



PREVISÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO ELÉTRICA NO BRASIL: UMA APLICAÇÃO DA SUAUVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLO DE HOLT NO ÂMBITO EDUCACIONAL

Michelle Melo Cavalcante – michellemelo.c@ifba.edu.br

João Lucas de Souza Silva – jlucas.silva@ifba.edu.br

Esdriane Cabral Viana – esdriane@ifba.edu.br

Danielle Bandeira de Mello Delgado – danielle.delgado@ifba.edu.br

Instituto Federal da Bahia (IFBA), Departamento de Engenharia Elétrica

Rua Marcondes Ferraz, 200 – General Dutra

48607-000 – Paulo Afonso – Bahia

Resumo: *Através da necessidade de previsão, manipulação de dados e extração das informações de interesse desses dados, o presente trabalho apresenta e aborda uma aplicação do método de previsão de Suavização Exponencial Duplo de Holt para previsão da capacidade instalada de geração elétrica no Brasil no âmbito educacional. Como resultados, verifica-se, além das previsões confiáveis sobre a capacidade instalada de geração de energia no Brasil, a capacidade do método de previsão de Suavização Exponencial Duplo de Holt como metodologia de estímulo e aprendizado na área de análise e interpretação de dados e atividades em estatística no geral, com possibilidade de exploração do caráter científico e observacional do discente.*

Palavras-chave: *Previsão, Capacidade instalada, Geração elétrica, Suavização exponencial, Educação.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ballou (2001), a realização de previsão é um importante fator no processo decisório, tanto no nível estratégico quanto no operacional porque fornece as entradas básicas para planejamento e controle de todas as áreas funcionais, incluindo a logística, o marketing, a produção e as finanças.

De modo geral, a pesquisa por métodos estatísticos de previsão adequados para o prognóstico quantitativo de uma variável, e como medir a qualidade dessa previsão tem sido um diferencial cada vez mais utilizado pelas empresas para antecipar cenários futuros. Assim é possível planejar, alocar e dimensionar recursos de modo a tentar reduzir custos desnecessários com decisões equivocadas. As empresas recorrem frequentemente a esses métodos estatísticos em áreas diversas como a gestão de inventário, planejamento da produção, escalonamento dos recursos humanos, controle do processo, entre outras. O objetivo central da utilização destes métodos é prever os acontecimentos futuros, tendo como propósito a redução do risco na tomada de decisão (VERÍSSIMO *et al.*, 2012).

Os primeiros esforços para a criação de algoritmos de previsão no campo de sistemas elétricos foram dedicados à previsão de demanda de energia (BUNN, 1985) através da



avaliação de projeções de crescimento dos setores da economia. Tal previsão deve ser robusta o suficiente para não responder a eventos especiais que afetam a demanda, tal como racionamentos de energia elétrica (por exemplo, o apagão de 2000) e períodos recessivos da economia (FOGLIATTO *et al.*, 2005).

Em um contexto mais amplo de sistemas elétricos, as previsões ajudam, por exemplo, um operador na manutenção das reservas hidráulicas através da operação antecipada de unidades termoeletricas ou na programação de manutenção dos elementos dos sistemas de potência. Enquanto que, do ponto de vista dos agentes de mercado, tem sido uma ferramenta de otimização do fornecimento de energia para o mercado de energia elétrica, a fim de maximizar a rentabilidade e garantir a continuidade do abastecimento (SILVA *et al.*, 2015).

Entretanto, ferramentas de previsão também podem ser utilizadas para, no caso do sistema elétrico, previsão da capacidade instalada na geração de energia elétrica e para fins educacionais direcionados a interpretação de dados e análise estatística, sendo esta última, segundo Andrade (2008), um ramo que surgiu da necessidade de manipulação de dados coletados e de como extrair informações de interesse desses dados.

Dessa forma, a estatística tem elevada importância devido seu objetivo de obter, organizar e analisar dados estatísticos cuja finalidade é descrever e explicá-los, além de determinar possíveis correlações, enfatizando a produção da melhor informação plausível a partir dos dados disponíveis (ANDRADE, 2008).

