

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 31/07/2021.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ALBERTO GUILHERME DE OLIVEIRA BEZERRA

Modelos de previsão de tarifa de água, aplicados a autarquias municipais e empresas privadas, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Ilha Solteira
2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALBERTO GUILHERME DE OLIVEIRA BEZERRA

Modelos de previsão de tarifa de água, aplicados a autarquias municipais e empresas privadas, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil com ênfase na área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais

Nome do orientador

Prof.º Dr.º Marcelo Libânio

**Ilha Solteira
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

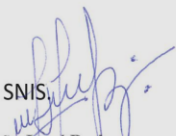
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Bezerra, Alberto Guilherme de Oliveira.
B574m Modelos de previsão de tarifa de água, aplicados a autarquias municipais e empresas privadas, nas regiões sul e sudeste do Brasil / Alberto Guilherme de Oliveira Bezerra. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2019
101 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2019

Orientador: Marcelo Libânio
Inclui bibliografia

1. Tarifa de água. 2. Redes neurais artificiais. 3. SNIS.



João Josué Barbosa

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Diretor Técnico
CRB 8-5642



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Modelos de previsão de tarifa de água, aplicados a autarquias municipais e empresas privadas, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil

AUTOR: ALBERTO GUILHERME DE OLIVEIRA BEZERRA

ORIENTADOR: MARCELO LIBÂNIO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO LIBÂNIO
Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos / Universidade Federal de Minas Gerais

Prof.ª Dr.ª LILIANE LAZZARI ALBERTIN
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. VEBER AFONSO FIGUEIREDO COSTA
Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos / Universidade Federal de Minas Gerais

Ilha Solteira, 31 de julho de 2019

DEDICATÓRIA

Dedicado à memória de meu avô, José Bezerra da Silva, e minha tia, Adriana Roberta Bezerra da Silva, figuras que tiveram grande papel em meu desenvolvimento pessoal, por meio dos bons exemplos transmitidos durante nosso convívio. Saibam que, de onde estiverem, serão sempre lembrados.

AGRADECIMENTOS

A bem da verdade, esse capítulo, caso fosse elencar todas as pessoas as quais devo agradecimentos por todas as contribuições ao longo de minha carreira acadêmica, tornar-se-ia tão extenso quanto essa pesquisa. Assim sendo, meus agradecimentos serão restringidos, mas muitos que aqui não estão citados, terão sempre minha gratidão.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela dádiva da vida e pelo compromisso com a constante evolução a cada novo dia de minha existência.

Aos meus pais, José Nilson e Sônia, por todo o incentivo e apoio ao longo de minha vida. À minha namorada, Lígia, que agora “virou” minha noiva, por toda a paciência e compreensão durante o período de dedicação a pesquisa. E por fim, meu irmão, Vinícius, e a toda minha família.

Ao meu orientador Marcelo Libânio, por ter aceitado esse desafio, apoiando-me e sempre disposto a aconselhar e nortear nossa pesquisa, com seu imensurável conhecimento e paciência para as várias horas de vídeo. À professora Mara Lúcia pela transmissão de uma parte de seu conhecimento estatístico e, sobretudo, no que tange às redes neurais artificiais.

Aos docentes do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especificamente os professores Tsunao Matsumoto, pelas orientações desde o período de graduação; Milton Dall’Aglia Sobrinho, pelo apoio durante o período de estágio docência, sendo sempre uma referência dentro da sala de aula. Por último, e não menos importante, o agora aposentado, Edson Pereira Tangerino, pelo seu incentivo, lá no longínquo ano de 2008, no primeiro projeto de pesquisa desenvolvido.

À UNESP - Ilha Solteira, onde todo meu processo de pós-graduação e, também, graduação aconteceu. Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro Código de Financiamento 001.

Ao companheiro de pós-graduação José Antônio Zanettoni.

A você, caro leitor, pelo interesse por essa dissertação.

“No que diz respeito ao desempenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem-feita ou não faz.” – **Ayrton Senna**

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é avaliar modelos de previsão de tarifa de água, aplicados a autarquias municipais e empresas privadas, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Utilizando a metodologia de cálculo e posterior comparação dos erros obtidos para as previsões, verificando também a aplicabilidade das tarifas previstas para cada sistema de abastecimento. Utilizou-se dois modelos de previsão, o primeiro, fundamentado em técnicas de regressão linear múltipla e o segundo, baseado na aplicação de redes neurais artificiais. Avaliando, dessa forma, a capacidade de os dois modelos em questão preverem os valores tarifários a serem cobrados pelos prestadores de serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto, a partir da análise das tarifas anteriormente praticadas. Os dados subsidiários para elaboração dos modelos foram obtidos por meio do sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS). Confirmada a consistência do banco de dados primário, procedeu-se com processamento destes dados, e definição das variáveis mais intervenientes para a definição da tarifa por meio da técnica de análise de correlação. Propôs-se a classificação dos sistemas de acordo com a classe jurídica do prestador de serviço, os cenários financeiros (superávit ou déficit) destes prestadores e o porte populacional dos municípios atendidos. Os resultados obtidos indicaram que os processos de previsão, em ambos os modelos utilizados, foram capazes de prever com elevada acurácia as tarifas, e garantir a manutenção do superávit para os sistemas analisados. Muito embora ambas as classes jurídicas tenham apresentado resultados positivos, notou-se uma uniformidade no número de variáveis selecionadas para as empresas privadas independente do critério financeiro considerado.

