

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Pedro Augusto Reis

**Impacto de Variáveis Climatológicas e de Mercado
Financeiro na Previsão de Ações de
Concessionárias de Energia Elétrica**

São Carlos
2017

Pedro Augusto Reis

**Impacto de Variáveis Climatológicas e de Mercado
Financeiro na Previsão de Ações de Concessionárias de
Energia Elétrica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas
de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ricardo A. S. Fernandes

São Carlos
2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

R372i Reis, Pedro Augusto
Impacto de Variáveis Climatológicas e de Mercado Financeiro na Previsão de Ações de Concessionárias de Energia Elétrica / Pedro Augusto Reis; orientador Ricardo Augusto Souza Fernandes. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. Previsão de séries temporais. 2. Mercado de ações. 3. Mineração de dados. 4. Modelos autorregressivos. 5. Variáveis climáticas e financeiras. 6. Redes neurais artificiais. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Pedro Augusto Reis

Título: "Impacto de variáveis climatológicas e de mercado financeiro na previsão de ações de concessionárias de energia elétrica"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 01/12/2017,

com NOTA 9,5 (nove, cinco), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Dr. Ricardo Augusto Souza Fernandes - Orientador -
DEE/UFSCar*

Prof. Dr. Giuseppe Antonio Cirino - DEE/UFSCar

*Mestre Thamyres Tâmulla Cavalcante Palitó - Doutoranda -
SEL/EESC/USP*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

Resumo

REIS, Pedro Augusto. **Impacto de Variáveis Climatológicas e de Mercado Financeiro na Previsão de Ações de Concessionárias de Energia Elétrica.** 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Com o avanço da tecnologia, o mercado financeiro e as organizações, cada vez mais, estão utilizando grandes fontes de dados para trilhar suas estratégias. No que diz respeito às ações negociadas na bolsa, o fluxo de informações se tornou mais intenso com o avanço da tecnologia e novas formas de precificação deste ativo financeiro foram criadas nos últimos anos. A previsão de ações utilizando modelos autorregressivos e sistemas inteligentes já é uma realidade nas bolsas de valores ao redor do mundo. Partindo deste princípio, este trabalho visa avaliar a consistência e acuracidade de um método capaz de avaliar a influência de variáveis do mercado financeiro e climáticas na previsão do preço máximo, mínimo e de fechamento das ações da CPFL e Eletropaulo. Para prever estes resultados, as simulações exploraram ferramentas de mineração de dados, modelos autorregressivos e redes neurais artificiais.

Os resultados apresentados mostram que as variáveis escolhidas e o algoritmo utilizado nas simulações produziram dados consistentes que evidenciam que tanto variáveis econômico-financeiras quanto climáticas influenciam positivamente na previsão de ações de concessionárias de energia elétrica, neste caso CPFL e Eletropaulo.

Palavras Chave: Previsão de séries temporais. Mercado de ações. Mineração de dados. Modelos autorregressivos. Variáveis climáticas e financeiras. Redes neurais artificiais.

Abstract

REIS, Pedro Augusto. **Impact of Climate and Financial Market Variables on Forecasting Shares of Electric Energy Concessionaires.** 60 p. Major Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2017.

Due the technology's advancement, the financial market and organizations are increasingly using large data sources to track their strategies. Regarding the shares traded on the stock market, the flow of information has become more intense with the advance of technology and new forms of pricing of this financial asset has been created in recent years. Predicting stocks using autoregressive models and intelligent systems is already a reality in stock markets around the world. Based on this principle, this work aims to evaluate the consistency and accuracy of a method capable of evaluating the influence of financial and climatic variables in forecasting the maximum, minimum and closing price of CPFL and Eletropaulo shares. To predict these results, the simulations explored data mining tools, autoregressive models and artificial neural networks.

The results presented as exposed that the chosen variables and the simulation algorithm has produced consistent data that show that both economic and financial variables influence positively on the forecast of electric power concessionaires stocks, in this case CPFL and Eletropaulo.

Keywords: Forecasting of time series. Stock market. Data mining. Autoregressive models. climatic and financial variables. Artificial neural networks.

Lista de Ilustrações

FIGURA 1 - PROCESSO DE DESCOBERTA DE CONHECIMENTO EM BANCO DE DADOS - KDD	23
FIGURA 2 - NEURÔNIO ARTIFICIAL DE MCCULLOCH-PITTS.....	25
FIGURA 3 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DO TIPO DEGRAU BIPOLAR.....	27
FIGURA 4 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DO TIPO DEGRAU	27
FIGURA 5 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DO TIPO LINEAR.....	28
FIGURA 6 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DO TIPO TANGENTE HIPERBÓLICA	28
FIGURA 7 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DO TIPO LOGÍSTICA (SIGMÓIDE).	29
FIGURA 8 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DO TIPO RAMPA.	29
FIGURA 9 – FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DE BASE RADIAL (GAUSSIANA).	30
FIGURA 10 – EXEMPLO DE REDE DE CAMADA SIMPLES UNIDIRECIONAL.....	31
FIGURA 11 – EXEMPLO DE REDE ALIMENTAÇÃO À FRENTE DE CAMADAS MÚLTIPLAS	32
FIGURA 12 – ESQUEMA EXPLICATIVO DA TABELA DE DADOS.	34
FIGURA 13 – EXEMPLO REAL DA TABELA DE DADOS	35
FIGURA 14 – ESTRUTURA DA RNA SIMULADA.....	39
FIGURA 15 – FECHAMENTO CPFE3 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO + CLIMÁTICAS).....	55
FIGURA 16 - FECHAMENTO CPFE3 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO).....	56
FIGURA 17 - MÍNIMO CPFE3 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO + CLIMÁTICAS).....	56
FIGURA 18 - MÍNIMO CPFE3 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO)	57
FIGURA 19 - MÁXIMO CPFE3 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO + CLIMÁTICAS).....	57
FIGURA 20 - MÁXIMO CPFE3 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO)	57
FIGURA 21- FECHAMENTO ELPL4 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO + CLIMÁTICAS)	58
FIGURA 22 - FECHAMENTO ELPL4 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO).....	58
FIGURA 23 - MÍNIMO ELPL4 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO + CLIMÁTICAS).....	58
FIGURA 24 - MÍNIMO ELPL4 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO).....	59
FIGURA 25 - MÁXIMO ELPL4 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO + CLIMÁTICAS).....	59
FIGURA 26 - MÁXIMO ELPL4 (VARIÁVEIS: MERCADO FINANCEIRO).....	59

Lista de Tabelas

TABELA 1 – ATRIBUTOS RESULTANTES DA SIMULAÇÃO UTILIZANDO APENAS DADOS ECONÔMICO-FINANCEIROS (CPFL).....	36
TABELA 2 - ATRIBUTOS RESULTANTES DA SIMULAÇÃO UTILIZANDO APENAS DADOS ECONÔMICO-FINANCEIROS (ELETROPAULO)	36
TABELA 3 - ATRIBUTOS RESULTANTES DA SIMULAÇÃO UTILIZANDO DADOS ECONÔMICO-FINANCEIROS E CLIMÁTICOS (CPFL).....	36
TABELA 4 - ATRIBUTOS RESULTANTES DA SIMULAÇÃO UTILIZANDO DADOS ECONÔMICO-FINANCEIROS E CLIMÁTICOS (ELETROPAULO)	37
TABELA 5 – ESTRUTURA DA RNA COM DUAS CAMADAS INTERMEDIÁRIAS.	39
TABELA 6 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE PREVISÃO DE AÇÕES DA CPFL COM UMA CAMADA INTERMEDIÁRIA NA RNA E APENAS VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO.	40
TABELA 7 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE AÇÕES DA CPFL COM DUAS CAMADAS INTERMEDIÁRIAS NA RNA E APENAS VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO.....	41
TABELA 8 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE PREVISÃO DE AÇÕES DA CPFL COM UMA CAMADA INTERMEDIÁRIA NA RNA E VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO E CLIMÁTICAS.	43
TABELA 9 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE PREVISÃO DE AÇÕES DA CPFL COM DUAS CAMADAS INTERMEDIÁRIAS NA RNA E VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO E CLIMÁTICAS.	43
TABELA 10 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE PREVISÃO DE AÇÕES DA ELETROPAULO COM UMA CAMADA INTERMEDIÁRIA NA RNA E APENAS VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO.	45
TABELA 11 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE AÇÕES DA ELETROPAULO COM DUAS CAMADAS INTERMEDIÁRIAS NA RNA E APENAS VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO.	46
TABELA 12 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE PREVISÃO DE AÇÕES DA ELETROPAULO COM UMA CAMADA INTERMEDIÁRIA NA RNA E VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO E CLIMÁTICAS.	48
TABELA 13 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE PREVISÃO DE AÇÕES DA ELETROPAULO COM DUAS CAMADAS INTERMEDIÁRIAS NA RNA E VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO E CLIMÁTICAS.	48
TABELA 14 – QUADRO COMPARATIVO DOS RESULTADOS (MAPE) OBTIDOS POR MEIO DAS SIMULAÇÕES.	52
TABELA 15 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE VALIDAÇÃO CPFL (APENAS VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO).	53
TABELA 16 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE VALIDAÇÃO CPFL (VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO E CLIMÁTICAS).....	53
TABELA 17 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE VALIDAÇÃO ELETROPAULO (APENAS VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO)	54
TABELA 18 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE VALIDAÇÃO ELETROPAULO (VARIÁVEIS DE MERCADO FINANCEIRO E CLIMÁTICAS).....	54

Sumário

RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	13
1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA AO TEMA DO TRABALHO	13
1.2 OBJETIVOS	14
CAPÍTULO 2 MODELO DE PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS	17
2.1 MODELOS AUTORREGRESSIVOS E DE MÉDIAS MÓVEIS	17
2.2 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO DE REDES NEURAIS	19
2.2.3 AÇÕES	19
2.2.4 ÍNDICES DE AÇÕES	20
2.2.5 TAXA SELIC E IPCA	20
2.2.6 COTAÇÃO DO BARRIL DE PETRÓLEO	21
2.2.7 COTAÇÃO DO DÓLAR AMERICANO	21
2.2.8 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	22
CAPÍTULO 3 MINERAÇÃO DE DADOS APLICADA À PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS	23
3.1 FUNDAMENTOS DE MINERAÇÃO DE DADOS	23
3.1.1 SELEÇÃO DE ATRIBUTOS	24
3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	24
3.2.1 NEURÔNIO ARTIFICIAL	25
3.2.2 FUNÇÕES DE ATIVAÇÃO	26
3.2.3 ARQUITETURAS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	30
3.3 REDE NEURAL PROPOSTA PARA PREVISÃO DAS AÇÕES	32
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DE PREVISÃO DE AÇÕES DE CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA	33
4.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA PREVISÃO DE AÇÕES	40
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

Capítulo 1

Introdução

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA AO TEMA DO TRABALHO

A mineração de dados é um campo da ciência que estuda métodos automáticos capazes de extrair informações relevantes de grandes bancos de dados. Tais informações podem ser utilizadas para previsão de acontecimentos futuros, ou para o entendimento de situações passadas. Com isto, em um mundo onde a capacidade de geração e processamento de dados aumenta constantemente, torna-se necessária à utilização e o aperfeiçoamento destas técnicas, com o objetivo de criar uma vantagem competitiva em relação a um concorrente, estudar fenômenos climáticos ou até comparar o comportamento de genes em diferentes situações no estudo de doenças genéticas. (KUMAR; STEINBACH; PANG-NING, 2009)

Além das situações citadas, a mineração de dados pode ser aplicada na predição de preços no mercado acionário. Analistas, que seguem a escola gráfica e técnica de análise de ativos utilizam modelos matemáticos baseados em informações passadas para prever comportamentos futuros. Os modelos criados envolvem, por exemplo, médias móveis e linhas de tendência, com o objetivo de prever comportamentos futuros de séries temporais (PÓVOA , 2012). No estudo destas séries temporais, que são sequências de informações, ao longo do tempo, ordenadas de forma sucessiva e uniforme, busca-se identificar movimentos de subida e queda de ações para criar uma estratégia de compra ou venda.

Ademais, o comportamento do preço das ações pode se basear em variáveis econômicas, por exemplo, PIB (Produto Interno Bruto), inflação, taxa de câmbio e taxa de juros. (PÓVOA , 2012). Porém, mesmo com a modelagem incluindo diferentes variáveis, tanto de mercado como outras, ainda existem aspectos imprevisíveis que afetam o comportamento de ações. Por exemplo, a mudança inesperada da alta gestão de uma empresa ou a descoberta de um escândalo político de corrupção.

Com o avanço tecnológico e o surgimento das Redes Neurais Artificiais (RNA), criou-se a oportunidade de se aplicar novas ferramentas de análise no mercado financeiro e com isto tomar decisões embasadas em fontes de dados maiores e mais complexas. Na maioria das vezes, estas ferramentas utilizam o critério do menor erro quadrático médio (MSE) para avaliar a acurácia dos resultados. Porém, a literatura não restringe o uso de outros critérios de avaliação da previsão nem à escolha das variáveis (GAMBOGI, 2013).