Embasado em tal contexto, o presente artigo introduz e apresenta métodos de previsão com ênfase no método de Suavização Exponencial Duplo de Holt por se verificar ser o mais indicado para análise da capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil com o objetivo de apresentar tal ferramenta no âmbito educacional, isto é, como metodologia de estímulo e aprendizado na área de análise e interpretação de dados e atividades estatística no geral. Para isso, o artigo se divide em mais quatro seções: seção 2 traz uma introdução ao tema, seção 3 a metodologia empregada, seção 4 os resultados obtidos e seção 5 as conclusões conseguidas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção apresenta-se os métodos para previsão de dados de Suavização Exponencial Simples, Suavização Exponencial Duplo Holt e Suavização Exponencial Holt-Winters, além de uma abordagem sobre o erro percentual absoluto médio (MAPE). Destaca-se que estes métodos aumentam o erro conforme o número de previsões, sendo o ideal prever o menor período possível para o padrão desejado.

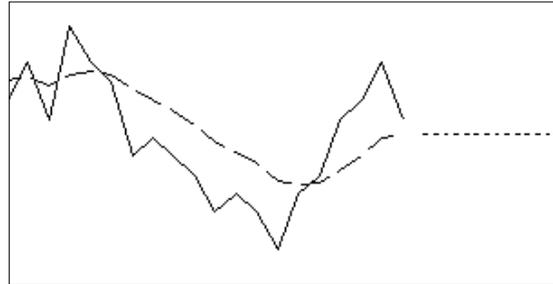
2.1. Suavização Exponencial

O método da Suavização Exponencial Simples (SES) é a forma mais básica de realizar a previsão de dados por meio de métodos de suavização exponencial. É um método indicado somente para séries de dados que não possuem tendências ou padrões sazonais, utilizando-se assim, o nível da curva de dados, associando pesos maiores para o histórico mais recente (MAÇAIRA *et al.*, 2016).

A Figura 1 apresenta um exemplo de gráfico de séries de dados sem tendência e sazonalidade, mas com níveis. Tipos como essa de séries de dados é o desejado para aplicação do método de Suavização Exponencial Simples.



Figura 1 – Modelo de curva para dados sem tendência e sazonalidade (MINITAB, 2017a).



A modelagem matemática para o SES destinada a uma série de P_1, \dots, P_T , é:

$$n_t = \hat{P}_{t+1} = \alpha P_t + (1 - \alpha)n_{t-1} \quad (1)$$

$$\hat{P}_{T+h|t} = n_T \quad (2)$$

Onde,

n_t é o valor exponencialmente suavizado em período t ou nível;

P_t é o dado da série histórica em um período t ;

α é a constante de Suavização, que vai de 0 à 1;

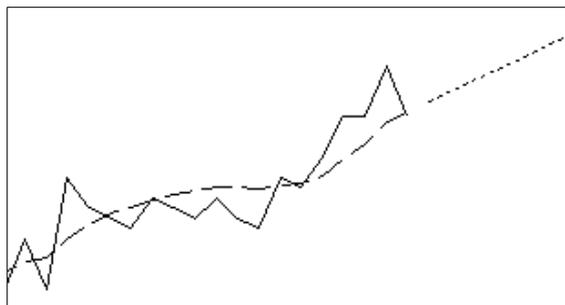
\hat{P}_t é o valor previsto da série.

Ressalta-se que para SES, a equação (2) mostra que supondo um valor h passos a frente que se quer prever, as previsões serão todas constantes com base no valor da última observação, P_t (MAÇAIRA *et al.*, 2016).

2.2. Suavização Exponencial Duplo de Holt

Buscando então, melhorar a previsão quando se tem um conjunto de dados com uma determinada tendência (crescimento ou decrescimento), foi criando em 1957 por Charles C. Holt (CHASE, 2013), o método de Suavização Exponencial Duplo de Holt (SEDH). Graficamente, um exemplo de modelo de série para este tipo de método é ilustrado na Figura 2, onde os dados tende ao crescimento.

Figura 2 – Modelo de curva para dados com tendência e nível (MINITAB, 2017a).