Palavras-chave: Tarifa de água. Redes neurais artificiais. SNIS.

ABSTRACT

The objective of the present work was evaluating forecasting models for water tariff applied to municipal and private companies in the South and Southeast regions of Brazil. Using the calculation methodology and subsequent comparison of the errors obtained for the forecasts, also verifying the applicability of the forecast tariffs for each supply system. Two prediction models are used, the first based on multiple linear regression techniques and the second based on the application of artificial neural networks. Evaluating, in this way, the ability of the two models in question to predict the tariff values to be charged by the water supply and wastewater collection service providers, based on the analysis of the tariffs previously practiced. The subsidiary data for the elaboration of the models were obtained through the national sanitation information system (SNIS). Confirming the consistency of the primary database, we proceeded with processing of these data and definition of the most intervening variables for the definition of the tariff through the correlation analysis technique. The classification of the systems according to the legal class of the service provider, the financial scenarios (surplus or deficit) of these providers and the population size of the municipalities served were proposed. The obtained results indicated that the forecasting processes, in both models used, were able to predict with high accuracy the tariffs, and guaranteed the maintenance of the surplus for the analyzed systems. Although both legal classes showed positive results, there was a uniformity in the number of variables selected for private companies regardless of the financial criterion considered.

Keywords: Water tax. Artificial neural network. SNIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico comparativo dos valores totais de receita e despesa dos sistemas que operaram entre os anos de 2013-2017 no Brasil.	16
Figura 2 - Representação do neurônio (a) biológico e (b) computacional.	27
Figura 3 - Representação esquemática de uma rede neural “feedforward backpropagation” com o termo momento.	28
Figura 4 - Representação da etapa de treinamento de uma rede neural artificial.	29
Figura 5 - Representação da etapa de diagnóstico de uma rede neural artificial.	29
Figura 6 - Fluxograma descritivo das etapas de classificação e organização dos sistemas.	35
Figura 7 - Fluxograma representativo das etapas de seleção e verificação dos modelos de previsão..	36
Figura 8 - Total de municípios com informações e indicadores disponíveis a partir da implementação do SNIS	47
Figura 9 – Modelo de entrada de dados para a etapa de treinamento aplicada ao sistema operado no município de Baixo Guandu - ES.	58
Figura 10 – Modelo de entrada de dados para a etapa de diagnóstico aplicada ao sistema operado no município de Baixo Guandu - ES.	58
Figura 11 - Finalização do processo de treinamento/diagnóstico para o município de Baixo Guandu - ES.	59
Figura 12 - Obtenção da tarifa média projetada, para o município de Baixo Guandu ES.	59
Figura 13 - Comparativo das tarifas projetadas para as autarquias municipais, no âmbito do cenário 01.	62
Figura 14 - Comparativo das tarifas projetadas para as empresas privadas, no âmbito do cenário 01.	62
Figura 15 - Comparativo das tarifas projetadas para as autarquias municipais, no âmbito do cenário 02.	93
Figura 16 - Comparativo das tarifas projetadas para as empresas privadas, no âmbito do cenário 02.	94
Figura 17 - Comparativo das tarifas projetadas para as autarquias municipais, no âmbito do cenário 03.	100
Figura 18 - Comparativo das tarifas projetadas para as empresas privadas, no âmbito do cenário 03.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais estudos relacionados às redes neurais artificiais.	27
Tabela 2 - Principais estudos envolvendo aplicações de redes neurais na engenharia elétrica.	30
Tabela 3 - Principais estudos envolvendo aplicações de redes neurais na engenharia civil.....	30
Tabela 4 - Distribuição total dos registros históricos de informações de sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto, entre os anos 1995-2017.....	45
Tabela 5 - Distribuição dos operadores de sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto, de acordo com a classe jurídica, para o ano de 2017.	46
Tabela 6 - Dados disponíveis, no SNIS, referentes ao indicador AG006, para o município de Baixo Guandu-ES.	47
Tabela 7 – Parâmetros de seleção calculados para os dados disponíveis do indicador AG006	48
Tabela 8 - IDA médio anual para os sistemas selecionados, entre os anos 2007 e 2011	48
Tabela 9 - Distribuição dos sistemas de acordo com a classificação proposta para a relação “Receita x Despesa”.....	49
Tabela 10 - Distribuição dos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto de acordo com a classificação populacional, para o cenário 01, no ano de 2017.....	49
Tabela 11 - Distribuição dos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto de acordo com a classificação populacional, para o cenário 02, no ano de 2017.....	50
Tabela 12 - Distribuição dos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto de acordo com a classificação populacional, para o cenário 03, no ano de 2017.....	50
Tabela 13 - Dados utilizados para o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, para o município de Baixo Guandu – ES.	51
Tabela 14 - Resultados obtido calculando-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), para todos os municípios enquadrados na classificação proposta.	51
Tabela 15 - Valores médios (positivos e negativos) do coeficiente de correlação de Pearson (r) encontrados para a classe de estratificação IV.	52
Tabela 16 - Valores médios (positivos e negativos) do coeficiente de correlação de Pearson (r) encontrados para todas as classes de estratificação propostas.....	52
Tabela 17 - Valores médios (positivos e negativos) do coeficiente de correlação de Pearson (r) encontradas para todas as classes de estratificação propostas.....	52
Tabela 18 - Variáveis Selecionadas para as autarquias e empresas privadas, para o cenário 01.	53
Tabela 19 - Variáveis Selecionadas para as autarquias e empresas privadas, para o cenário 02.	53
Tabela 20 - Variáveis Selecionadas para as autarquias e empresas privadas, para o cenário 03.	54
Tabela 21 - Bancos de dados, treinamento e diagnóstico, em sua forma original, para o sistema operado no município de Baixo Guandu ES.	54
Tabela 22 - Bancos de dados, treinamento e diagnóstico, em sua forma original, para o sistema operado no município de Baixo Guandu ES.	55
Tabela 23 - Bancos de dados, treinamento e diagnóstico, em sua forma normalizada, para o sistema operado no município de Baixo Guandu ES.	55
Tabela 24 - Bancos de dados, treinamento e diagnóstico, em sua forma normalizada, para o sistema operado no município de Baixo Guandu ES.	55
Tabela 25 - Quadro com resultados e análises obtidas por meio do processo de previsão, com base na técnica de egressão Linear, para o sistema operado no município de Baixo Guandu ES.	56
Tabela 26 - Valores médios dos cálculos de erro médio quadrado (MSE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	60