Desta maneira, criam-se diferentes oportunidades de estudo de fatores que influenciam na determinação do preço de ações e, também, oportunidades de aplicação de ferramentas modernas, como sistemas inteligentes, no processamento de dados que ajudem a interpretar e aumentar a acuracidade das informações utilizadas nos sistemas de predição.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho procura utilizar ferramentas de sistemas inteligentes para avaliar o comportamento de ações de concessionárias de energia elétrica, CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) e Eletropaulo. O objetivo é aplicar o estudo de mineração de dados, unido com a utilização de redes neurais, para prever o preço de fechamento, máximo e mínimo destes dois ativos financeiros. Para isto, as variáveis escolhidas estão elencadas abaixo.

- Preço máximo;
- Preço mínimo;
- Preço de fechamento;
- Cotação do Barril de Petróleo;
- Índice de Energia Elétrica (IEE);
- Índice da Bolsa de Valores de São Paulo (Ibovespa);
- Cotação do dólar americano;
- Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic);
- Índice de Preços ao Consumidor Ampliado (IPCA);
- Precipitação;
- Temperatura;
- Ponto de Orvalho;
- Umidade;
- Pressão Ambiente;
- Velocidade do Vento.

É importante ressaltar que para determinar o preço máximo, preço mínimo, preço de fechamento, precipitação, cotação do barril de petróleo, IEE, Ibovespa e cotação do dólar americano, utilizou-se a base de dados do grupo de estudos, orientado pelo Prof. Dr. Ricardo A. S. Fernandes, da Universidade Federal de São Carlos, atualizando algumas fontes em que as informações foram retiradas. Já as demais variáveis foram inseridas neste

trabalho como forma de ampliar a área de pesquisa de previsão de ações de concessionárias de energia elétrica.

Além disso, a escolha de variáveis climáticas não é arbitrária, já que a principal fonte de energia utilizada no país é a hidrelétrica. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 61,45% da potência instalada no Brasil provém de recursos hídricos (ANEEL, 2017). Desta maneira, cabe destacar, que as variáveis climáticas utilizadas são referentes à Foz do Iguaçu, onde está instalada a usina de Itaipu. Por ter uma ampla base de dados histórica e estar interligada ao sistema nacional de transmissão, os dados desta usina foram utilizados como uma *proxy* na influência dos preços das ações da CPFL e Eletropaulo.

Capítulo 2

Modelo de Previsão de Séries Temporais

2.1 MODELOS AUTORREGRESSIVOS E DE MÉDIAS MÓVEIS

Os dados utilizados na monografia seguem processos estocásticos estacionários e não estacionários. As variáveis climáticas, com exceção da velocidade do vento, possuem médias e covariância constantes ao longo do tempo. Já as variáveis econômicas, com exceção da taxa SELIC e IPCA, não apresentam as mesmas características já que, apesar da média ser constante, a variância aumenta indefinidamente com o tempo (GUJARATI; PORTER, 2011). Além do mais, segundo Gujarati e Porter, se os preços dos ativos seguissem padrões de estacionariedade e fossem previsíveis, todos seriam ricos investindo no mercado acionário.

Os métodos autorregressivos podem ser utilizados em séries temporais estocásticas estacionárias e não estacionárias (GUJARATI; PORTER, 2011). Neste trabalho, escolheu-se o método de regressão em que, para cada análise, selecionou-se uma janela móvel de 15 dias anteriores ao dia de que se deseja prever o preço da ação, para variáveis econômicas e cinco para variáveis climáticas, que possuem uma variação menor.

Dentre estes modelos autorregressivos, quatro deles apresentam maior representatividade na análise de séries temporais, sendo o autorregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA) o mais genérico. Porém, é necessário explicar outros modelos autorregressivos e de Médias Móveis (AR, MA e ARMA) para clarificar a construção do Modelo ARIMA.

O modelo Autorregressivos (AR) informa que o valor previsto, para uma série em análise, é composto por uma proporção de seu valor anterior mais um choque aleatório. A Equação 2.1 exemplifica o modelo AR.

$$(Y_t - \delta) = \alpha_1(Y_{t-1} - \delta) + \alpha_2(Y_{t-2} - \delta) + \dots + \alpha_p(Y_{t-p} - \delta) + u_t \quad (2.1)$$

Em que:

- Y_t corresponde à observação da série temporal no tempo t ;
- δ corresponde a média de Y ;

- u_t representa erros aleatórios com média zero e variância constante;
- α representa uma constante de proporcionalidade.

Já o modelo de Média Móvel (MA) realiza uma análise se baseando no fato de que amostra é uma combinação linear de termos de erro de ruído brando, como representado pela Equação 2.2:

$$Y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \cdots + \beta_q u_{t-q} \quad (2.2)$$

Em que:

- Y_t corresponde à observação da série temporal no tempo t ;
- u_t representa erros aleatórios com média zero e variância constante;
- β representa uma constante de proporcionalidade.
- μ representa uma termo constante.

O modelo Autorregressivo de Média Móvel (ARMA) representa a união do AR e do MA. A Equação 2.3 o descreve.

$$Y_t = \theta + \alpha_1 Y_{t-1} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} \quad (2.3)$$

- θ representa uma termo constante.

Cabe comentar que os parâmetros destes modelos são os mesmos apresentados para as Equações 2.1 e 2.2.

Ressalta-se ainda que os modelos AR, MA e ARMA, são apropriados para descrever séries temporais estacionárias, isto é, séries que se desenvolvem no tempo em torno de uma média constante.

Entretanto, nem todas as séries podem ser consideradas estacionárias, como é o caso de séries temporais encontradas na indústria, nos negócios e na economia (BOX; JENKINS; REINSEL, 2008). Com base nesta premissa, surgiu o modelo Autorregressivo Integrado de Média Móvel (ARIMA), o qual também é conhecido por modelo de Box-Jenkins (LEITE, 2016).

O ARIMA (Equação 2.4) é uma generalização da ARMA cuja diferença é a possibilidade de diferenciar o modelo para eliminar a não estacionariedade, podendo

modelar de forma bastante razoável algumas séries temporais não estacionárias (LABOISSIERE, 2013).

$$Y_t * = \theta + \alpha_1 Y_{t-1} + \beta_0 \mu_t + \beta_1 \mu_{t-1} \quad (2.4)$$

2.2 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO DE REDES NEURAIS

Com o intuito de aprimorar outros trabalhos já realizados pelo grupo de pesquisa orientado pelo Prof. Dr. Ricardo A. S. Fernandes, da Universidade Federal de São Carlos, nesta monografia, aumentou-se o número de variáveis que podem influenciar os preços máximo, mínimo e de fechamento das ações citadas na seção anterior. O objetivo é avaliar como estão correlacionadas as variáveis econômicas e climáticas com as oscilações de preço deste tipo de ativo financeiro. Logo, torna-se necessário descrever o que é cada variável e motivo de sua escolha.

2.2.3 AÇÕES

Segundo a Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo (BMF&BOVESPA, 2016) uma ação é um título mobiliário que uma empresa emite para captar recursos, no mercado financeiro, com o intuito de financiar novos projetos ou aquisições. Este título concede ao investidor que o compra uma participação no capital social da empresa, ou seja, a partir do momento que existe a compra da ação, o comprador se torna sócio da companhia, mesmo que minoritariamente. Porém, é necessário ressaltar que existem dois tipos de ações, as preferenciais e as ordinárias.

As ações ordinárias concedem a seus detentores o direto de voto em assembleias de acionistas, enquanto as preferenciais concedem a preferência sobre os lucros a serem distribuídos aos acionistas, seja na forma de dividendos ou juros sobre o capital próprio (FORTUNA, 2010).

As ações são negociadas na bolsa de valores, sendo que no Brasil quem assume este papel é B3 (Bolsa, Brasil, Balcão), fusão entre a BMF&BOVESPA e a CETIP (Central de Custódia e Liquidação Financeira de Títulos). De acordo com Leite (2016), esta instituição está entre as maiores bolsas do mundo em valor de mercado e é líder na América Latina. A B3 oferece serviços de negociação, liquidação e compensação para diferentes classes de ativos, por exemplo, ações, títulos de renda fixa, derivativos, *commodities* e até moedas (BM&FBOVESPA, 2016).

Os preços das ações, basicamente seguem as regras de oferta e demanda e refletem as opiniões dos analistas de mercado sobre as condições econômicas e políticas do país (FORTUNA, 2010). Portanto, se uma companhia tem um desempenho abaixo da expectativa de mercado, seus investidores, possivelmente, tentarão vender suas ações no mercado. Com aumento do número de vendedores e diminuição dos interessados na compra, o preço do ativo irá cair até um ponto que ele se torne atrativo para os compradores. O processo inverso ocorre quando a empresa reporta um desempenho acima do esperado. Neste caso, seguindo o inverso da lógica apresentada, o preço do ativo aumentaria. Portanto, as oscilações ocorrem segundo as leis da oferta e demanda até que se encontre um ponto de equilíbrio entre os interessados na venda da ação e os interessados na compra.

2.2.4 ÍNDICES DE AÇÕES

Neste trabalho é feito o uso de dois índices das ações, o índice Ibovespa e o IEE (Índice de Energia Elétrica). O primeiro é resultado de uma carteira fictícia de ativos que funciona como um indicador do desempenho médio das empresas com representatividade listadas na BMF&BOVESPA. Dentre elas podem ser citadas, Companhia Vale do Rio Doce (Vale), Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS) e outras 54 companhias. Este índice é o balizador do perfil das negociações feitas nos pregões da bolsa e, por meio dele, é possível observar se a ação, em que se pretende investir, está dentro, abaixo ou acima do comportamento das outras empresas do mercado (BM&FBOVESPA, 2016).

Já o IEE (Índice de Energia Elétrica) é um índice setorial similar ao Ibovespa, porém sua carteira é composta apenas por empresas representativas e de maior negociabilidade do setor de energia elétrica. O IEE é uma variável importante neste trabalho, pois as duas ações, simuladas na rede neural, estão correlacionadas com as variações do índice (ÍNDICE DE ENERGIA ELÉTRICA - IEE, 2016).

2.2.5 TAXA SELIC E IPCA

A taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) descreve o comportamento dos juros no Brasil, que impacta diretamente no modelo de precificar ações. A determinação do preço já foi citada, porém o cálculo feito para chegar neste preço traz ao valor presente os fluxos de caixa futuros da empresa descontado a uma taxa. O aumento da taxa de juros aumenta a taxa de desconto e diminui o valor da empresa. A Equação (2.5) esclarece esta relação (ROSS, WESTERFIELD; JAFFE, 2012).

$$\sum_{t=1}^{\infty} \frac{Fluxo\ de\ Caixa_t}{(1 + taxa\ de\ desconto)^t} \quad (2.5)$$

O IPCA é um índice criado para medir a variação de preços do mercado para o consumidor final, e representa o índice oficial da inflação no Brasil. A inflação exerce um papel chave na determinação dos preços dos ativos. O aumento deste índice resulta em aumento de preços. Com preços mais altos, a compra de mercadorias diminui, uma vez que a quantidade de dinheiro disponível é a mesma. Com a diminuição do poder de compra a economia desaquece e os retornos das empresas diminuem junto com seus investimentos. Esta desaceleração nos investimentos impacta no preço esperado das ações (ROSS, WESTERFIELD; JAFFE, 2012).

2.2.6 COTAÇÃO DO BARRIL DE PETRÓLEO

De acordo com Leite (2016), a cotação do barril de petróleo pode afetar os preços das ações, pois esta matéria-prima é responsável por impulsionar diversos setores da economia, por exemplo, setor energético, de construção civil, gizes e lubrificantes. Como o preço dos ativos seguem tendências econômicas e políticas, esta variável está correlacionada com as ações avaliadas neste trabalho. Além disso, é importante ressaltar que foram utilizadas as cotações de preço máximo, mínimo, fechamento, média e média móvel para avaliar o possível impacto da cotação do barril de petróleo nas ações da CPFL e Eletropaulo. (INVESTING, 2016)

2.2.7 COTAÇÃO DO DÓLAR AMERICANO

A taxa de câmbio e preços das ações podem estar correlacionados de duas maneiras. A primeira delas sugere que um aumento da taxa de câmbio influenciaria no aumento dos passivos e ativos, da companhia, atrelados ao dólar. Com isto o valor da empresa e, consequentemente, o preço de sua ação seguiria uma tendência de queda ou alta baseando-se na cotação desta moeda. Já a segunda aborda a possibilidade de que a variação do preço das ações impactaria na cotação da moeda americana. Caso houvesse valorização dos preços dos ativos no mercado, investidores estrangeiros seriam atraídos ao mercado brasileiro e com isso aumentaria o volume de moeda estrangeira circulando na economia, impactando na desvalorização do dólar, ou o oposto se o preço dos ativos diminuisse. Ambas as teorias são aceitas e, portanto, decidiu-se adicionar esta variável à monografia (CARVALHO; VIEIRA, 2014).

2.2.8 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Os dados climáticos foram divididos de duas maneiras. A primeira foi utilizada a precipitação do banco de dados do grupo de estudo já citado no trabalho. Este índice pluviométrico foi colhido de três em três horas, na cidade de Santa Terezinha do Itaipu, durante todo o período da amostra das ações. Tendo estes valores em mãos, foi feito uma média simples para obter a precipitação diária requerida (LEITE, 2016).

Já as outras variáveis (temperatura, umidade, ponto de orvalho, velocidade do vento e pressão ambiente) foram colhidas diariamente, na cidade de Foz do Iguaçu, que é próxima de Santa Terezinha e da hidrelétrica durante o período de observação das ações. Levou-se em consideração, na análise, os valores máximos, mínimos e médios destas variáveis e com isto, calculou-se a média móvel de cinco dias de cada amostra.