Para tanto, no método de Suavização Exponencial Duplo de Holt, acrescenta-se aos cálculos mais uma equação de suavização, tendo agora duas equações: Uma para o nível e outra para tendência (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998), conforme equações a seguir.

$$n_t = \alpha P_t + (1 - \alpha)(n_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3)$$

$$b_t = \beta(n_t - n_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (4)$$

$$\hat{P}_{T+h|t} = n_T + hb_T \quad (5)$$

Onde,

n_t é o valor exponencialmente suavizado em período t para nível;

b_t é o valor exponencialmente suavizado em período t para tendência;

P_t é o dado da série histórica em um período t;

α é a constante de Suavização, que vai de 0 à 1;

β é a constante de Suavização para tendência, que vai de 0 à 1;

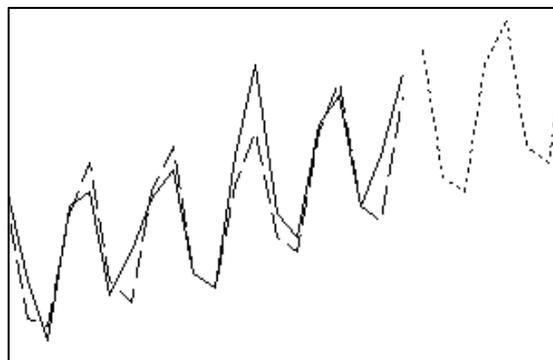
\hat{P}_t é o valor previsto da série.

Assim, para o caso do método Duplo de Holt pela equação de nível é visto que n_t é uma média ponderada da observação P_t . Já na equação de inclinação, b_t , calcula-se como sendo a média ponderada utilizando-se da diferença de nível no tempo atual e anterior e na própria tendência observada no tempo (t-1) (MAÇAIRA *et al.*, 2016). Desta forma, tem-se agora uma previsão inclinada e não constante como no método anterior, conforme $\hat{P}_{T+h|t}$.

2.3. Suavização Exponencial Holt-Winters

Ainda existe outros métodos como, por exemplo, o método Holt-Winters (Suavização Tripla), um aperfeiçoamento do método de Holt em que considera também, além das características mencionadas anteriormente, a sazonalidade dos dados. Winter propôs dois tipos de efeitos sazonais: multiplicativo e aditivo (VERÍSSIMO *et al.*, 2012). A Figura 3 exemplifica a série de dados para este método.

Figura 3 – Modelo de curva para dados com sazonalidade, tendência e nível (MINITAB, 2017a).



É válido destacar que as constantes de suavização devem ser sempre um valor entre 0 e 1; caso seja diferente disso, as previsões não são confiáveis.



2.4. MAPE: Erro percentual absoluto médio

Para verificar se os dados matemáticos podem ser considerados durante uma previsão é importante recorrer a equações como o cálculo da MAPE, que consiste em uma equação que definirá o erro médio em porcentagem com base nos dados da série (MINITAB, 2017b), ou seja, quanto menor o valor, melhor.

Segundo Lewis (1997) o MAPE é uma das medidas de erro mais utilizadas para avaliar métodos de previsão. A mesma consiste na equação (6), que pode ser aplicada depois de se ter os dados obtidos por um dos métodos de suavização exponencial.

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|}{n} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

y_t é a demanda real em determinado período t ;

\hat{y}_t é a previsão em determinado período t ;

n é o número total de períodos de previsão t .

3. METODOLOGIA

Recorreu-se a pesquisa quantitativa, visto que o objetivo é utilizar uma abordagem matemática para prever dados e, por conseguinte, realizar a análise dos mesmos, aperfeiçoando a atividade científica com estudantes.

Na primeira etapa da metodologia realizou-se pesquisas bibliográficas sobre dados da energia elétrica no Brasil, visando observar séries de dados em que se podia realizar previsões produzindo o desenvolvimento do conhecimento científico do discente com a realização de pesquisas e análises de dados. Após a escolha pela capacidade instalada de energia elétrica, utilizou-se dados dos anuários estatísticos de energia elétrica (EPE, 2017a) e balanço energético nacional (EPE, 2017b), disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e estudou-se tipos de séries temporais para realização de previsões.

A segunda etapa serviu para agrupar os dados e verificar o comportamento do grupo em evidência, buscando-se assim, com os conhecimentos adquiridos, escolher o melhor método para realizar as previsões.