Tabela 27 - Valores médios dos cálculos de erro médio quadrado (MSE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	60
Tabela 28 - Valores médios dos cálculos de erro médio percentual (MAPE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	61
Tabela 29 - Valores médios dos cálculos de erro médio percentual (MAPE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	61
Tabela 30 - Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 01.	64
Tabela 31 - Resultados obtidos por meio da aplicação da Tarifa Média Projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 01.	65
Tabela 32 - Resultados obtidos por meio da aplicação da Tarifa Média Projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 01.	66
Tabela 33 - Resultados obtidos por meio da aplicação da Tarifa Média Projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 01.	67
Tabela 34 - Matriz de correlação definida para os 8 indicadores selecionados para a autarquia operada no município de Baixo Guandú – ES.	69
Tabela 35 - Matriz de correlação definida para os 8 indicadores selecionados para a autarquia operada no município de Bandeira do Sul – ES.	70
Tabela 36 - Matriz de correlação definida para os 8 indicadores selecionados para a autarquia operada no município de Linhares - ES (Fonte: Próprio autor, 2019).....	70
Tabela 37 - Erro médio quadrado (MSE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	78
Tabela 38 - Erro médio quadrado (MSE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	78
Tabela 39 - Erro médio quadrado (MSE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	79
Tabela 40 - Erro médio quadrado (MSE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	79
Tabela 41 - Erro médio percentual (MAPE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	80
Tabela 42 - Erro médio percentual (MAPE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	80
Tabela 43 - Erro médio percentual (MAPE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	81
Tabela 44 - Erro médio percentual (MAPE), para os sistemas que se enquadram nas classificações propostas.	81
Tabela 45 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	82
Tabela 46 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	83
Tabela 47 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	84
Tabela 48 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	85
Tabela 49 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	86
Tabela 50 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	87
Tabela 51 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	88
Tabela 52 - Tarifas médias projetadas, por meio dos dois sistemas estudados.	89
Tabela 53 - Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 02.	90