É importante ressaltar que estas variáveis foram escolhidas, pois o tipo de matriz energética, neste caso, é a hidrelétrica. Com isto, pensou-se em fatores que poderiam afetar o ciclo de abastecimento de água da bacia do Rio Paraná. Com este raciocínio, o abastecimento de água estaria relacionado com o potencial de geração da usina, este potencial de geração estaria ligado com capacidade de distribuição das duas empresas analisadas e esta capacidade de distribuição estaria relacionada com o desempenho operacional da empresa. Por fim, este desempenho operacional estaria relacionado com o preço da ação da concessionária.

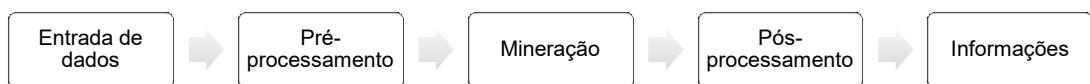
CAPÍTULO 3

Mineração de Dados Aplicada à Previsão de Séries Temporais

3.1 FUNDAMENTOS DE MINERAÇÃO DE DADOS

A mineração de dados é uma parte de um processo chamado *Knowledge Discovery in Databases – KDD*, em uma tradução livre é a descoberta de conhecimento em banco de dados. A função principal desta atividade é transformar dados brutos em informações úteis no processo de análise e previsão de informações, tendo como base grandes bancos de dados. Para isto, a mineração está vinculada com a tecnologia computacional, que ajuda o processo a se tornar automático e eficiente nas buscas e predições. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma do KDD (KUMAR; STEINBACH; PANG-NING, 2009).

Figura 1 - Processo de Descoberta de Conhecimento em banco de dados - KDD.



Fonte: (KUMAR; STEINBACH; PANG-NING, 2009)

Neste processo, a fase de pré-processamento é a transformação dos dados brutos em informações úteis para serem aplicadas no modelo de mineração. O intuito é eliminar ruídos ou distúrbios que possam influenciar negativamente as análises. Após isto, a metodologia de mineração de dados é aplicada para avaliar quais dados são realmente relevantes nas análises e quais podem ser excluídos. Já a fase de pós-processamento é a etapa em que os dados minerados serão integrados com sistemas de apoio a decisão.

Neste trabalho a fase de pré-processamento consistiu em estudar o banco de dados já existente do grupo de estudos do Prof. Dr. Ricardo A. S. Fernandes, filtrar os dados que seriam aplicáveis ao estudo e adicionar os dados climáticos para aprimorar o trabalho já realizado. Em seguida a mineração e pós-processamento foram realizadas utilizando o software WEKA e MATLAB.

A metodologia proposta, segundo Laboissiere (2013), seguirá a definição de Han e Kamber (2011). Nela, emprega-se um algoritmo para Seleção de Atributos, por meio do software WEKA, cuja função é descobrir quais são as variáveis com maior relevância no processo de especificação de ações. O tipo de mineração utilizada será a preditiva, em que

são utilizados dados de situações passadas no processo de entrada de dados. Com isto, seguindo o modelo da Figura 1 e a metodologia proposta, espera-se obter informações futuras dos dados processados.

3.1.1 SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

Neste trabalho foram listadas 15 variáveis, citados no item 1.2, que poderiam influenciar de forma significativa no preço das ações da CPFL e Eletropaulo. Porém, a escolha foi feita com base em suposições de influência destas variáveis na especificação. Para filtrar esta seleção de variáveis e obter uma lista menor de atributos foi utilizado o software WEKA. Dentro do WEKA, selecionou-se o filtro *Relief-f* para realizar o processamento dos dados.

O algoritmo *Relief*, proposto por Kira e Rendell em 1992, tem por objetivo destacar, por meio de uma amostragem aleatória, dentro de um conjunto de dados de duas classes distintas, os valores diferentes entre vizinhos próximos de classes diferentes e penalizar valores diferentes, para vizinhos próximos, dentro de duas classes iguais. (SPOLAÔR, 2014). Vale ressaltar que a base de dados deve ser normalizada entre zero e um para que o algoritmo possa ser utilizado de forma correta.

Segundo (LEITE, 2016), No início de cada uma das iterações do algoritmo, um exemplo E_i é selecionado randomicamente do conjunto de dados e se identifica o exemplo mais próximo de classe distinta de E_i , denotado por S, e o mais próximo de classe idêntica ao E_i , denotado por A. Uma aproximação do valor de importância (R) calculado pelo Relief para cada atributo X_j é dada pela Equação 3.1.

$$R(X_j) = P(\text{Valor distinto de } X_j | S) - P(\text{valor distinto de } X_j | A) \quad (3.1)$$

Ao contrário do algoritmo *Relief* original, o *Relief-f* é aplicável a problemas monorrótulo com mais de duas classes, isto é, quando $|L|$ é maior ou igual a dois, e apresenta maior robustez a dados ruidosos e incompletos.

3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Redes neurais artificiais representam um modelo matemático e computacional similar ao funcionamento do cérebro humano. Suas unidades de processamento são os neurônios artificiais, que se interligam por meio de redes e são capazes de processar, armazenar e transmitir informações provenientes do meio externo (SOARES, 2008).

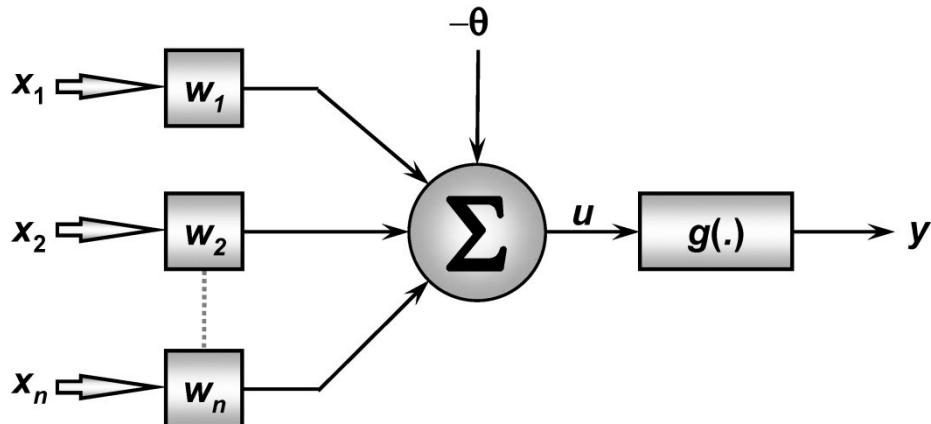
As redes neurais podem ser aplicadas em diferentes situações devido a sua capacidade de treinamento e adaptabilidade. Esses modelos matemáticos são capazes de ajustar seus parâmetros internos de cálculo a partir da inserção de amostras externas dentro da rede. Com isto, conseguem aprender, por meio de treinamentos como melhor se adaptar ao modelo de dados proposto. Além do mais, por meio deste processo de aprendizado a rede consegue generalizar soluções que antes eram desconhecidas e, por ter um elevado número de interconexões, este sistema se torna mais tolerante a falhas quando alguma parte de sua estrutura interna é corrompida. (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010)

Neste trabalho, as redes neurais foram utilizadas na fase de pós-processamento de dados no software MATLAB.

3.2.1 NEURÔNIO ARTIFICIAL

De acordo com (SOARES, 2008), o modelo geral de um neurônio artificial foi proposto por McCulloch & Pitts em 1943 e ainda é o mais utilizado nas diferentes arquiteturas de redes neurais (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). Seu modelo é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Neurônio Artificial de McCulloch-Pitts.



Fonte: (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010)

Em que os elementos apresentados na Figura 2 são explicados a seguir:

- Sinais de entrada $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ – sinais de entrada provenientes do meio externo. De acordo com Silva, Spatti e Flauzino (2010), eles são usualmente normalizados visando aumentar a eficiência computacional do algoritmo de aprendizagem.

- Pesos sinápticos $\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$ – responsáveis por ponderar a relevância dos sinais de entrada, permitindo que o neurônio os identifique. Além do mais, segundo Soares (2008), os pesos sinápticos são utilizados para armazenar o conhecimento adquirido na fase de aprendizagem.
- Combinador Linear $\{\Sigma\}$ – cuja função é somar os sinais de entradas com seus respectivos pesos, para que o resultado da operação possa produzir um potencial de ativação.
- Limiar de Ativação $\{\theta\}$ – limiar de ativação do neurônio que define se a saída será disparada.
- Potencial de Ativação $\{u\}$ – resultado produzido entre o combinador linear e o limiar de ativação.
- Função de Ativação $\{g(\cdot)\}$ – limita o sinal de saída de acordo com os valores da imagem da própria função.
- Sinal de Saída $\{y\}$.

A partir disto, a saída de um neurônio artificial pode ser expressa conforme a Equação 3.2.

$$y = g\left(\sum_{k=1}^n w_i x_i - \theta\right) \quad (3.2)$$

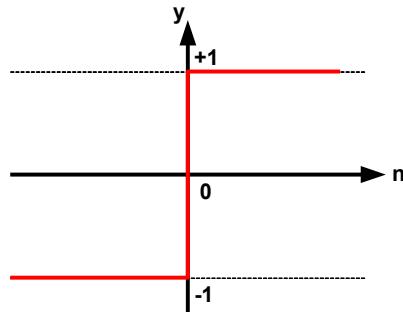
3.2.2 FUNÇÕES DE ATIVAÇÃO

De acordo com Laboissiere (2013), as funções de ativação mostradas nas Figuras 3 a 9 são algumas das mais utilizadas na construção das redes neurais.

- Degrau bipolar

$$y(n) = \begin{cases} y = 1, & \text{se } n > 0 \\ y = 0, & \text{se } n = 0 \\ y = -1, & \text{se } n < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Figura 3 – Função de ativação do tipo degrau bipolar.

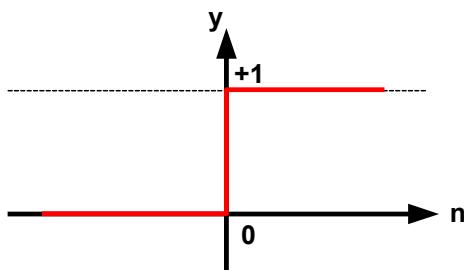


Fonte: (FERNANDES, 2009)

- Degrau

$$y(n) = \begin{cases} y = 1, & \text{se } n \geq 0 \\ y = 0, & \text{se } n < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Figura 4 – Função de ativação do tipo degrau.

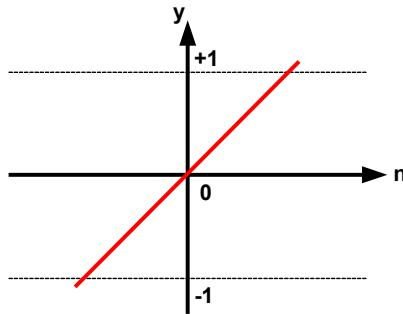


Fonte: (FERNANDES, 2009)

- Linear

$$y(n) = n \quad (3.5)$$

Figura 5 – Função de ativação do tipo linear.

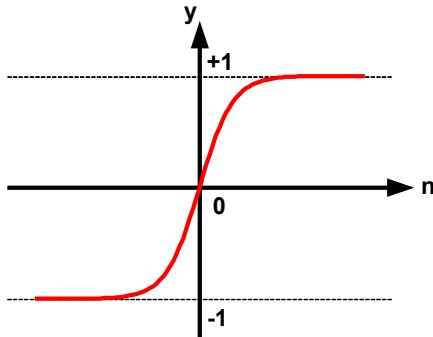


Fonte: (FERNANDES, 2009)

- Tangente hiperbólica

$$y(n) = \frac{1 - e^{-\beta n}}{1 + e^{\beta n}} \quad (3.6)$$

Figura 6 – Função de ativação do tipo tangente hiperbólica



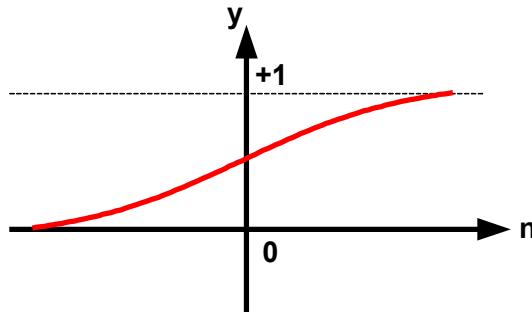
Fonte: (FERNANDES, 2009)

Em que β é o parâmetro de inclinação da função hiperbólica.

- Logística (sigmóide)

$$y(n) = \frac{1}{1 + e^{-\beta n}} \quad (3.7)$$

Figura 7 – Função de ativação do tipo logística (sigmóide).



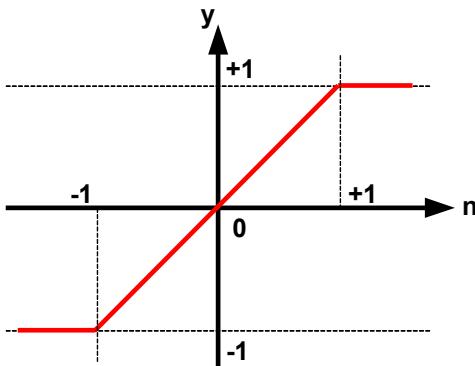
Fonte: (FERNANDES, 2009)

Em que β é o parâmetro de inclinação da função sigmóide.