Na terceira etapa, foi utilizado o software Minitab, um programa que ajuda na análise de dados podendo ser utilizado para realizar diversos tipos de cálculos e montagem de gráficos. Com os dados foram feitos testes, observando assim, o comportamento do sistema e formas de minimizar os devidos erros. Nesse ensejo, foi obtido os presentes dados mostrados no trabalho com previsão futura de cinco anos de capacidade instalada.

4. RESULTADOS

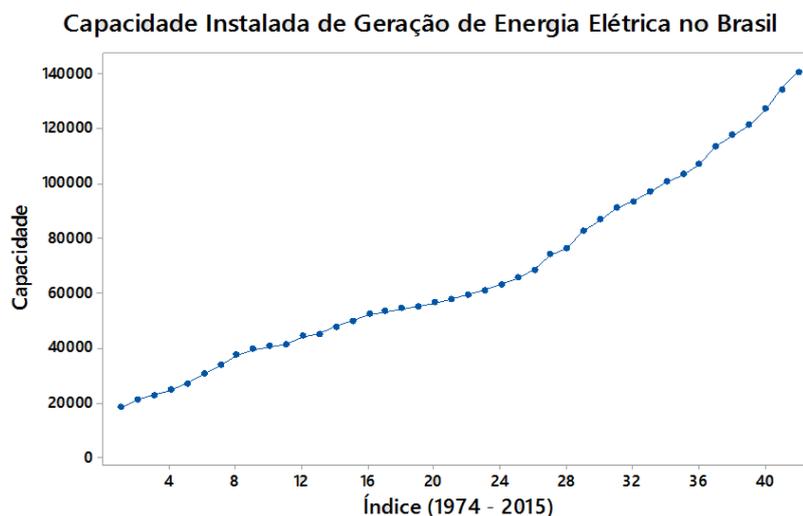
Com os dados coletados de capacidade instalada anual desde 1974, montou-se o gráfico da Figura 4. É possível verificar uma curva com tendência de crescimento e com níveis, mas sem uma sazonalidade específica já que a capacidade instalada tende a crescer com o aumento populacional e o constante desenvolvimento tecnológico.

Pela Figura 4 e a teoria estudada, pode-se dizer que a melhor opção seria a aplicação do Método de Suavização Duplo de Holt, pois tem-se tendência e nível, e não se tem sazonalidade. Se fosse utilizar SES tem-se as previsões constantes com base no valor da



última previsão, o que não seria adequado, já que o presente trabalho deseja prever os próximos 5 anos.

Figura 4 – Gráfico da Capacidade Instalada (MW) no Brasil com base em EPE (2017a) e EPE (2017b).

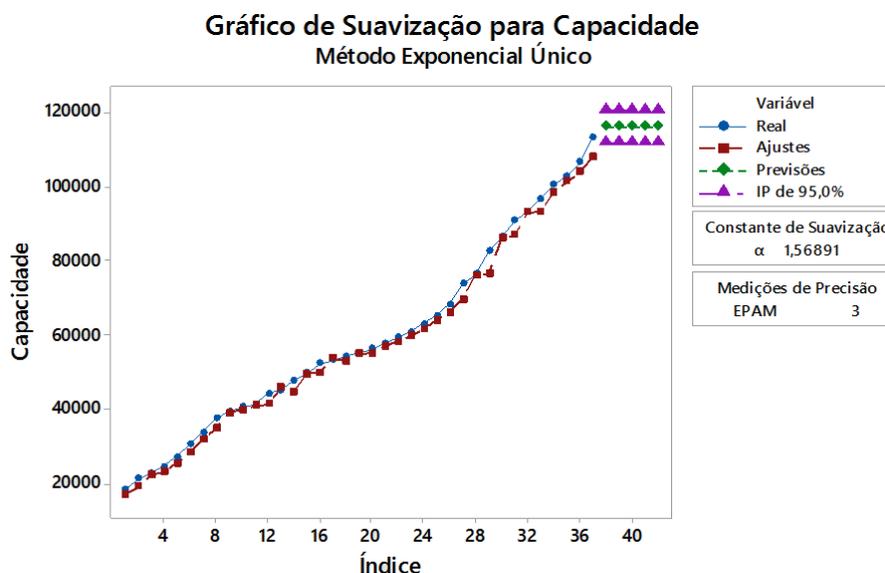


Durante o processo de aplicação dos métodos, verifica-se inicialmente se o comportamento é pertinente aos dados anteriores, depois verifica-se se a(s) constante(s) de suavização estão com valores coerentes, por fim, observa-se o valor do MAPE.