Tabela 54- Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 02.....	91
Tabela 55- Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 02.....	92
Tabela 56- Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 03.....	95
Tabela 57- Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 03.....	96
Tabela 58- Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 03.....	97
Tabela 59- Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 03.....	98
Tabela 60- Resultados obtidos por meio da aplicação da tarifa média projetada (T.M.P.) para os sistemas contidos no cenário 03.....	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO GERAL	18
2.1	Objetivo específico	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	Saneamento Básico no Brasil: Investimentos e evoluções no setor	19
3.2	O impacto do esgoto na tarifa de água	23
3.3	Sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS)	24
3.4	Previsão e seus modelos	25
3.5	Redes neurais artificiais	27
3.6	Redes neurais artificiais e suas aplicações na engenharia	30
3.7	Escolha de variáveis para os modelos de previsão	31
4	METODOLOGIA	34
4.1	Definição da amostra de interesse	37
4.2	Coleta de Dados	38
<i>4.2.1</i>	<i>Definição do espaço amostral</i>	<i>38</i>
<i>4.2.2</i>	<i>Disponibilização das informações</i>	<i>39</i>
<i>4.2.3</i>	<i>Seleção das variáveis</i>	<i>40</i>
<i>4.2.4</i>	<i>Tratamento dos Dados</i>	<i>41</i>
4.3	Elaboração e aplicação do modelo	41
<i>4.3.1</i>	<i>Regressão linear múltipla</i>	<i>41</i>
<i>4.3.2</i>	<i>Rede Neural</i>	<i>42</i>
4.4	Validação da Proposta	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	Definição da amostra de interesse	45
5.2	Dados coletados	46
<i>5.2.1</i>	<i>Disponibilização das informações</i>	<i>47</i>
<i>5.2.2</i>	<i>Seleção de variáveis</i>	<i>50</i>
5.3	Tratamento dos dados	54
5.4	Elaboração e aplicação do modelo	55
<i>5.4.1</i>	<i>Regressão Linear</i>	<i>55</i>
<i>5.4.2</i>	<i>Rede neural</i>	<i>57</i>
5.5	Validação da proposta	59
6	CONCLUSÕES	71
6.1	Organização e seleção dos dados	71
6.2	Definição e aplicabilidade dos modelos	71
6.3	Proposições futuras	72

REFERÊNCIAS	73
Apêndice - A	78

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Lei Federal 11.445 (BRASIL, 2007), também conhecida como Política Nacional de Saneamento Básico, o termo Saneamento Básico, no Brasil, representa o conjunto de infraestruturas, instalações operacionais e serviços de:

- 1) Abastecimento de água potável – constituído pelas atividades, pela disponibilização, pela manutenção, pela infraestrutura e pelas instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e os seus instrumentos de medição;
- 2) Esgotamento sanitário – constituído pelas atividades, pela disponibilização e pela manutenção de infraestrutura e das instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até a sua destinação final para a produção de água de reuso ou o seu lançamento final no meio ambiente;
- 3) Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos – constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e
- 4) Drenagem e manejo de águas pluviais – constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

A importância do saneamento básico deve ser vista além dos impactos positivos gerados no âmbito do setor de infraestrutura. Suas características peculiares fazem com que o investimento no mesmo se traduza em elemento estratégico para o desenvolvimento econômico de longo prazo do país (SCRIPTORE, 2010).

Estimativas apresentadas por Freitas *et al.* (2014), citados por Araújo e Bertussi (2018), indicam que o acesso universalizado à rede de água tratada e esgotamento sanitário, no Brasil, pode resultar em: i) queda no número de internações, resultando em uma economia de R\$ 27,3 milhões anuais; ii) Redução de 15,5% na mortalidade por infecções gastrointestinais; iii) Redução do número de afastamento do trabalho, evitando uma perda de R\$ 258 milhões por ano; iv) ganho na massa salarial, resultando em crescimento da folha de pagamentos de R\$ 105,5 bilhões anuais; v) aumento no longo prazo da massa salarial em

torno de R\$ 31,6 bilhões anuais, em decorrência de melhoria na produtividade, devido à diminuição no atraso na educação; vi) valorização dos imóveis em torno de R\$ 178,3 bilhões; e vii) elevação do número de trabalhadores no setor de turismo, gerando R\$ 7,2 bilhões por ano em salários.

