projeto	3,0	79,44
Obras Cíveis	45,0	1.191,60
Equipamentos	25,0	662,00
Ambientais	10,0	264,80
Instalação	2,0	52,96
Transmissão	7,0	185,36
Financeiros	8,0	211,84
TOTAL	100,0	2.684,00

TABLE I

TABELA 1 - CUSTOS DE UMA USINA HIDROELÉTRICA - FONTE: URIAN,2011(ADAPTADO)

Conforme apresentado, os valores mais predominantes na etapa de construção de uma Usina Hidrelétrica são principalmente de obras civis e equipamentos em geral. Ainda, com a crise hídrica que ocorre no Brasil fica mais evidente que não é possível depender exclusivamente de fontes renováveis para suprir a demanda energética.

E. Usinas Nucleares

Conceitualmente as plantas nucleares são similares às térmicas em ciclo simples. Envolve o aquecimento do vapor a alta pressão que, ao se expandir, aciona uma turbina térmica, movimentando um gerador elétrico ligado ao seu eixo[4]. As divergências entre as gerações são os procedimentos tomados na geração e o combustível, que na matriz nuclear é o Urânio. De modo geral, a tendência dos países da OCDE é a utilização maximizada das usinas nucleares em detrimento do aumento da capacidade instalada, devido a sua economicidade [4](apud,IAEA,2015). Os gastos gerais de uma Unidade Nuclear podem ser sintetizados da tabela a seguir, extraída do EPE.

Investimento (US\$/kW)	5.000
O&M (US\$/MWh/ano)	110
Combustível (US\$/MWh)	9
Vida útil (anos)	60
Tempo de construção (anos)	7
Eficiência (%)	33
Potência da planta (MW)	1.000
Descomissionamento (US\$/kW)	200 a 500

TABLE II

TABELA 2 - PARÂMETROS ECONÔMICOS DA TERMELETRICA NUCLEAR - FONTE: EPE

F. Usinas Termelétricas à Gás

A geração termelétrica é apresentada como uma saída a curto prazo para o acréscimo na capacidade de geração instalada. São operadas através de um ciclo simples com uma turbina a gás, que comprime o combustível, queima e depois envia-o para a turbina, onde se expande e gira o eixo ligado ao gerador elétrico. Apesar de serem configurações de

geração bastante definidas, o seu valor de implementação varia conforme as características particulares de cada projeto. A Tabela 31 de [3], apresentada aqui pela Figura 1, é verificado que os valores referentes (tomando como base a TGCS: turbina a gás de ciclo simples) ao custo do combustível e comparado pela tabela 2, é plausível dizer que o custo final de uma termelétrica a gás é muito superior ao de uma nuclear, além de que os custos de operação e manutenção também não são muito atrativos para as de gás com o agravante da necessidade de redução das emissões de poluentes, além que sob outras perspectivas, as hidrelétricas não possuem gastos com combustível e sua vida útil e retorno ambiental também são muito mais atrativas.

		TGCS	TGCC
Custo específico ¹	US\$/kW	800	1000
O&M fixo	R\$/kW/ano	170	270
O&M variável	R\$/MWh	20	20
Custo de combustível	R\$/MWh	400	260
Fator de capacidade	%	60	90
Vida útil	anos	20	20

Fig. 1. Custos de uma Termelétrica - Fonte:EPE

G. Usinas Eólicas

Os parques eólicos são provedores de uma das denominadas energias renováveis, pois utilizam das correntes de vento para girar um conjunto de pás que rotaciona o eixo ligado ao gerador. A evolução desse setor demonstra um progressivo aumento da potência fornecida, conforme descrito pelo[9]. Os custos associados à fabricação dos aerogeradores caiu substancialmente durante as últimas décadas, enquanto a qualidade e o tamanho dos aerogeradores aumentou [3]. Um gráfico apresentando os custos gerais para implantação dessa fonte são apresentados na Figura 2. Esses custos tornaram a produção eólica um investimento atrativo, contudo a dispersão desta energia e a necessidade de geração complementar tornaram os investimentos pouco competitivos.

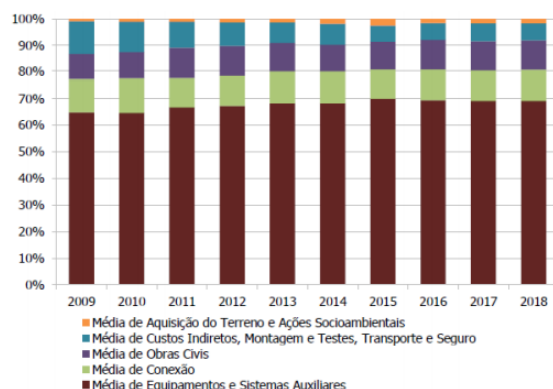


Fig. 2. Custo nas Plantas Eólicas - Fonte: EPE

III. METODOLOGIA EMPREGADA

Com o objetivo de prever os valores médios da tarifa, com um enfoque maior na região Sul, foi utilizado o método de regressão linear para apresentar a variação dos valores de comercialização por GWh. Inicialmente foi realizada uma busca por dados de consumo tarifado da produção elétrica em escala nacional no site do EPE (Empresa de Pesquisa Energética), com esses dados foi realizada uma filtração dos sistemas para o subsistema Sul, os dados selecionados para esse estão dispostos na tabela a seguir:

Ano	Valor Médio (R\$/GWh)
2010	248,53
2011	266,67
2012	277,22
2013	235,15
2014	264,28
2015	409,41
2016	415,39
2017	403,28
2018	456,43
2019	488,17

TABLE III

MÉDIAS TARIFÁRIAS DA REGIÃO SUL - FONTE:EPE

Foi elaborado com essas informações, um projeto-código em Python para estimar a progressão linear da reta das tarifas e obteve-se a seguinte reta, conforme Figura 3. Com a equação

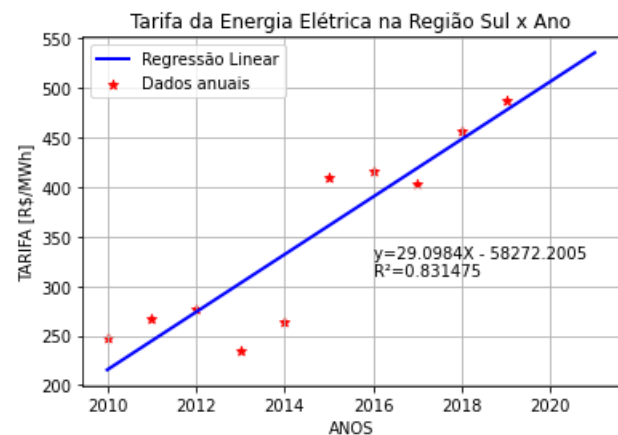


Fig. 3. Regressão Tarifária do setor Sul

da regressão linear é possível prever o valor da tarifa de 2020, sendo o valor encontrado de R\$ 506,58. Porém ao comparar com o valor real da tarifa no ano de 2020 de R\$ 481,28, coletado no site da Empresa de Pesquisa Energética, foi possível determinar que o valor foi menor que esperado, isso pode ter ocorrido devido a fatores climáticos, socioeconômicos e biológicos como a Covid-19.

IV. CONCLUSÃO

A média tarifária do ano de 2020 apresentou abaixo do esperado devido a diversos motivos o qual ocorreu naquele ano como:

- Os estados do Sul estarem na bandeira tarifária verde;
- A pandemia o qual ocasionou o fechamento de lojas e estabelecimentos;

- O decreto Nº 10.350/2020[1] e a Medida Provisória 950/2020[2], o qual garante que toda população terá acesso a energia no período da pandemia.

Assim considerando as particularidades referentes ao sistema de bandeiras tarifárias, considerando os eventos particulares em tempos de pandemia, o uso das termelétricas foi peso considerável pois ocorria uma necessidade momentânea de suprimento emergencial de energia. As hidráulicas ou hidroelétricas, sofriam com a crise hídrica que, em alguns estados se arrasta até os dias de hoje. Atualmente, os gastos para o setor tornaram-se menores, mais ainda decorre a bandeira vermelha partamar dois, que é a maior por consequência do clima desfavorável para a matriz energética principal do país, que é a hídrica e com o leve agravante da interrupção programada da Usina de Angra II, que passa por processo de reabastecimento de seu reator.

Como o reajuste tarifário anual é reajustado em Junho, onde já estava em pandemia da Covid-19, fez com que congelasse a tarifa e com indústrias e fábricas fechadas durante essa época, fez com que fosse mudado da bandeira amarela para a verde.

A metodologia aplicada na análise dos dados foi aceitável pois, a regressão linear gera uma melhor tendência para estes dados, pois se fosse aplicar uma regressão polinomial, o valor previsto para o ano de 2020 seria mais destoante do que o estimado.

V. AUTOAVALIAÇÃO

Gabriel: 85

Pedro: 80

Wilson: 80

Daniel: 75

Trabalho: 80

Particularidades não foram bem alcançadas, o artigo em si foi elaborado de modo conjunto, não houveram atritos apenas confusões a respeito do objetivo final. Não foi possível alcançar algumas edições no Latex por incompreensão da elaboração do molde utilizado, necessário criar um dos zeros com configurações que atendam a padrões particulares das bancas e avaliadores.

REFERENCES

- [1] Brasil. Decreto nº 10.350, de 18 de maio de 2020. 2020.
- [2] Brasil. Medida provisória nº 950, de 8 de abril de 2020. 2020.
- [3] Brasil. Ministério de Minas e Energia and Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050*. EPE, Rio de Janeiro:, 2018.
- [4] Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020*. EPE, Rio de Janeiro, 2020.
- [5] SolarVolt Energia. Por que ocorre aumento na conta de energia? N/D.
- [6] César Rogério. Economia pesqueira 1, capítulo 5 - custo de produção. N/D.
- [7] Chapra S.C. and R.P. Canale. *Métodos Numéricos Para Engenharia*. MCGRAW HILL - ARTMED, 2016.
- [8] Risto Tarjanne, Aija Kivistö, et al. Comparison of electricity generation costs. *Research report/Faculty of Technology. Department of Energy and Environmental Technology*, 2008.
- [9] Braciani Urian et al. Estrutura de custos para implantação das usinas de geração de energia elétrica no Brasil. 2011.