Para a aplicação educacional dos métodos foi feito inicialmente a aplicação da SES, assim poderia realizar a comparação com o método de suavização Duplo de Holt e dizer as diferenças percebidas, bem como a importância das constantes de suavização. Os primeiros testes foram feitos omitindo os anos de 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015, no ensejo de verificar o acerto envolvendo esses anos, fazendo os chamados “testes cegos”.

Para escolha da constante de suavização de nível, utilizou-se o método ARIMA do Minitab, que decide através de vários testes qual será o melhor valor para dada série, obtendo o gráfico com a aplicação da SES visto na Figura 5.

Figura 5 – Gráfico da capacidade instalada (MW) através do método SES.





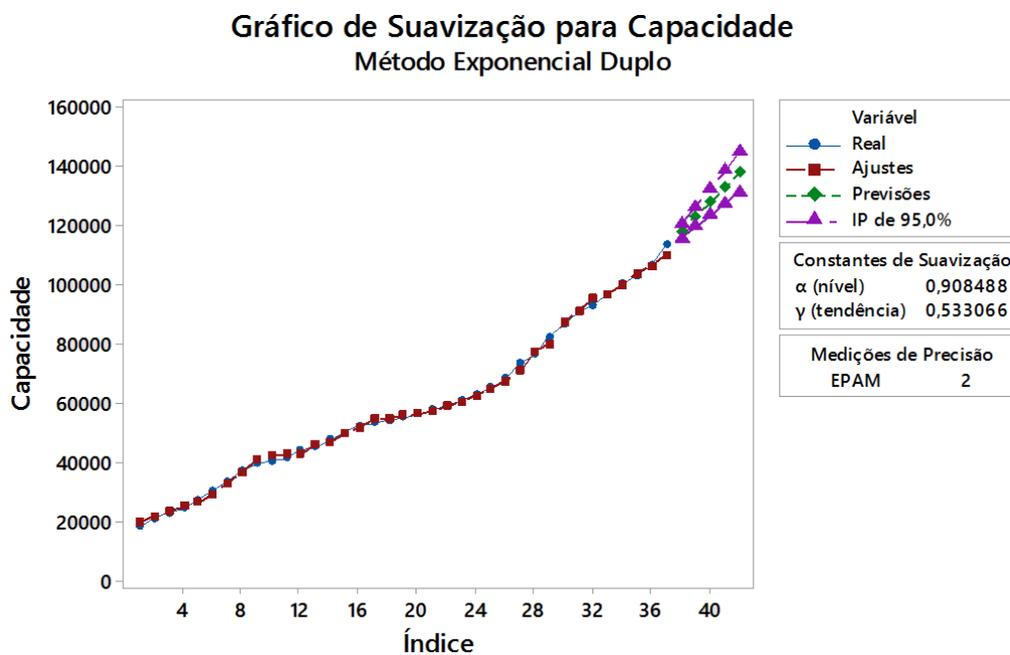
A previsão pelo método SES resultou em dados constantes para os 5 anos seguintes, provando que esse modelo não é ideal para o projeto. Além disso, a constante de suavização de nível passou de 1, significando que os dados não serão confiáveis. Simulando para outros valores de alfa obteve-se o mesmo problema; o valor para a constante que o ARIMA escolheu foi o que mais se aproximou do valor de 2011, mas como manteve-se constantes para os outros anos o método não serviu. A Tabela 1 mostra os valores para 2011.

Tabela 1 - Valores obtidos variando o valor de α ao utilizar o método SES para ano de 2011.

α	Valor real (2011)	Previsão (2011)	Inferior (2011)	Superior (2011)	MAPE (%)
1,56891	117136	116289	111934	120644	3
0,2	117136	97144	71893	122395	18
0,4	117136	106246	91769	120722	11
0,6	117136	109726	99491	119961	8
0,8	117136	111803	103765	119840	7
1	117136	113327	106644	120010	6

Na etapa seguinte, fez-se o mesmo teste, utilizando agora o método de Suavização Duplo de Holt. Para a escolha das constantes de suavização foi utilizada novamente o método ARIMA, obtendo o gráfico da Figura 6 a seguir.