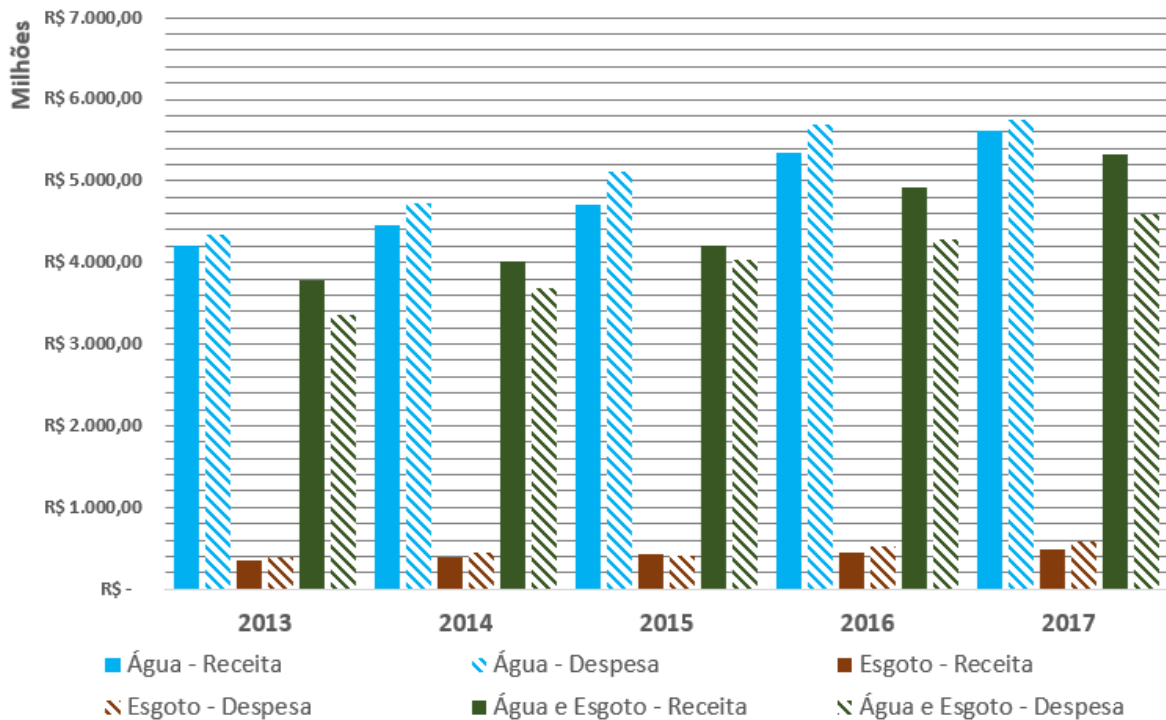
A estimativa de custos totais, em dezembro de 2013, para atendimento da universalização do acesso ao saneamento foi de R\$ 313,2 bilhões (ARAÚJO; BERTUSSI, 2018). Esse panorama, por si só, reforça a necessidade do saneamento básico não mais ser entendido como um custo, mas como um investimento.

Porém, Saini e Toneto Júnior (2010), citados por Araújo e Bertussi (2018), alertam que a previsão do extinto Ministério das Cidades era de alcance da universalização do saneamento em 2020, desde que o investimento anual, a partir de 2000, fosse em torno de 0,45% do PIB. Todavia, investiu-se no referido período aproximadamente 0,2% do PIB (ARAÚJO; BERTUSSI, 2018). Dessa forma a nova previsão feita em 2014 estima que a universalização será atingida em 2033, desde que o investimento atingisse a ordem de R\$ 304 bilhões nesse horizonte de vinte anos.

Nesse quadro inserem-se duas questões: Seria a demanda por investimentos na implantação de novos sistemas o único paradigma desse setor? Qual o panorama financeiro dos sistemas em operação no Brasil?

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o período 2013 – 2017, quando observadas as receitas operacionais diretas e as despesas totais com os serviços, apresentadas na Figura 01, as constatações não são otimistas. Sistemas que atendem exclusivamente abastecimento de água ou tratamento e coleta de esgoto, no período citado, apresentaram valores de receita inferiores ao valor das despesas totais do sistema, ao passo que, para os sistemas que operam simultaneamente, abastecimento de água e coleta de esgoto, o panorama se inverte.

Figura 1 - Gráfico comparativo dos valores totais de receita e despesa dos sistemas que operaram entre os anos de 2013-2017 no Brasil.



Fonte: (Próprio autor, 2019)¹

Nesse contexto, constata-se um amplo campo cujas possibilidades de pesquisas podem auxiliar na melhoria dos prognósticos do setor de saneamento básico no Brasil, sobretudo no que se refere a operação dos sistemas já existentes.

Segundo Cerqueira *et al.* (2016) os estudos e as discussões quanto a gestão dos recursos hídricos estão voltados, em sua maioria, para temas relacionados à governança. Ainda segundo o autor citado as pesquisas majoritariamente tratam de revisões bibliográficas seguidas de estudos de casos. Para Cerqueira, *et al* (2016) a produção acadêmica apresenta-se muito focada em descrição da realidade atual, expondo a estrutura, funcionamento, deficiências e avanços nos instrumentos de gestão, e em unidades básicas de gestão.

Nota-se ausência de estudos que tratem efetivamente da tarifação dos sistemas de abastecimento de água já existentes no Brasil. De maneira geral existe pouca bibliografia relacionada especificamente a tarifação de água, e quando existente, a abordagem está relacionada a cobrança pelo uso da água bruta definida pelos comitês de bacia conforme elencado por Cerqueira *et al.* (2016).

¹ Obs.: os valores apresentados para os sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgoto representam 10% do valor total, tal artifício foi utilizada para reduzir a escala do eixo vertical.