- Rampa

$$y(n) = \begin{cases} 1, & \text{se } n > 1 \\ n, & \text{se } -1 \leq n \leq 1 \\ -1, & \text{se } n < -1 \end{cases} \quad (3.8)$$

Figura 8 – Função de ativação do tipo rampa.

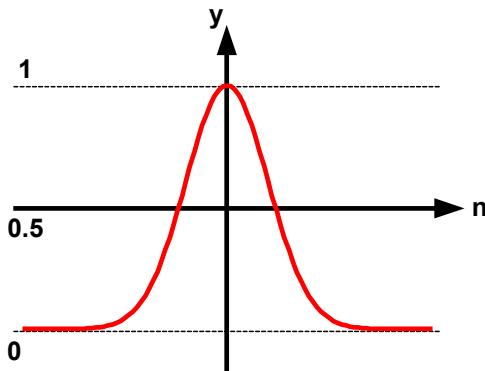


Fonte: (FERNANDES, 2009)

- Base radial (gaussiana)

$$y(n) = e^{-\left(\frac{(\sigma n)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (3.9)$$

Figura 9 – Função de ativação de base radial (gaussiana).



Fonte: (FERNANDES, 2009)

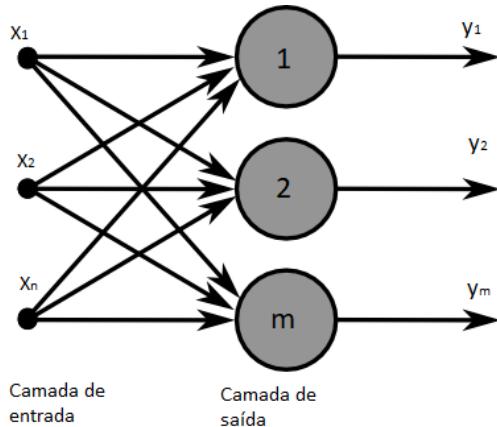
Em que σ mede a meia largura a uma altura de $1/e$ da função gaussiana.

3.2.3 ARQUITETURAS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Segundo Soares (2008), a arquitetura de uma rede neural representa a forma em que os neurônios estão reunidos. Conforme esta disposição varia, a aplicação da rede também muda. Além dos mais, os tipos mais comuns de arquitetura podem ser divididos em duas classes: camada única ou multicamadas.

As redes de camada única, de acordo com Silva, Spatti e Flauzino (2010), possuem apenas uma camada de entrada e uma camada de neurônios, que está próxima da camada de saída. Neste caso o fluxo de informação segue sempre no sentido da entrada para a saída, sendo que o número de saídas será igual ao número de neurônios que existem na rede. Tais estruturas, exemplificadas na Figura 10, são utilizadas para problemas de filtragem linear e classificação de padrões.

Figura 10 – Exemplo de rede de camada simples unidirecional.

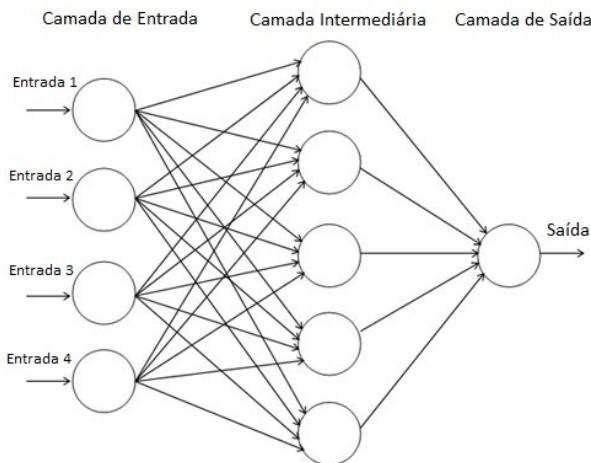


Fonte: Próprio autor.

Vale ressaltar que as redes em geral são divididas em três camadas. A primeira é a camada de entrada, responsável por receber a informação externa que é normalizada para fornecer maior precisão nas operações matemáticas. Em seguida, têm-se as camadas intermediárias ou ocultas, onde quase todo processamento da rede é realizado com o intuito de extrair as características da série a ser analisada. Por fim, existe a camada de saída, que é responsável por apresentar o resultado advindo das operações anteriores da rede Silva, Spatti e Flauzino (2010).

Já as redes multicamadas apresentam uma ou mais camadas intermediárias e são utilizadas na resolução de problemas mais complexos. Neste tipo de estrutura o número de saídas não precisa ser igual ao número de neurônios da camada intermediária, mesmo porque a quantidade de neurônios é definida pela complexidade do problema analisado. Porém para rede de alimentação à frente (Figura 11), o número de saídas sempre será igual ao número de neurônios daquela respectiva camada (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Figura 11 – Exemplo de rede alimentação à frente de camadas múltiplas



Fonte: Próprio autor.

3.3 REDE NEURAL PROPOSTA PARA PREVISÃO DAS AÇÕES

Segundo Laboissiere (2013) e Leite (2016), que conduziram trabalhos na mesma linha desta monografia, o problema proposto é relacionado à aproximação funcional, separação de mais do que duas classes de dados e estimação/previsão de processos ou sistemas, as redes neurais do tipo *Perceptron* e *Adaline* não podem ser empregadas. Assim, neste trabalho são utilizadas redes neurais artificiais de múltiplas camadas do tipo PMC (*Perceptron de Múltiplas Camadas*). Segundo Silva, Spatti e Flauzino, 2010 o processo de aprendizado da PMC segue um treinamento supervisionado chamado de *backpropagation*. Neste caso, utilizando a Figura 11 como exemplo, os dados entram por meio das camadas iniciais e são processados nas camadas intermediárias, utilizando os pesos sinápticos atuais da rede. Após estas etapas, os resultados provenientes das camadas finais são comparados com as respostas desejadas e os desvios entre essas variáveis são calculados. Estes cálculos são utilizados para ajustar os pesos sinápticos da rede em um método de propagação reversa: da saída para a entrada.

Porém, de acordo com Leite (2016), esse método apresenta um elevado esforço computacional, pois, considera as derivadas de primeira ordem nos ajustes dos valores das matrizes de pesos. Em contrapartida, o algoritmo de treinamento de Levenberg-Marquardt emprega derivadas de segunda ordem, assim, o tempo de convergência do mesmo pode ser reduzido e, por consequência, há a redução do esforço computacional. Portanto, o algoritmo utilizado neste trabalho foi o de Levenberg-Marquardt.

Capítulo 4

Metodologia de Previsão de Ações de Concessionárias de Energia Elétrica

A condução das simulações deste trabalho seguiu o fluxograma apresentado na Figura 1 (Processo de Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados – KDD).

A primeira etapa, a entrada de dados, foi conduzida da seguinte maneira. Primeiramente, analisou-se o banco de dados já existente, do grupo de estudos já citado, e as variáveis que eram pertinentes às análises foram selecionadas para compor a base das simulações. Dentre elas estão o preço máximo, mínimo e de fechamento das ações, cotação do barril de petróleo, IEE, Ibovespa, cotação do dólar americano e precipitação. Após isto, novas variáveis foram adicionadas ao banco de dados para aprofundar os estudos anteriores. Por exemplo, a taxa SELIC e IPCA, temperatura, ponto de orvalho, umidade relativa do ar, pressão ambiente e velocidade do vento.

Segundo Leite (2016), as variáveis já existentes foram coletadas nas seguintes fontes:

- Preço máximo, mínimo e de fechamento das ações: estes valores foram obtidos por meio da série histórica disponibilizada pelo site da BM&F Bovespa. Vale ressaltar, que no mercado financeiro são atribuídas siglas às ações das companhias. Neste caso (CPFE3.SA) representa a CPFL e (ELPL4.SA) a Eletropaulo (COTAÇÕES, 2013).
- Índice IBOVESPA: obtido no site da BM&F Bovespa (BM&FBOVESPA, 2016).
- Índices IEE, Ibovespa: obtido por meio da série histórica disponibilizada pelo site *Investing* (ÍNDICE DE ENERGIA ELÉTRICA IEE, 2016).
- Obtenção dos valores históricos de cotação do dólar americano no site do Banco Central do Brasil (COTAÇÕES E BOLETINS, 2013).
- Precipitação: obtida por meio da série histórica disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016).
- Cotação de Petróleo: valores históricos de cotação do barril do petróleo no site do *Investing*, na seção de commodities, consultado no mês de Março de 2016 (INVESTING, 2016).

Já os novos dados foram selecionados nas seguintes fontes:

- Valores históricos da taxa SELIC no site do Banco Central do Brasil. (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017)
- Valores históricos do índice IPCA do site do IBGE. (IBGE, 2017)
- Temperatura, ponto de orvalho, umidade, pressão ambiente, velocidade do vento: valores máximos, mínimos e médios históricos do site *weather underground*, tendo como referência a cidade de Foz do Iguaçu no Paraná. (WEATHER UNDERGROUND, 2016)

Feito isto, todas as variáveis foram organizadas de maneira sequencial e cronológica, com seus respectivos valores máximos, mínimos e médios. Posteriormente, incluíram-se as médias móveis na Tabela. A Figura 12 detalha esta organização.

Organização dos Dados												
V 1 (D-15)	V 2 (D-15)	...	V k (D-15)	V 1 (D-14)	V 2 (D-14)	...	V k (D-14)	V 1 (D-1)	V 2 (D-1)	...	V k (D-1)	Ações (D)
Legenda:												
V	Variável											
D		Dia de cotação da ação										
D-i		Dias anteriores ao dia de cotação										
k		Número da última variável										
Varável econômica (D-15)												
Fechamento	Mínimo	Máximo		Média	Média Móvel							
Varável climática (D-5)												
Mínimo	Máximo		Média	Média Móvel								
Ação (D)												
Fechamento	Mínimo	Máximo										

Figura 12 – Esquema explicativo da Tabela de dados.

Fonte: Próprio autor.

A Tabela funciona da seguinte maneira: os dados foram organizados cronologicamente para que os softwares WEKA e MATLAB pudessem processá-los corretamente. Primeiro, foram inseridas todas as variáveis econômicas com seus respectivos valores de fechamento, médio, máximo, mínimo e a média móvel de 15 dias anteriores. O mesmo foi feito para a precipitação. Porém como não há fechamento para este tipo de variável, este indicador não foi incluído na Tabela. As outras variáveis climáticas só

foram inseridas a partir de cinco dias anteriores ao dia de previsão da ação, pois suas oscilações eram baixas. Ao final da Tabela, foram adicionados os preços máximos, mínimos e de fechamento da ação em análise. Vale ressaltar que para cada ação foi feita uma Tabela de dados. Uma exemplificação diferente desta Tabela está na Figura 13:

Figura 13 – Exemplo real da Tabela de dados

Data	Umidade (D-1)					IEE (D-1)					CPFL (D)		
	Máxima	Média	Mínima	Média Móvel	Fechamento	Mínima	Máxima	Média	Média Móvel	Fechamento	Mínima	Máxima	
01/03/2016	95	91	80	81	26.775	26.691	27.101	26.856	25.646	18,84	18,13	19,35	
09/03/2016	94	70	31	79	26.507	26.107	26.665	26.426	25.441	18,61	18,05	18,88	
08/03/2016	100	86	61	80	26.103	25.968	26.488	26.186	25.273	17,78	17,54	18,19	
04/03/2016	100	84	65	80	26.243	26.139	27.002	26.461	25.115	17,68	17,41	17,99	
03/03/2016	94	79	59	79	25.991	25.102	26.181	25.758	24.901	17,34	16,79	17,59	

Fonte: Próprio autor.

Toda a organização e filtragem de dados está vinculada a segunda etapa do processo, o pré-processamento. Além disto, como citado, realizou-se o cálculo da média móvel das variáveis para valores discrepantes, de grandes oscilações, em curto espaço de tempo, com o objetivo de filtrar essas flutuações que interferem na estacionariedade do processo estocástico. Neste caso, optou-se por uma média móvel de 15 dias, cuja fórmula é mostrada na Equação 4.1. Assim, todas as variáveis, tanto econômicas quanto climáticas, passaram por este filtro.

$$M_{Móvel}(n) = \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n P[t-(n-i)](i) \quad (4.1)$$

Em seguida, criaram-se três planilhas, para CPFL, com mesma base de dados, porém com saídas diferentes: preço mínimo, preço máximo e fechamento. O mesmo foi feito para a Eletropaulo.

A etapa seguinte, a mineração, ocorreu por meio da utilização do software WEKA. Nele, foram feitas duas simulações. Uma considerando apenas variáveis econômico-financeiras e a outra considerando variáveis econômico-financeiras e climáticas. Dentro do software, os dados foram normalizados, para aplicação do filtro *Ranker - Relief-f*. Do resultado, escolheram-se os 10 primeiros atributos, para dados econômico-financeiros e os 15 primeiros para dados econômico-financeiros e climáticos, que mais influenciavam a variável de saída. Com isto, montou-se um novo banco de dados, que foi utilizado nas simulações das redes neurais. As Tabelas 1 e 2 apresentam os atributos resultantes da simulação utilizando apenas os dados econômicos - financeiros para CPFL e Eletropaulo, respectivamente. Já as Tabelas 3 e 4 apresentam os atributos resultantes da simulação

utilizando dados econômicos – financeiros e climáticos para CPFL e Eletropaulo, respectivamente.