Figura 6 – Gráfico “teste cego” da capacidade instalada (MW) através do método SEDH.



Com o método SEDH foi possível se ter uma curva crescente como era o desejado. O modelo ARIMA ajustou as constantes de suavização gerando um ótimo valor para MAPE e a curva se aproximando do real. A tabela 2, mostra a comparação dos valores reais com os previstos para a componente α igual a 0,908488 e β de tendência de 0,533066. No Minitab utiliza-se γ que é o mesmo que β visto na fundamentação.



Tabela 2 – Dados de previsão, considerando “teste cego” para Suavização Exponencial Duplo de Holt.

Ano	Real	Previsto	Inferior	Superior	MAPE (%)
2011	117136	118006	115660	120352	2
2012	120974	123004	119631	126378	2
2013	126743	128003	123539	132466	2
2014	133913	133001	127421	138581	2
2015	140272	137999	131290	144709	2

Os dados mostram-se muito próximo do real como desejado e com parâmetros ótimos; o valor real sempre é mantido entre os limites inferiores e superiores. Assim, realizou-se a previsão para os próximos 5 anos no Brasil utilizando os dados de 1974 até 2015, gerando o gráfico mostrado na Figura 7, com componente α igual a 0,931169 e β de tendência de 0,500618. A tabela 3 mostra os dados previstos para os próximos anos.

Figura 7 – Gráfico da capacidade instalada (MW) através do método SEDH com previsão até 2020.

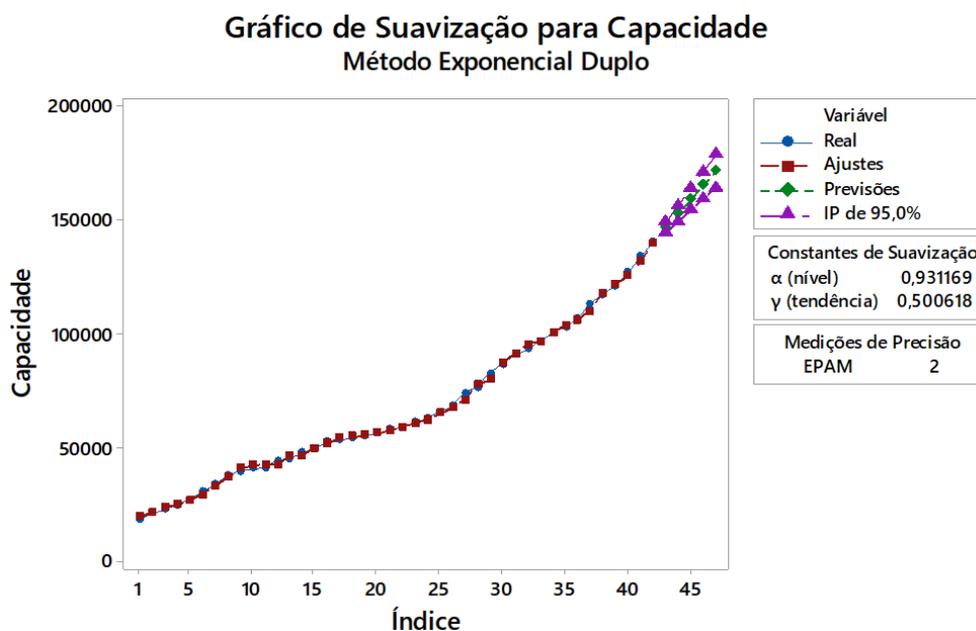


Tabela 3 – Dados previstos até 2020 pelo método de Suavização Exponencial Duplo de Holt.

Ano	Previsto	Inferior	Superior	MAPE (%)
2016	146482	144067	148897	2
2017	152728	149204	156253	2
2018	158974	154275	163673	2
2019	165220	159321	171120	2
2020	171467	164353	178580	2



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a série de dados envolvendo a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil, de 1974 a 2015, foi possível testar métodos de séries de suavização exponencial, visualizando características de crescimento dos dados, e conseguindo êxito na previsão com a Suavização Exponencial Duplo de Holt, que gerou uma MAPE de 2% para os próximos 5 anos, observando que o valor em 2020 pode chegar a 164.353MW de capacidade instalada.