Destacam-se os estudos realizados pela Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (A.R.S.E.S.P.) publicados na Nota Técnica Final nº RTS/01/2012 cujo objetivo é explicar e justificar as bases para a definição da metodologia a ser utilizada no cálculo tarifário da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), em atendimento a Lei Complementar Estadual 1.025. De maneira resumida o estudo citado define “um mecanismo de preço máximo com base nos custos eficientes projetados para o ciclo tarifário, um sistema de incentivos para a melhoria da qualidade de serviço e reajustes tarifários anuais para reajustar as tarifas por eficiência, de acordo com a atualização monetária segundo um índice de preços e em função do regime de qualidade” (ARSESP, 2012).

Checco (2017) faz uma análise do setor de saneamento no Brasil e discute a metodologia empregada pela SABESP para a definição do cálculo da tarifa praticada, do ponto de vista da política tarifária de água e esgoto em São Paulo.

Ambas as referências citadas, apresentam estudos focados na definição tarifária, todavia nenhum apresenta metodologia para seleção das variáveis empregadas no processo de cálculo da tarifa.

Esta pesquisa tem como foco adentrar um campo do saber até então pouco discutido. Para tanto propõe um modelo de previsão da tarifa média a ser praticada pelos operadores de sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgoto a partir da seleção das variáveis empregadas. Serão então utilizados os dados disponíveis no SNIS para os sistemas operantes nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Procura-se estabelecer um comparativo entre dois modelos de previsão, um baseado em regressão linear múltipla e outro, baseado em sistemas inteligentes (redes neurais artificiais).

6 CONCLUSÕES

Frente aos resultados obtidos neste estudo, as conclusões estão elencadas de acordo com as etapas definidas pela metodologia exposta. Ressaltam-se que as conclusões derivam das análises feitas, apenas, com embasamento no presente estudo, atendendo os critérios impostos pela metodologia empregada.

6.1 Organização e seleção dos dados

Com base na análise preliminar dos dados disponibilizados na ampla base de dados do SNIS, é possível afirmar que:

- Quando analisados os valores de IDA_{anual} , nota-se que a confiabilidade dos dados apresentados cresceu consideravelmente ao longo dos anos, para ambas as classes jurídicas estudadas. Tal constatação pode ser entendida como um indicativo de aumento da tecnicidade e controle dos modelos de operação dos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto;
- A separação dos sistemas de acordo com as classes jurídicas, demonstrou-se uma ferramenta válida, uma vez que o número de variáveis comuns entre as duas classes jurídicas foi baixo, quando analisadas para os mesmos cenários financeiros. De tal modo, a unificação dos sistemas resultaria em um número menor de variáveis explicativas.
- A seleção entre as 225 variáveis do SNIS utilizando o critério de correlação como ferramenta de seleção apresentou uma notável diferença entre as duas classes jurídicas estudadas, em seus respectivos cenários financeiros analisados, evidenciando a afirmação de HAIR Jr *et al.* (2005), de que para fins de explicação, a seleção de variáveis altamente correlacionadas não é uma ferramenta indicada, ao passo que quando aplicadas a modelos de previsão podem fornecer resultados satisfatórios.

6.2 Definição e aplicabilidade dos modelos

De posse dos bancos de dados de treinamento e diagnóstico definidos, aplicando os modelos de previsão baseados em regressão linear múltipla e em redes neurais artificiais, para avaliar a acurácia das tarifas médias projetadas notou-se que:

Quanto aos erros médios percentuais (MAPE), verifica-se que, para os três cenários estudados, a rede neural artificial apresentou valor médio do referido erro inferior ao valor obtido por meio do modelo de regressão linear múltipla nos cenários 01 e 02. Já sob a ótica do erro médio quadrado (MSE), verifica-se a ocorrência de valor médio, para a rede neural artificial, inferior ao mesmo indicador obtido por meio do modelo de regressão.

Do ponto de vista do desempenho, nota-se, de acordo com os erros encontrados, que o modelo de regressão apresentou melhores resultados para as autarquias municipais, ao passo que a rede neural apresentou melhor desempenho no processo de previsão das empresas privadas. Contudo é possível verificar que a rede, de maneira geral, conseguiu prever valores tarifários com melhor acurácia quando comparados aos valores encontrados por meio do modelo de regressão.

As Figuras 13 e 14, demonstram de maneira comparativa, que as previsões apresentam, para ambos os casos, elevada proximidade com o valor real. Destaca-se, segundo o Apêndice A, que as tarifas previstas pela rede apresentaram em sua maioria valores inferiores aos obtidos por regressão linear múltipla, tal efeito pode ser benéfico para a aplicação efetiva da tarifa, tendo em vista que a rejeição, por parte da população atendida, tenderia a ser menor.

6.3 Proposições futuras

Neste estudo, principalmente no que tange ao modelo adotado para a seleção das variáveis, notou-se a ausência de variáveis tais como (índice de perdas; extensão da rede; índice de hidrometração; consumo médio *per-capita*; entre outros), em vista dessa constatação, a ferramenta, de acordo com o apresentado neste estudo, trata-se de um complemento a ser utilizado no processo de definição das tarifas médias a serem praticadas pelos operadores dos sistemas.