Tabela 1 – Atributos resultantes da simulação utilizando apenas dados econômico-financeiros (CPFL).

CPFL (apenas dados econômicos)			
	Mínima	Máxima	Fechamento
1º	Fechamento CPFL (D-2)	Fechamento CPFL (D-2)	Média Móvel CPFL (D-1)
2º	Mínima CPFL (D-3)	Mínima CPFL (D-3)	Fechamento CPFL (D-2)
3º	Fechamento CPFL (D-3)	Fechamento CPFL (D-3)	Mínima CPFL (D-3)
4º	Mínima CPFL (D-4)	Mínima CPFL (D-4)	Fechamento CPFL (D-3)
5º	Fechamento CPFL (D-4)	Fechamento CPFL (D-4)	Mínima CPFL (D-4)
6º	Média CPFL (D-5)	Média CPFL (D-5)	Fechamento CPFL (D-4)
7º	Máxima CPFL (D-5)	Máxima CPFL (D-5)	Média CPFL (D-5)
8º	Mínima CPFL (D-5)	Mínima CPFL (D-5)	Máxima CPFL (D-5)
9º	Fechamento CPFL (D-5)	Fechamento CPFL (D-5)	Mínima CPFL (D-5)
10º	Média Móvel CPFL (D-5)	Fechamento CPFL (D-6)	Fechamento CPFL (D-5)

Tabela 2 - Atributos resultantes da simulação utilizando apenas dados econômico-financeiros (Eletropaulo).

Eletropaulo (apenas dados econômicos)			
	Mínima	Máxima	Fechamento
1º	Fechamento Eletropaulo (D-1)	Média Eletropaulo (D-1)	Fechamento Eletropaulo (D-1)
2º	Média Eletropaulo (D-1)	Máxima Eletropaulo (D-1)	Média Eletropaulo (D-1)
3º	Mínima Eletropaulo (D-1)	Mínima Eletropaulo (D-1)	Mínima Eletropaulo (D-1)
4º	Máxima Eletropaulo (D-1)	Fechamento Eletropaulo (D-1)	Máxima Eletropaulo (D-1)
5º	Fechamento Eletropaulo (D-2)	Mínima Eletropaulo (D-2)	Fechamento Eletropaulo (D-2)
6º	Mínima Eletropaulo (D-2)	Fechamento Eletropaulo (D-2)	Mínima Eletropaulo (D-2)
7º	Mínima Eletropaulo (D-3)	Mínima Eletropaulo (D-3)	Fechamento Eletropaulo (D-3)
8º	Fechamento Eletropaulo (D-3)	Fechamento Eletropaulo (D-3)	Mínima Eletropaulo (D-3)
9º	Mínima Eletropaulo (D-4)	Fechamento Eletropaulo (D-4)	Fechamento Eletropaulo (D-4)
10º	Fechamento Eletropaulo (D-4)	Fechamento Eletropaulo (D-5)	Fechamento Eletropaulo (D-5)

Tabela 3 - Atributos resultantes da simulação utilizando dados econômico-financeiros e climáticos (CPFL).

CPFL (dados econômicos + climáticos)			
	Mínima	Máxima	Fechamento
1º	Fechamento CPFL (D-2)	Fechamento CPFL (D-2)	Média Móvel CPFL (D-1)
2º	Mínima CPFL (D-3)	Mínima CPFL (D-3)	Fechamento CPFL (D-2)
3º	Fechamento CPFL (D-3)	Fechamento CPFL (D-3)	Mínima CPFL (D-3)
4º	Mínima CPFL (D-4)	Mínima CPFL (D-4)	Fechamento CPFL (D-3)
5º	Fechamento CPFL (D-4)	Fechamento CPFL (D-4)	Mínima CPFL (D-4)
6º	Média CPFL (D-5)	Média CPFL (D-5)	Fechamento CPFL (D-4)
7º	Máxima CPFL (D-5)	Máxima CPFL (D-5)	Média CPFL (D-5)
8º	Mínima CPFL (D-5)	Mínima CPFL (D-5)	Máxima CPFL (D-5)

9º	Fechamento CPFL (D-5)	Fechamento CPFL (D-5)	Mínima CPFL (D-5)
10º	Média Precipitação (D-11)	Fechamento CPFL (D-6)	Fechamento CPFL (D-5)
11º	Média Móvel Precipitação (D-15)	Ponto de Orvalho Médio (D-1)	Temperatura Mínima (D-1)
12º	Ponto de Orvalho Médio (D-1)	Ponto de Orvalho Máximo (D-1)	Temperatura Média (D-1)
13º	Ponto de Orvalho Máximo (D-1)	Ponto de Orvalho Médio (D-2)	Ponto de Orvalho Máximo (D-1)
14º	Média Móvel Precipitação (D-3)	Média Móvel Precipitação (D-15)	Ponto de Orvalho Médio (D-1)
15º	Média Precipitação (D-15)	Média Precipitação (D-15)	Temperatura Mínima (D-2)

Tabela 4 - Atributos resultantes da simulação utilizando dados econômico-financeiros e climáticos (Eletropaulo).

Eletropaulo (dados econômicos + climáticos)			
	Mínima	Máxima	Fechamento
1º	Fechamento Eletropaulo (D-1)	Média Eletropaulo (D-1)	Fechamento Eletropaulo (D-1)
2º	Média Eletropaulo (D-1)	Máxima Eletropaulo (D-1)	Média Eletropaulo (D-1)
3º	Mínima Eletropaulo (D-1)	Mínima Eletropaulo (D-1)	Mínima Eletropaulo (D-1)
4º	Máxima Eletropaulo (D-1)	Fechamento Eletropaulo (D-1)	Máxima Eletropaulo (D-1)
5º	Fechamento Eletropaulo (D-2)	Mínima Eletropaulo (D-2)	Fechamento Eletropaulo (D-2)
6º	Mínima Eletropaulo (D-2)	Fechamento Eletropaulo (D-2)	Mínima Eletropaulo (D-2)
7º	Mínima Eletropaulo (D-3)	Mínima Eletropaulo (D-3)	Fechamento Eletropaulo (D-3)
8º	Fechamento Eletropaulo (D-3)	Fechamento Eletropaulo (D-3)	Mínima Eletropaulo (D-3)
9º	Média Móvel Precipitação (D-15)	Média Móvel Precipitação (D-15)	Média Móvel Precipitação (D-15)
10º	Média Precipitação (D-15)	Média Precipitação (D-15)	Média Precipitação (D-15)
11º	Temperatura Média (D-3)	Ponto de Orvalho Médio (D-1)	Ponto de Orvalho Médio (D-1)
12º	Ponto de Orvalho Médio (D-1)	Ponto de Orvalho Médio (D-2)	Umidade Mínima (D-3)
13º	Média Móvel Ponto de Orvalho Médio (D-5)	Média Móvel Umidade (D-5)	Temperatura Média (D-2)
14º	Temperatura Mínima (D-5)	Média Móvel Ponto de Orvalho Médio (D-1)	Média Móvel Ponto de Orvalho Médio (D-1)
15º	Temperatura Mínima (D-2)	Temperatura Mínima (D-2)	Temperatura Mínima (D-2)

As Tabelas 1 e 2 representam as variáveis selecionadas, apenas utilizando dados do mercado financeiro. Nota-se que as maiores influenciadoras das saídas analisadas foram as variáveis da própria ação, porém em dias anteriores à previsão, tanto da Eletropaulo quanto CPFL. Este resultado é condizente com o que o mercado financeiro fundamenta. A lógica de precificação de ativos como estes, na maioria dos casos, segundo Fortuna (2011), já aborda variáveis como preço do barril de petróleo, índice Ibovespa, taxa de juros SELIC, índice de inflação IPCA. Logo o próprio preço da ação já reflete a influência destes parâmetros. Com isso, o resultado que se tem na mineração de dados são os preços máximos, mínimos e de fechamento das ações das concessionárias poucos dias antes do dia que se pretende prever. Uma possível maneira de analisar, com maior profundidade, a influência destes parâmetros abordados na monografia no preço das ações é excluir das simulações as variáveis da própria ação em dias anteriores, pois, desta maneira, parte-se do princípio que os agentes e analistas financeiros não estudaram estes parâmetros e os utilizaram na precificação do ativo. Além disto, o próprio valor das ações não costuma ter uma variação

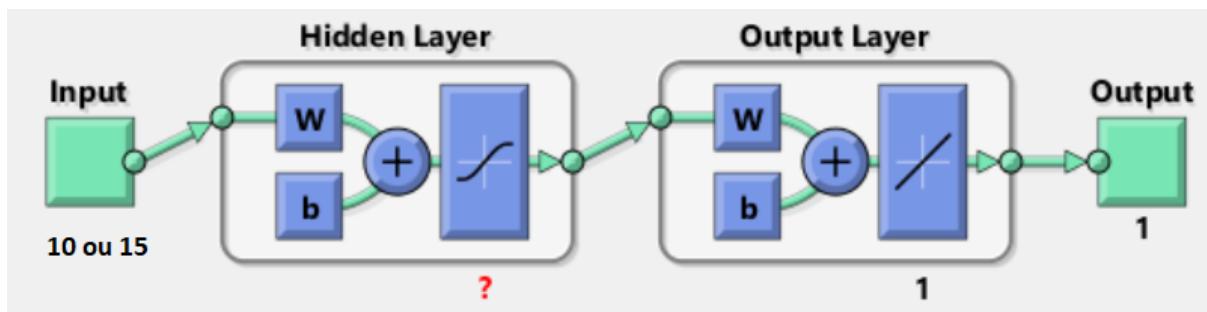
muito grande na comparação de um dia para o outro, apenas se houver um evento extraordinário que possa alterar sua estacionariedade. Portanto no processo de filtragem *Relief*, esses valores recebem uma pontuação alta por serem considerados diferentes, porém com valores semelhantes.

Ao analisar as Tabelas 3 e 4, nota-se que as variáveis da própria ação ainda são as que mais influenciam na saída analisada. No entanto, ao se adicionar parâmetros climáticos, observa-se que temperatura, ponto de orvalho, umidade e precipitação aparecem na lista de parâmetros importantes na análise. Esse resultado também é condizente com o que se espera do estudo, pois no estudo da geração de energia de uma hidrelétrica um fator que influencia é o ciclo da água e a quantidade represada deste recurso natural. Essas quatro variáveis estão ligadas a este ciclo

Após a organização e filtragem dos dados, as 12 Tabelas foram preparadas para as simulações no MATLAB, que é a etapa de pós-processamento, de acordo com a Figura 1. Neste programa 60% dos dados foram utilizados para o treinamento da rede e os 40% para testes, sendo que, na seleção, esses percentuais foram divididos aleatoriamente para que todas as variáveis estivessem contempladas tanto no treinamento quanto na fase de testes. As simulações foram divididas em dois grandes blocos, um deles utilizando apenas uma camada de neurônios intermediária e a outra utilizando duas. Dentro destes blocos, simularam-se as redes neurais para dados contendo apenas variáveis econômico-financeiras e para dados contendo variáveis financeiras e climáticas. O intuito era analisar o comportamento da previsão inserindo mais dados nas simulações.

A Figura 14 exemplifica a estrutura da rede neural. Nela, a entrada é representada pelas variáveis, explicadas acima, que podem ser 10 ou 15. O “?” representa o número de camadas e seus respectivos neurônios. No caso de uma camada, os neurônios variaram de 5 a 50, com um passo de cinco entre cada simulação. Por exemplo, a primeira simulação continha cinco neurônios, a segunda 10 e assim por diante até 50. Já para a estrutura com duas camadas, aplicou-se a mesma linha de raciocínio, porém para duas camadas de neurônios, como exemplifica a Tabela 5. Na Figura 14, ao se utilizar duas camadas o número de *hidden layer* aumenta.

Figura 14 – Estrutura da RNA simulada.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 5 – Estrutura da RNA com duas camadas intermediárias.

1 ^a Camada Intermediária	2 ^a Camada Intermediária
5	5 10 . . . 50
10	5 10 . . 50
.	.
.	.
.	.
45	5 10 . . 50
50	5 10 . . 50

É importante ressaltar que todos os treinamentos foram realizados empregando o algoritmo de *backpropagation* Levenberg-Marquardt, sendo uma rede de *feed-forward*, de uma ou duas camadas, com número definido de neurônios ocultos e neurônios de saída linear. Portanto a configuração foi feita da seguinte forma:

- Algoritmo de treinamento: Levenberg-Marquardt;

- Erro quadrático médio: 10^{-15} ;
- Número máximo de épocas: 500;
- Taxa de aprendizado: 10^{-6} ;
- Número de camadas: topologias com 1 e 2 camadas neurais intermediárias;
- Número de neurônios por camada: conforme explicado na Tabela 5.

Segundo Laboissiere (2016), para medir o desempenho das simulações, houve a necessidade de se estabelecer critérios para avaliar o resultado gerado pelas RNAs. Portanto, foram realizados cálculos de Erro Absoluto Médio (MAE - *Mean Absolute Error*), Erro Absoluto Percentual Médio (MAPE - *Mean Absolute Percentual Error*) e Erro Médio Quadrático (MSE - *Mean Square Error*) conforme respectivamente apresentados por meio das Equações 4.2 a 4.4.