O trabalho conseguiu atingir as expectativas também no que tange o âmbito educacional, mostrando que se pode utilizar assuntos de tal área, e através dos dados realizar previsões no contexto de sala de aula, explorando o caráter científico e observacional do discente ao realizar o estudo. Sendo então uma forma de incentivar, fortificar e desenvolver a atividade científica no curso de graduação e, apesar de se voltar no momento para área de engenharia elétrica, o estudo estatístico engloba qualquer área de estudo: exatas, humanas ou biológicas.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar a aplicação de métodos de Suavização Exponencial para outros dados na área de engenharia como, por exemplo, o crescimento da geração distribuída e o crescimento do uso de energia elétrica por segmentos, disseminando e colocando discentes para realizar as previsões e análises.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Mirian Maria; UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Ensino e aprendizagem de estatística por meio da modelagem matemática: Uma investigação com o ensino médio, 2008. 193f, il. Dissertação (Mestrado).

BALLOU, R.H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 4ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 532 p, il.

BUNN, D. Comparative Models for Electrical Load Forecasting, John Wiley & Sons, 1985. 242 p.

CHASE, C. W. Demand-Driven Forecasting: A Structured Approach to Forecasting. 2ª ed. Cary: Wiley, 2013. 384 p, il.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Disponível em:
<<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>> Acesso em: 02 mai. 2017a.

EPE. **Anexo A, Balanço Energético Nacional 2007**. Disponível em:
<[https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN%202007%20-%20Anexo%20A%20\(Capacidade%20Instalada\).xls](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN%202007%20-%20Anexo%20A%20(Capacidade%20Instalada).xls)> Acesso em: 02 mai. 2017b.

FOGLIATTO, F.S. *et al.* Previsão de demanda por energia elétrica: Método e aplicação. Anais: XXV – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre: PUCRS, 2005.

LEWIS, C. D. Demand Forecasting and Inventory Control. 1ª ed. New York: Wiley, 1997. 176 p.



MAÇAIRA, P. M. *et al.* Forecasting Brazil's Electricity Consumption with Pegels Exponential Smoothing Techniques. *Revista do IEEE América Latina, Brasil*, v. 14, p. 1252-1258, 2016.

MINITAB. **Métodos para analisar séries temporais.** Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/time-series/basics/methods-for-analyzing-time-series/>> Acesso em: 12 mai. 2017a.

MINITAB. **O que é MAPE, MAD e MSD?.** Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/time-series/time-series-models/what-are-mape-mad-and-msd/>> Acesso em: 12 mai. 2017b.

SILVA, W. F. *et al.* 2015. **Previsão da Eficiência de uma usina Geradora de Energia Elétrica.** Disponível em: <https://www.itegam.org.br/pegasus/imagens_site/arquivos/2015/10/previsao-da-eficiencia-de-uma-usina-geradora-de-energia-eletrica.pdf> Acesso em: 18 mai. 2017.

VERÍSSIMO, A. J. *et al.* Métodos estatísticos de suavização exponencial Holt-Winters para previsão de demanda em uma empresa do setor metal mecânico. *Gestão Industrial*, v. 08, n. 4, p. 154-171, 2012.

FORECASTING THE INSTALLED CAPACITY OF ELECTRIC GENERATION IN BRAZIL: AN APPLICATION OF HOLT'S DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING IN EDUCATIONAL FIELD

Abstract: *Due to the need for prediction, data manipulation and extraction of the information of interest of this data, the present work presents and discusses an application of Holt's Double Exponential Smoothing Prediction method to predict the installed capacity of electric generation in Brazil in the scope educational. As a result, besides the reliable predictions about the installed capacity of power generation in Brazil, the capacity of Holt's Double Exponential Smoothing prediction method as a stimulus and learning methodology in the area of analysis and interpretation of data and activities Statistics in general, with the possibility of exploring the scientific and observational character of the student.*

Key-words: *Forecasting, Installed Capacity, Electrical Generation, Exponential Smoothing, Education.*