Isto posto, sugere-se a utilização de outras ferramentas para seleção de variáveis, de tal forma que a gama de indicadores a serem considerados aumente, melhorando os modelos e, podendo assim, fornecer subsídios para a tomada de decisões. Para isto sugere-se, a investigação dos efeitos da seleção de variáveis moderadamente, ou fracamente, correlacionadas com a tarifa média praticada.

Sugere-se também, a adoção de modelos de previsão e, conseqüente correção de tarifas, de tal forma que as previsões sejam capazes, não só de garantir a continuação de operações de superavitárias, mas, também, para correção de sistemas deficitários apontando não só reajustes tarifários, mas também sugestões de possíveis indicadores cujas melhorias resultariam em ganho de eficiência, e por vezes, austeridade financeira, sem a necessidade de aumento da tarifa. Tal proposição, enquadrar-se-ia em um projeto de pesquisa multidisciplinar.

REFERÊNCIAS

ADYA, M. ; COLLOPY, F. How effective are neural networks at forecasting and prediction? A review and evaluation. **Journal Forecast**, Milsos Point, v. 17, p. 481-495, 1998.

BIONDI NETO, L. *et al.* Redes neurais artificiais para estimativa de custos de construção civil. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA MARINHA*, 7, 2004, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004. p. 94 - 102. Disponível em:
<https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br.spolm/files/arq0011.pdf>.
 Acesso em: 23 set. 2019.

BRASIL. Senado Federal. **Lei Federal nº 11.445**. Institui a Política Nacional de Saneamento Básico. 2007. Disponível em:
http://www.epsvj.fiocruz.br/sites/default/files/documentos/pagina/lei_11445-07.pdf.
 Acesso em: 23 set. 2019.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema nacional de Informações sobre saneamento**. Brasília, DF: SNSA, 2018. Disponível em:
<http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 23 set. 2019.

BRASIL. Senado Federal. **Decreto nº7.271/2010**. Regulamenta a Lei nº11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. 2010

BRASIL. SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto - 2010**. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental: 2018.

BRASIL. SNIS. **Glossário de Indicadores 2010**. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2010.

CAMARGO, A. F. ; LORENA, B. G. Saneamento básico no Brasil: estrutura tarifária e regulação. **Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, DF, n. 51. p. 165 – 202, 2018. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/934>. Acesso em: 23 set. 2019.

CHECCO, G. B. **Tarifa de água e esgoto: o que está por trás do valor que pagamos**. São Paulo: Instituto Democracia e Sustentabilidade (IDS) e Aliança pela Água, 2017. Disponível em: https://www.aliancapelaagua.com.br/wp-content/uploads/2017/04/Publicac%CC%A7a%CC%83o-A-tarifa-dos-servic%CC%A7os-de-a%CC%81gua-e-esgoto_abril_2017.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

CRUZ, K. A.; RAMOS, F. S. Evidências de subsídio cruzado no setor de saneamento básico nacional e suas consequências. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 2, p. 623-651, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/neco/v26n2/1980-5381-neco-26-02-00623.pdf> Acesso em: 23 set. 2019.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. Philadelphia : W. B. Saunders Company, 1972. V. 1, 549 p.

ESTRELLA, A.; NISHKIN, F. S. Predicting U.S. recessions: financial variables as leading indicators. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 80, p. 45-61, 1998. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w5379>. Acesso em: 23 set. 2019.

FALKENBERG, A. V.; DYMINSKI, A. S. ; RIBEIRO, E. P. Redes neurais artificiais aplicadas à previsão de consumo de água. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDES NEURAIAS, 6, 2003, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Industrial Faculdade de Engenharia, 2003. p. 319 - 324. Disponível em: http://abricom.org.br/wp-content/uploads/2016/09/6CBRN_068.PDF. Acesso em: 23 set. 2019.

FARIAS, R. C.; QUADRELLI, G.; SILVA, C. E. A. Meodlo de previsão de demanada baseado em redes neurais: otimizando a cadeia de suprimentos. *In*: CONGRASSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 12, 2016, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.inovarse.org/node/4492>. Acesso em: 23 set. 2019.

FÁVERO, L. P. ; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados**: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 1187 p.

FINE, T. L. **Feedforward neural network methodology**. New York: Springer-Verlag, 1999.

FLORÊNCIO, P. H. B. **Aplicação de redes neurais artificiais na previsão de demanda de peças de reposição de veículos automotores**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiania, 2016. Disponível em: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/bitstream/tede/2484/1/Paulo%20Henrique%20Borba%20Florencio.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.

HAIR Jr., J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre : Bookman, 2005.

HALLAK, R. ; PERREIRA FILHO, J. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com modelo ARPS: Sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 591-608, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v26n4/a09v26n4.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.