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - \hat{P}_i| \quad (4.2)$$

$$\text{MAPE} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|P_i - \hat{P}_i|}{P_i} \quad (4.3)$$

$$\text{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \hat{P}_i)^2} \quad (4.4)$$

Em que, P_i representa o preço desejado; \hat{P}_i representa o preço estimado pela RNA; e N é o número de amostras usadas para validação da RNA.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA PREVISÃO DE AÇÕES

Os resultados foram divididos entre CPFL e Eletropaulo. As Tabelas 6 a 9 apresentam os resultados para CPFL, simulando apenas variáveis econômicas com uma e duas camadas e depois simulando com variáveis econômicas juntas às climáticas. O mesmo foi feito para Eletropaulo (Tabelas 10 a 13). Além do mais, um resumo dos resultados está exposto na Tabela 14.

Tabela 6 – Resultados da simulação de previsão de ações da CPFL com uma camada intermediária na RNA e apenas variáveis de mercado financeiro.

Neurônios	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE
5	0,328731	1,213471	0,722069	0,198451	0,823934	0,573129	0,246441	0,988478	0,83161
10	0,317972	2,586047	0,712294	0,091470	0,860784	0,242124	0,243907	0,944814	1,145689

Neurônios	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
15	0,550652	3,236962	1,376189	0,161966	1,261941	0,689707	0,222783	0,958535	0,748237
20	0,384628	2,650729	0,887791	0,086602	0,841379	0,23983	0,15165	0,655096	0,335347
25	0,480054	3,437126	1,511322	0,130062	1,138516	0,737697	0,306453	1,281005	2,674979
30	1,366659	0,298392	1,845024	0,150677	1,265156	0,68252	0,370162	1,295987	0,709013
35	0,671337	4,112716	1,40472	0,153095	1,149026	0,454966	0,233852	0,971027	0,507495
40	0,751344	6,899482	4,136716	0,139647	1,30419	1,015111	0,346647	1,242463	0,870936
45	0,400044	3,104101	1,855143	0,088846	0,846626	0,264344	0,280106	1,125138	0,969494
50	2,294733	3,511136	5,663929	0,390432	2,8402	1,967696	0,252375	1,051071	1,411058

Tabela 7 - Resultados da simulação de ações da CPFL com duas camadas intermediárias na RNA e apenas variáveis de mercado financeiro.

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
Neurônios por camadas		MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE
5	5	0,396902	1,273919	3,481993	0,187299	0,801569	0,794293	0,240169	0,963402	0,994942
	10	0,443487	3,266834	2,195305	0,052755	0,493422	0,103477	0,215216	0,926523	0,87558
	15	0,853738	3,983862	2,769472	0,08375	0,782037	0,134757	0,32381	1,082717	0,77828
	20	1,625562	9,03008	2,754407	0,118261	1,027178	0,38567	0,240026	0,928814	0,73297
	25	1,211096	4,946458	3,81293	0,110632	1,003704	0,386244	0,169671	0,740517	0,536078
	30	0,299556	2,542191	0,507157	0,102393	0,971353	0,304223	0,205554	0,889419	0,777304
	35	1,15662	4,578268	3,536145	0,120249	1,08734	0,766899	0,198844	0,818494	0,406201
	40	0,553507	3,767913	2,038331	0,174158	1,311281	0,636423	0,254586	0,985096	1,234242
	45	0,331553	2,489854	1,060881	0,083297	0,766418	0,32997	0,194649	0,761677	0,458197
	50	0,342235	2,809001	1,477638	0,396923	2,462203	1,406239	0,254148	0,959081	0,725272
10	5	0,744816	4,503492	2,16835	0,149922	1,240874	0,841544	0,21048	0,930556	1,185145
	10	0,351291	2,605158	1,182094	0,088202	0,850925	0,298095	0,203237	0,796783	0,423832
	15	1,652054	7,003195	4,902266	0,190393	1,597314	0,812712	0,371139	1,255291	0,966139
	20	0,301296	2,578924	1,083577	0,150961	1,386829	0,470845	0,260811	1,004461	0,770429
	25	0,601378	4,521067	1,948578	0,087872	0,84963	0,24757	0,262519	0,925515	0,582874
	30	0,481433	4,009188	2,109078	0,139244	1,13225	0,34247	0,223952	0,964259	1,439239
	35	1,312886	7,067	5,804663	0,097648	0,907057	0,460106	0,24383	0,941744	0,713401
	40	0,326706	2,404356	0,677393	0,16858	1,315272	0,396575	0,289321	1,144574	0,663043
	45	0,510878	3,438438	2,929025	0,11013	0,978313	0,335694	0,294724	1,111938	1,207102
	50	0,405828	3,316487	2,344808	0,094902	0,844894	0,259833	0,221963	0,892086	0,800579
15	5	0,38268	3,029536	2,037793	0,103648	0,958297	0,455174	0,233047	0,873002	0,549001
	10	1,914768	0,259565	7,817999	0,090297	0,792916	0,156282	0,324402	1,301997	1,514333
	15	0,524664	3,416869	1,412876	0,115013	1,060675	0,741789	0,278649	1,033154	0,986636
	20	0,70469	4,334397	3,265675	0,345603	2,200488	1,06465	0,275481	1,111686	1,628577
	25	0,647681	4,817354	1,54263	0,152342	1,281878	0,549294	0,283597	1,151847	1,218215
	30	0,603228	4,400232	3,846154	0,10707	1,052377	0,423611	0,245325	1,025207	1,455195
	35	0,390727	2,715998	0,955959	0,138355	1,134886	0,530446	0,239817	0,886103	0,544776
	40	0,71233	5,01749	4,263998	0,172513	1,550662	1,056786	0,242686	0,89862	0,564357
	45	0,816133	6,281584	2,417743	0,160779	1,329852	0,428841	0,187447	0,820559	0,447044
	50	1,200283	8,201687	2,780108	0,141023	1,208001	0,829562	0,431958	1,821319	1,699201
20	5	0,488759	3,002482	1,222901	0,10227	0,907456	0,239544	0,241849	0,965985	0,686714
	10	1,65378	6,966519	6,801131	0,172899	1,402922	0,40275	0,265079	1,032371	0,675225
	15	1,425671	6,364483	4,642885	0,108822	0,943331	0,217162	0,237552	0,926636	1,179645
	20	0,406976	3,317597	0,991203	0,245588	1,710327	0,583329	0,275383	1,049806	0,866121

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
20	25	0,626105	3,529642	2,197138	0,152239	1,12099	0,447852	0,308394	1,223358	1,16017
	30	0,504088	3,786274	1,409736	0,144938	1,231103	0,598349	0,20513	0,888228	1,003158
	35	0,38493	2,986432	1,502425	0,168255	1,391962	0,465787	0,208841	0,911111	1,180837
	40	0,301036	2,471693	0,698717	0,105353	1,04341	0,247885	0,177664	0,776605	0,609214
	45	0,671097	4,303645	2,62435	0,274908	2,333506	0,484616	0,228179	0,984715	1,078428
	50	0,409617	2,710962	1,137173	0,210635	1,46362	0,608935	0,220623	0,9661	0,868056
25	5	0,560757	3,228201	1,986333	0,082744	0,794194	0,331648	0,281933	0,995188	0,774412
	10	0,272194	2,45506	0,417853	0,072538	0,699983	0,111835	0,247768	0,972936	0,523686
	15	0,48972	3,22184	2,009561	0,121567	1,096763	0,302956	0,281723	1,057117	0,879662
	20	0,330143	2,801507	1,948769	0,13826	1,128557	0,491212	0,214415	0,873858	0,624902
	25	0,293522	2,535793	1,016253	0,143563	1,245528	0,381813	0,209538	0,818093	0,553344
	30	0,4549	3,127675	1,488034	0,221586	2,062145	0,560424	0,266259	0,985419	0,865822
	35	0,306607	2,446016	0,847893	0,103603	1,031649	0,661364	0,217761	0,841434	0,485931
	40	1,140305	8,446633	9,850286	0,180299	1,44465	0,419524	0,292041	1,242691	1,065563
	45	0,718055	3,918651	3,049417	0,462936	3,722084	1,250076	0,26261	0,961133	0,705448
	50	0,534448	3,834759	2,452465	0,08194	0,80543	0,187743	0,464257	1,447678	1,583534
30	5	0,426734	3,23093	2,385698	0,136847	1,191532	0,655967	0,210772	0,913019	1,449228
	10	1,121123	5,864557	3,906725	0,113723	1,021744	0,244795	0,249588	0,923681	0,618015
	15	0,595831	3,428557	2,059053	0,14804	1,143836	0,549127	0,266045	0,997877	1,060544
	20	0,262758	2,297297	0,840656	0,276227	2,596614	0,816876	0,216514	0,911984	0,393476
	25	1,154965	5,070081	3,422948	0,131728	1,111689	0,487805	0,255209	1,033479	1,140588
	30	0,707226	4,193012	2,260888	0,105704	0,976575	0,269088	0,254261	1,017073	0,899716
	35	0,401345	2,669373	0,933749	0,239319	1,706825	0,671157	0,184717	0,776206	0,494838
	40	0,548546	3,818946	1,518626	0,297217	2,975173	1,351799	0,20663	0,904932	1,181107
	45	0,420002	3,3557	2,219843	0,093427	0,928976	0,629404	0,26308	1,053817	1,478064
	50	0,430641	2,69225	0,939705	0,135581	1,179137	0,467128	0,562322	2,078619	1,128964
35	5	0,362532	3,194434	1,591034	0,155762	1,12285	0,44774	0,198341	0,852099	0,563038
	10	0,279609	2,46654	1,081086	0,122822	1,063476	0,220079	0,309084	1,236951	1,197988
	15	0,406775	2,947475	1,366631	0,099663	0,912941	0,47525	0,274764	1,090376	0,799397
	20	0,274071	2,241656	0,554701	0,200153	1,54452	0,553104	0,252648	0,997335	0,720344
	25	0,283927	2,443811	0,676172	0,139011	1,175612	0,475505	0,246226	0,917116	0,601989
	30	0,445984	3,095632	1,706673	0,59053	4,738618	2,062789	0,276646	1,075192	1,017315
	35	0,517392	3,602625	1,665834	0,233021	1,593021	0,793444	0,315525	1,155547	1,153312
	40	0,332288	2,694793	1,714477	0,128079	1,052568	0,29233	0,20687	0,892746	1,321801
	45	0,608308	3,241559	2,027843	0,208496	1,687619	1,220486	0,21313	0,893876	1,164592
	50	0,847622	3,977762	2,33427	0,178734	1,444934	0,427564	0,181066	0,815001	0,785444
40	5	0,412946	2,822867	0,992254	0,08066	0,786875	0,275442	0,223326	0,906916	0,528148
	10	3,025191	0,652986	1,317794	0,132049	1,093487	0,359226	0,198652	0,853653	0,684059
	15	0,387162	2,800465	1,27249	0,69743	6,248133	0,864162	0,275153	1,050097	0,656108
	20	0,716441	4,208393	2,549208	0,114907	0,95355	0,289641	0,272498	1,065575	1,402006
	25	0,339956	2,79684	1,692647	0,14573	1,104335	0,341456	0,224611	0,942032	1,363818
	30	0,270197	2,265665	0,732049	0,116809	1,023638	0,398274	0,228555	0,98492	0,934652
	35	0,553341	3,880256	1,572367	0,1096	0,915943	0,22703	0,242537	1,002904	1,179826
	40	0,503063	3,425287	1,465837	0,114921	1,018998	0,431053	0,247894	0,957751	0,570812
	45	0,422224	2,866572	1,778581	0,138011	1,187207	0,31791	0,180962	0,808941	0,963182
	50	0,45953	3,913893	2,570247	0,105394	0,906775	0,363259	0,184485	0,804621	0,802541
45	5	0,416903	3,513383	3,567914	0,195593	1,811751	1,189425	0,282418	1,127227	0,777016
	10	0,619762	4,953775	1,209334	0,096479	0,872563	0,169153	0,170485	0,776475	0,845147
	15	0,444928	3,210019	2,203282	0,091788	0,892249	0,185173	0,191905	0,856698	0,50062
	20	0,319327	2,550307	0,632591	0,177503	1,353849	0,553803	0,238018	0,93728	0,61128
	25	1,026669	5,974046	3,129294	0,198965	1,556676	0,75438	0,286788	1,101209	1,04492

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
45	30	0,359455	2,965528	2,025661	0,093267	0,90655	0,480908	0,231661	0,965006	1,037631
	35	1,646166	7,091757	5,141039	0,10193	0,915359	0,399168	0,201692	0,834463	0,632058
	40	0,451502	3,119796	1,531217	0,156567	1,302129	0,350455	0,258539	0,985598	1,165354
	45	0,47303	3,117905	0,953255	0,191055	1,421445	0,425781	0,272426	1,042098	1,212905
	50	0,985896	6,933229	6,192359	0,129249	1,051834	0,401868	0,391619	1,525136	0,722096
50	5	0,398211	2,82895	1,524497	0,209987	1,471148	0,844287	0,292183	1,059641	1,036786
	10	0,361445	2,704755	1,618087	0,154838	1,213549	0,467566	0,234426	0,991278	1,432414
	15	0,446484	3,616092	1,76533	0,170058	1,392244	0,546258	0,336255	1,308877	1,56925
	20	0,332634	2,656469	1,206398	0,146162	1,120346	0,408974	0,292771	1,161293	1,320173
	25	0,366647	2,689864	1,234767	0,128561	1,039775	0,29707	0,500072	1,957169	2,067871
	30	1,268042	7,060432	4,748399	0,130625	1,083963	0,458627	0,180608	0,741745	0,276712
	35	0,553793	3,554245	1,830462	0,195214	1,657152	0,657683	0,248646	1,023165	1,069066
	40	0,64882	3,725165	2,507378	0,173236	1,342874	0,41915	0,250626	0,936928	0,588433
	45	1,040198	4,635273	2,919938	0,149646	1,324354	0,534534	0,229503	0,965857	1,140877
	50	0,363389	2,996078	1,922708	0,112085	0,965516	0,232702	0,231772	1,041078	1,423233

Tabela 8 - Resultados da simulação de previsão de ações da CPFL com uma camada intermediária na RNA e variáveis de mercado financeiro e climáticas.

Neurônios	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE
5	0,247523	0,920683	0,533928	0,214501	0,850717	0,643785	0,287252	1,167791	0,880065
10	0,114484	1,034107	0,284656	0,058658	0,838601	0,225808	0,227307	0,612552	0,40429
15	0,098384	0,903447	0,283299	0,050271	0,750183	0,195212	0,248046	0,682199	0,572471
20	0,179377	1,375125	0,327944	0,078042	1,033415	0,142905	0,219203	0,625474	0,948203
25	0,254512	1,984122	0,608127	0,094641	1,363507	0,210714	0,188206	0,559053	0,552841
30	0,341392	2,530426	0,860335	0,079039	1,044316	0,140492	0,200313	0,578984	0,284491
35	0,186117	1,491884	0,320331	0,087385	1,271583	0,195768	0,180605	0,534903	0,380379
40	0,140223	1,268341	0,336944	0,102925	1,546195	0,216988	0,196265	0,576742	0,387587
45	0,126306	1,183648	0,247143	0,117921	1,564383	0,269828	0,295944	0,827072	0,53368
50	0,128147	1,207871	0,314345	0,084556	1,211187	0,131003	0,30133	0,842722	0,663039

Tabela 9 - Resultados da simulação de previsão de ações da CPFL com duas camadas intermediárias na RNA e variáveis de mercado financeiro e climáticas.

Neurônios por Camadas	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento			
	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	
5	5	0,260907	1,04655	0,816735	0,245148	0,933663	0,824229	0,341154	1,255037	1,207339
	10	0,120389	1,064559	0,23287	0,102074	1,389131	0,184072	0,274415	0,706409	0,523713
	15	0,126362	1,153292	0,255623	0,079041	1,035261	0,218496	0,195111	0,559711	0,458052
	20	0,268841	2,273135	1,187925	0,059837	0,918938	0,260348	0,214908	0,587703	0,4398
	25	0,192831	1,511885	0,563528	0,115932	1,682248	0,313055	0,156029	0,43406	0,256495
	30	0,160101	1,448568	0,771703	0,06697	0,865361	0,147032	0,62106	1,433453	1,707689
	35	0,128481	1,127396	0,352605	0,089728	1,120448	0,16223	0,606906	1,410771	1,763047
	40	0,13431	1,222181	0,58782	0,086567	1,313025	0,263193	0,173283	0,504978	0,645371
	45	0,131507	1,263109	0,266005	0,055679	0,839469	0,157844	0,452927	1,095449	1,475006

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
5	50	0,593787	3,819954	1,813353	0,070695	0,994897	0,263169	0,163446	0,460245	0,256643
10	5	0,136159	1,214005	0,337131	0,076774	1,019483	0,248741	0,243018	0,673629	0,564971
	10	0,181288	1,554552	0,347759	0,082376	1,185595	0,143458	0,238934	0,665285	0,50857
	15	0,151379	1,307438	0,379334	0,114319	1,79186	0,272971	0,222084	0,620263	0,49021
	20	0,130157	1,189947	0,475605	0,118645	1,422864	0,282044	0,27257	0,702839	0,583714
	25	0,198409	1,709797	0,84183	0,072421	1,064126	0,207048	0,198976	0,591556	0,619935
	30	0,157943	1,346717	0,383817	0,098789	1,465819	0,162309	0,2915	0,781239	0,716341
	35	0,211687	1,722742	0,744622	0,234636	3,764291	0,465269	0,186486	0,551699	0,832211
	40	0,147463	1,353708	0,258409	0,074523	1,105013	0,164364	0,222353	0,604557	0,382137
	45	0,148136	1,312206	0,532977	0,069288	1,039978	0,198711	0,205781	0,619804	0,694003
	50	0,170747	1,379336	0,305252	0,071049	1,022997	0,162888	0,293309	0,761082	0,781085
15	5	0,121631	1,071812	0,289787	0,133108	1,731318	0,340539	0,28747	0,752525	0,509302
	10	0,348789	2,752595	0,666708	0,189653	2,531211	0,388122	0,209017	0,611933	0,373882
	15	0,152581	1,33964	0,403905	0,099695	1,289876	0,243846	0,242943	0,659101	0,683785
	20	0,133152	1,147549	0,226595	0,106529	1,306015	0,208384	0,351488	0,902325	0,751335
	25	0,213121	1,734699	0,708818	0,128653	1,82724	0,472482	0,244706	0,714563	0,490499
	30	0,141676	1,260809	0,448609	0,12545	1,866157	0,363114	0,445435	1,174941	0,913129
	35	0,251769	1,884295	0,641995	0,079849	1,126003	0,161138	0,245473	0,694914	0,536213
	40	0,571986	4,342731	1,252705	0,122519	1,575029	0,35041	0,240462	0,675079	0,601455
	45	0,202864	1,632089	0,592622	0,108963	1,549811	0,185564	0,225595	0,668293	0,747151
	50	0,621124	4,700708	1,554275	0,136704	1,827083	0,237963	0,400554	1,015782	0,714713
20	5	0,155089	1,256527	0,39694	0,111654	1,792347	0,276121	0,246364	0,671864	0,537616
	10	0,127609	1,237818	0,538856	0,083303	1,182361	0,179794	0,222249	0,632781	0,416887
	15	0,271307	2,121212	0,625651	0,088096	1,322332	0,178754	0,248367	0,724958	0,524273
	20	0,128894	1,165462	0,201578	0,187649	2,740434	0,350706	0,311683	0,855469	0,631766
	25	0,242082	2,088558	1,017073	0,116388	1,657291	0,316116	0,247484	0,695481	0,660606
	30	0,179171	1,467767	0,397479	0,143675	2,116709	0,223427	0,354652	0,995057	0,639542
	35	0,422885	3,192142	0,792313	0,143764	1,783116	0,330969	0,285698	0,814804	0,676609
	40	0,248293	1,867622	0,49119	0,196381	2,31952	0,41159	0,301169	0,850411	0,731073
	45	0,299937	2,622054	0,643636	0,238447	3,733237	0,655331	0,196207	0,569758	0,39403
	50	0,216912	1,787322	0,514245	0,392427	5,243339	0,773568	0,327749	0,894604	0,657191
25	5	0,747885	5,343967	1,792292	0,127684	1,826986	0,213751	0,170242	0,507188	0,456287
	10	0,147913	1,28599	0,368192	0,103981	1,404851	0,198003	0,221029	0,611816	0,548102
	15	0,329443	2,596539	0,78453	0,137587	1,843635	0,291947	0,41429	1,173146	0,815723
	20	0,171014	1,523894	0,376011	0,087974	1,263632	0,209026	0,388792	1,117099	0,885993
	25	0,159301	1,427787	0,441135	0,098843	1,38785	0,193968	0,300446	0,787032	0,61073
	30	0,198045	1,594828	0,527247	0,119632	1,449501	0,205686	0,253138	0,745334	0,647498
	35	0,195938	1,664543	0,324551	0,104334	1,581672	0,254281	0,244316	0,702251	0,714641
	40	0,165909	1,581651	0,357699	0,31645	4,907078	0,638174	0,189845	0,556401	0,534365
	45	0,180305	1,500623	0,32964	0,201861	2,421202	0,42544	0,385843	1,005005	0,819681
	50	0,239783	1,931535	0,555839	0,089271	1,237087	0,258003	0,197113	0,564776	0,322481
30	5	0,207951	1,840472	0,329664	0,291436	4,470322	0,504204	0,18228	0,533816	0,436592
	10	0,176136	1,493875	0,377449	0,096273	1,377611	0,187363	0,245353	0,67161	0,544822
	15	0,616286	4,895961	1,28145	0,095035	1,263376	0,192587	0,240575	0,69758	0,519335
	20	0,143736	1,28198	0,257716	0,092882	1,351149	0,180747	0,246971	0,688024	0,580633
	25	0,309441	2,459583	0,639399	0,17675	2,565774	0,400788	0,221108	0,652608	0,464728
	30	0,129277	1,183048	0,408565	0,225366	3,319089	0,377417	0,263296	0,719629	0,571823
	35	0,276342	2,499829	0,437369	0,156418	2,009328	0,282474	0,253908	0,699484	0,483881
	40	0,170688	1,654421	0,48817	0,229259	3,014949	0,396772	0,256115	0,716101	0,430761
	45	0,165579	1,605952	0,671426	0,110135	1,534638	0,263301	0,259274	0,742945	0,624421
	50	0,155349	1,317585	0,312907	0,110515	1,487503	0,197869	0,479756	1,183373	1,107146

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
35	5	0,116021	1,027341	0,25235	0,089935	1,179554	0,145503	0,230922	0,639946	0,411534	
	10	0,273499	2,25167	0,658388	0,090827	1,268168	0,248952	0,206946	0,582693	0,475509	
	15	0,13548	1,203684	0,363762	0,110223	1,450425	0,230208	0,272488	0,749916	0,533798	
	20	0,148821	1,463769	0,408017	0,10538	1,533203	0,232381	0,31686	0,845083	0,655144	
	25	0,170658	1,456099	0,372607	0,103144	1,458402	0,163751	0,321455	0,845713	0,613522	
	30	0,285559	2,413557	0,638909	0,149808	2,142186	0,329453	0,206066	0,60981	0,414973	
	35	0,169101	1,614875	0,452759	0,106372	1,467861	0,246258	0,273574	0,80454	0,686035	
	40	0,335108	2,547551	0,831002	0,130104	1,849992	0,289671	0,280468	0,809715	0,625951	
	45	0,273703	2,143249	0,601386	0,249024	3,583864	0,472849	0,323279	0,923833	0,641377	
	50	0,209148	1,817591	0,666766	0,172657	2,178229	0,313537	0,269229	0,769723	0,516636	
40	5	0,180283	1,53445	0,32961	0,091971	1,273932	0,166625	0,184264	0,541554	0,472548	
	10	0,417089	3,127938	0,929363	0,244342	3,235571	0,424274	0,388098	0,994618	0,740043	
	15	0,20416	1,669027	0,356831	0,113205	1,477813	0,193505	0,215015	0,639893	0,386784	
	20	0,175212	1,545916	0,29259	0,115571	1,645391	0,220077	0,281686	0,748335	0,600934	
	25	0,151843	1,386183	0,330114	0,112827	1,581017	0,249722	0,220734	0,639344	0,499873	
	30	0,176286	1,486437	0,430312	0,131475	1,897413	0,26401	0,271395	0,759636	0,4717	
	35	0,168667	1,430723	0,362056	0,333613	4,391263	0,580396	0,277803	0,814827	0,697417	
	40	0,148281	1,307176	0,27596	0,165051	2,173149	0,337107	0,203768	0,59594	0,43555	
	45	0,209341	1,831401	0,419589	0,112818	1,625855	0,191076	0,23538	0,685115	0,538082	
	50	0,191529	1,804277	0,428712	0,134931	1,952094	0,227004	0,239816	0,676792	0,436003	
45	5	0,141636	1,257073	0,334188	0,108325	1,599888	0,242028	0,290646	0,807732	0,474976	
	10	0,21163	1,648249	0,507034	0,177746	2,706588	0,323413	0,212948	0,612187	0,455582	
	15	0,182078	1,640872	0,717305	0,103861	1,441354	0,173093	0,21222	0,613648	0,350954	
	20	0,165017	1,509339	0,365595	0,477299	6,36984	0,867823	0,300578	0,842639	0,64735	
	25	0,647127	5,330554	1,424811	0,122078	1,628587	0,205159	0,351534	0,980016	0,649977	
	30	0,182058	1,488119	0,349324	0,123158	1,658095	0,245088	0,238275	0,66576	0,378621	
	35	0,560049	4,748507	1,090206	0,120858	1,730864	0,251154	0,345335	0,912291	0,656592	
	40	0,207357	1,648608	0,354195	0,488473	6,628883	0,907457	0,293026	0,793005	0,496127	
	45	0,332154	2,644565	0,629342	0,162914	2,252186	0,404887	0,30419	0,830992	0,572246	
	50	0,200695	1,802577	0,455351	0,137677	1,94723	0,247286	0,254481	0,742696	0,683263	
50	5	0,152089	1,366582	0,443114	0,117466	1,596424	0,229686	0,226825	0,638818	0,506569	
	10	0,136554	1,200538	0,27888	0,139182	1,866338	0,259606	0,246401	0,674387	0,434823	
	15	0,168177	1,370139	0,369374	0,090949	1,238629	0,166552	0,220221	0,643806	0,502784	
	20	0,160002	1,333716	0,377248	0,11977	1,575946	0,212956	0,249949	0,687631	0,486092	
	25	0,323237	2,265288	0,865384	0,132913	1,729944	0,280181	0,258376	0,733968	0,756008	
	30	0,196702	1,664532	0,338085	0,111957	1,661297	0,239972	0,280856	0,796315	0,717587	
	35	0,19651	1,692042	0,410861	0,135631	1,836628	0,297789	0,239325	0,689594	0,42321	
	40	0,24526	1,988379	0,621775	0,144859	1,974354	0,361524	0,240292	0,668813	0,394138	
	45	0,214245	1,849871	0,378775	0,178521	2,446691	0,323894	0,290996	0,832989	0,578797	
	50	0,328652	2,910117	0,656928	0,15092	2,016503	0,267144	0,316399	0,879284	0,583385	

A seguir seguem as simulações da previsão das ações da Eletropaulo.