HAMDAN, O. H. C. **Avaliação de indicadores aplicados a sistemas de abastecimento de água em Minas Gerais segundo os portes populacionais**. 2016. 139 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1242M.PDF>. Acesso em: 23 set. 2019.

HAYKIN, S. **Redes neurais**: princípios e prática. Porto Alegre : Bookman, 2001.

KROSE, B. ; SMAGT, P. V. **An introduction to neural networks**. - Amsterdam: [s.n.], 1996.

LAS CASAS, M. S. **Modelagem utilizando redes neurais artificiais para predição da percentagem de ferrita e parâmetros geométricos de cordões de solda de aços inoxidáveis austeníticos**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)

- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ABGGH/2/marina_las_casas.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

LOPES, M. L. M. **Desenvolvimento de redes neurais para previsão de cargas elétricas de sistema de energia elétrica**. 2005. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100374/lopes_mlm_dr_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Acesso em: 23 set. 2019.

LORENZI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da velocidade de propagação de pulso ultrassônico**. 2009. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

LOTUFO, A. D. P. **Análise de sensibilidade por redes neurais para estudos de estabilidade transitória de sistemas elétricos de potência**. 2004. 146 f. Tese. (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100377/lotufo_adp_dr_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 set. 2019.

MILOCA, S.; CONEJO, P. D. Análise fatorial e a multicolinearidade em modelos de regressão. **Synergismus Scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 4, n. 2, 2009. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/viewFile/661/378>. Acesso em: 23 set. 2019.

MINUSSI, C. R.; SILVEIRA, M. A. Electric power system transient stability by neural network *In: THE MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEM*, 38, 1995, Rio de Janeiro. **Conference of the [...]**. Rio de Janeiro: IEEE, 1995. p. 1305-1308.

NEUFELD, J. L. **Estatística aplicada à administração usando Excel**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2003.

NOVAES, R. C. *et al.* Redes neurais artificiais aplicadas na previsão do preço no mercado Ibérico de eletricidade. **Engenharia em Ação UniToledo**, Araçatuba, v. 1, p. 153-168, 2016. Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/147>. Acesso em: 23 set. 2019.

ODAN, F. K. **Estudo de confiabilidade aplicado à otimização da operação em tempo real de redes de abastecimento de água**. 2013. 210 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-03092013-135015/pt-br.php>. Acesso em: 23 set. 2019.

OLIVEIRA, C. M. **Previsão de cargas elétricas por meio de uma rede neural híbrida back-art fuzzy**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87152/oliveira_cm_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 set. 2019.

PORTO, B. M.; PHILIPPI, D. A. Previsão de séries temporais por meio de redes neurais. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMEP*, 6, 2018, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: [s.n.], 2018. p. 17.
<https://even3.blob.core.windows.net/anais/79506.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.

QUEIROZ, A. R. **Previsão de custos marginais em mercado de energia elétrica utilizando redes neurais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SAMARASINGHE, S. **Neural networks for applied science and engineering from fundamental to complex pattern recognition**. Boca Raton: Auerbach, 2007.

SCRIPTORE, J. S. **A parceria público-privada no saneamento básico brasileiro: uma proposta para o desenvolvimento do setor**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010. Disponível em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96131/tde-05052010-162539/pt-br.php>. Acesso em: 23 set. 2019.

SIMPSON, P. K. **Artificia neural systems: foundations, paradigms, application, and implementations**. New York : Pergamon Press, 1989.

SWANSON, N. R. ; WHITE, H. Forecasting economic model of port critical spare parts. **International Journal of Forecast**, v. 13, p. 439-461, 1997.

VELASQUÉZ, R. M. G. **Seleção de variáveis de entrada para previsores neurais de carga**. 2006. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:
<http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/teses-de-doutorado/2006/2006112801-2006112801/file>. Acesso em: 23 set. 2019.

VIALI, L. **Correlação e regressão**. Porto Alegre: Instituto de Matemática e Estatística – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. (Série Estatística Básica). Disponível em:
<http://www.mat.ufrgs.br/~viali/sociais/mat02214/material/apostilas/CorRegSociais.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.

VILLAMAGNA, M. R. **Seleção de modelos de série temporais e redes neurais artificiais na previsão de consumo e demanda de energia elétrica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em:
http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1117/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83O_Sele%20c3%a7%20c3%a3o%20de%20modelos%20de%20s%20c3%a9ries%20temporais%20e%20redes%20neurais%20artificiais%20na%20previs%20c3%a3o%20de%20consumo%20e%20demanda%20de%20energia%20el%20c3%a9trica.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

WIDROW, B. ; LEHR, M. A. 30 years of adaptive neural networks: perceptron, madaline and back-propagation. **Proceedings of the IEEE**, Piscataway, v. 78, p. 1415 – 1442, 1990.