Tabela 10 - Resultados da simulação de previsão de ações da Eletropaulo com uma camada intermediária na RNA e apenas variáveis de mercado financeiro.

Neurônios	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE
5	0,481998	2,946406	2,190132	0,278055	1,890505	0,373842	0,292886	1,801729	0,447918

Neurônios	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
10	0,110331	1,48072	0,178121	0,24025	2,36935	1,504031	0,140048	1,049806	0,202976
15	0,107023	1,476144	0,171194	0,122203	1,697065	0,171072	0,12199	0,94747	0,176998
20	0,13342	1,717929	0,22082	0,123661	1,621575	0,17829	0,122854	0,915258	0,180219
25	0,115271	1,477038	0,185894	0,117323	1,632954	0,167944	0,117044	0,914686	0,164947
30	0,140777	1,815909	0,229051	0,142317	1,940783	0,200872	0,145325	1,039236	0,232341
35	0,12919	1,747912	0,195212	0,134944	1,868046	0,185682	0,133707	1,013322	0,196474
40	0,136414	1,503069	0,274188	0,14123	1,570456	0,249788	0,144454	1,026317	0,256875
45	0,148741	2,096476	0,239856	0,142468	2,04891	0,209699	0,144896	1,034829	0,237299
50	0,139139	1,73562	0,236004	0,139853	1,915924	0,196725	0,133719	0,971164	0,203057

Tabela 11 - Resultados da simulação de ações da Eletropaulo com duas camadas intermediárias na RNA e apenas variáveis de mercado financeiro.

Neurônios por camadas	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento			
	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	
5	5	0,29066	1,68768	0,45718	0,24923	1,67954	0,33460	0,38968	2,14126	0,74812
	10	0,10744	1,43814	0,17413	0,11859	1,71273	0,15900	0,12405	0,91075	0,18773
	15	0,13414	1,72123	0,21908	0,12520	1,65848	0,17892	0,12172	0,88651	0,18587
	20	0,14656	1,83851	0,21908	0,17466	2,77907	0,21439	0,17233	1,16920	0,31347
	25	0,11258	1,63100	0,17112	0,11291	1,53609	0,16207	0,10676	0,82035	0,15571
	30	0,10255	1,45958	0,15925	0,15439	1,69040	0,26321	0,11118	0,83557	0,16557
	35	0,12019	1,81451	0,17850	0,15529	2,18691	0,24900	0,11670	0,86535	0,17124
	40	0,13774	1,75116	0,21794	0,17172	2,96574	0,23519	0,12021	0,89676	0,18280
	45	0,12184	1,61908	0,19307	0,11593	1,44510	0,17163	0,13080	0,94921	0,21316
	50	0,12674	1,80295	0,19028	0,11509	1,42140	0,18468	0,19054	1,25308	0,37604
10	5	0,21672	2,36945	0,45655	0,14164	1,98903	0,19390	0,29529	1,81808	0,66815
	10	0,11297	1,55093	0,17809	0,16845	1,99565	0,27347	0,12001	0,90740	0,17409
	15	0,12671	1,67426	0,19852	0,14092	1,78456	0,19619	0,13756	1,00764	0,21524
	20	0,13952	1,83301	0,22348	0,12490	1,89567	0,16932	0,12976	0,95639	0,19550
	25	0,17449	2,01222	0,29005	0,16389	2,02883	0,24917	0,17048	1,14063	0,27476
	30	0,12025	1,77227	0,18762	0,13843	1,66749	0,22924	0,12073	0,91484	0,17820
	35	0,14030	1,83804	0,21793	0,14291	1,95565	0,21601	0,13891	0,98937	0,20744
	40	0,11360	1,55381	0,18189	0,13479	1,95740	0,19636	0,11745	0,88263	0,17887
	45	0,19301	2,83242	0,24744	0,14945	2,23624	0,20506	0,14336	1,06150	0,20243
	50	0,14511	1,97478	0,22592	0,13431	1,73699	0,19726	0,13560	0,97833	0,22809
15	5	0,10225	1,33409	0,16211	0,14450	1,90006	0,21013	0,11972	0,88981	0,17543
	10	0,11210	1,53346	0,16973	0,14049	1,99382	0,19817	0,11666	0,87952	0,17114
	15	0,17140	2,39313	0,25625	0,10979	1,42290	0,16558	0,13552	1,00821	0,20073
	20	0,13747	1,87064	0,20973	0,15537	2,06833	0,21898	0,11942	0,89314	0,18021
	25	0,16349	1,83991	0,28425	0,26535	4,31465	0,43293	0,20397	1,37281	0,37650
	30	0,11644	1,44199	0,20165	0,17285	2,18303	0,26420	0,12889	0,93212	0,19761
	35	0,15626	2,05694	0,24375	0,14847	2,11173	0,21062	0,14186	1,00538	0,22584
	40	0,16755	2,13855	0,25929	0,17625	2,18936	0,29499	0,15148	1,06274	0,24073
	45	0,15734	1,83551	0,31997	0,20652	2,63941	0,30432	0,17778	1,21943	0,34089
	50	0,32467	2,73553	0,98155	0,13691	1,83963	0,20679	0,28680	1,78078	0,66287
20	5	0,11565	1,51584	0,18313	0,12198	1,79296	0,16496	0,14353	1,02696	0,21662
	10	0,16609	2,22925	0,28476	0,15898	2,19282	0,21534	0,14160	1,01137	0,24749
	15	0,13283	1,78398	0,22970	0,12752	1,70803	0,19128	0,12808	0,93806	0,19783
	20	0,15109	1,94570	0,24511	0,22673	3,01007	0,36338	0,13379	1,00821	0,19692
	25	0,19284	2,32740	0,39205	0,16384	2,02449	0,26874	0,18284	1,24366	0,41156
	30	0,13921	1,85934	0,21933	0,18442	2,56842	0,27308	0,14587	1,06257	0,22409

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
20	35	0,14509	2,00068	0,23704	0,15099	1,74165	0,22372	0,13263	0,95213	0,20940
	40	0,12387	1,63507	0,20441	0,15667	1,92715	0,27530	0,13594	1,00142	0,20335
	45	0,16596	2,19010	0,28697	0,13968	1,73403	0,22821	0,15048	1,06921	0,24511
	50	0,16097	2,17746	0,24971	0,16549	2,44196	0,23280	0,15511	1,10062	0,24741
25	5	0,12993	1,82839	0,19692	0,11231	1,52211	0,16461	0,11005	0,83512	0,16217
	10	0,14660	1,88207	0,23238	0,12468	1,80336	0,17481	0,14880	1,02929	0,23195
	15	0,16822	2,29790	0,26091	0,14846	1,93524	0,22882	0,15397	1,08063	0,26459
	20	0,19842	2,38355	0,32657	0,15417	2,27337	0,21446	0,15566	1,13315	0,24251
	25	0,15586	2,04439	0,25228	0,19128	1,93351	0,43005	0,19732	1,30602	0,42117
	30	0,17220	2,56064	0,23972	0,13652	2,01175	0,18766	0,13764	1,03182	0,19760
	35	0,13687	1,74070	0,21368	0,18006	2,17845	0,30155	0,14940	1,08157	0,22794
	40	0,15460	1,92240	0,24362	0,18490	2,16173	0,32008	0,17026	1,15732	0,33295
	45	0,24335	3,87376	0,31313	0,17567	2,32828	0,26382	0,13198	0,98087	0,19693
	50	0,19294	2,42573	0,34464	0,21709	2,64109	0,38264	0,14795	1,03897	0,24981
30	5	0,18138	2,38940	0,34262	0,10768	1,39081	0,16480	0,17520	1,24977	0,29290
	10	0,15697	2,06509	0,25969	0,11904	1,59972	0,17184	0,13248	0,97179	0,19676
	15	0,19024	2,35114	0,33613	0,14303	2,05407	0,19203	0,13731	1,00151	0,21442
	20	0,18799	2,19376	0,35502	0,16154	2,09361	0,27587	0,16180	1,13503	0,24858
	25	0,13111	1,70539	0,20664	0,52027	6,20917	1,27821	0,12286	0,90217	0,18936
	30	0,10861	1,38803	0,17543	0,18087	2,35161	0,29652	0,11878	0,90065	0,17235
	35	0,15217	2,05123	0,22994	0,17449	2,00711	0,27490	0,14779	1,06622	0,22743
	40	0,18687	2,49086	0,33877	0,24214	3,06987	0,56279	0,13533	0,97174	0,20560
	45	0,26597	2,90899	0,51398	0,16895	2,25787	0,26908	0,35058	2,16214	0,63260
	50	0,19814	2,17779	0,40929	0,17346	2,61174	0,24570	0,17312	1,17080	0,32951
35	5	0,15464	2,01128	0,25096	0,16121	2,18925	0,23219	0,33411	2,10486	0,69896
	10	0,13981	1,74822	0,23523	0,18810	2,23849	0,35277	0,14664	1,07625	0,21579
	15	0,17341	2,21434	0,26481	0,16485	2,24968	0,24845	0,14985	1,08241	0,22628
	20	0,13455	1,81599	0,21168	0,18070	2,32159	0,25622	0,13133	0,97818	0,19719
	25	0,15799	1,79798	0,25015	0,12566	1,72917	0,17375	0,14866	1,06448	0,22010
	30	0,14579	1,95937	0,26440	0,21201	2,52812	0,39425	0,14309	1,05204	0,22434
	35	0,15350	2,11300	0,24287	0,34534	3,59278	0,83420	0,14072	1,05809	0,21267
	40	0,17442	2,86965	0,24055	0,17499	2,41345	0,25624	0,12700	0,95192	0,18718
	45	0,19378	2,30084	0,30675	0,18390	2,19952	0,33047	0,17478	1,19175	0,30547
	50	0,21072	3,19997	0,32605	0,21485	2,70447	0,39214	0,17232	1,40884	0,22799
40	5	0,17936	2,23661	0,25081	0,12672	1,61138	0,19116	0,11587	0,88760	0,16813
	10	0,15025	1,88777	0,24875	0,12535	1,56674	0,18999	0,16247	1,11945	0,29037
	15	0,17094	2,05123	0,27044	0,21054	2,61269	0,33983	0,12253	0,89569	0,18700
	20	0,15033	1,96060	0,23988	0,13108	1,67862	0,19423	0,15915	1,10423	0,26117
	25	0,14219	1,86105	0,22966	0,20641	2,22343	0,39466	0,13752	1,00127	0,23490
	30	0,14157	1,83658	0,22055	0,20138	2,10043	0,37954	0,13575	0,99914	0,20143
	35	0,16398	1,94915	0,29736	0,14688	1,96669	0,21454	0,21142	1,38364	0,46265
	40	0,16572	2,04478	0,26809	0,19950	2,79180	0,27740	0,18962	1,27471	0,34857
	45	0,16973	2,08934	0,30413	0,15694	2,27827	0,22151	0,13692	0,99464	0,21395
	50	0,22307	2,59642	0,39767	0,18030	2,47320	0,26994	0,20599	1,33534	0,40501
45	5	0,14393	2,07121	0,21309	0,16926	2,16858	0,25864	0,13745	1,00210	0,20725
	10	0,16170	2,23239	0,23853	0,16676	1,94274	0,29677	0,16349	1,11888	0,26030
	15	0,16824	2,43910	0,24916	0,18951	2,02951	0,37075	0,13376	0,98075	0,21307
	20	0,12269	1,71431	0,18713	0,10935	1,42998	0,17396	0,11787	0,89518	0,17219
	25	0,14977	1,91116	0,23497	0,24392	3,07525	0,48159	0,13350	0,96559	0,20060
	30	0,35821	3,43776	0,94046	0,14292	2,03142	0,20022	0,16707	1,15095	0,28255
	35	0,25244	3,68372	0,36213	0,14532	1,60218	0,26109	0,35779	2,19896	0,77278
	40	0,20165	2,70936	0,32027	0,20628	2,39196	0,39182	0,16615	1,15199	0,28759
	45	0,24115	2,75708	0,42108	0,17206	2,34600	0,26944	0,16409	1,14621	0,30571

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
45	50	0,20511	2,64764	0,36290	0,15758	2,03873	0,24761	0,28854	1,81212	0,56506
50	5	0,14804	2,26682	0,20455	0,12972	1,96329	0,18582	0,12275	0,93821	0,17756
	10	0,16412	2,09121	0,25945	0,14985	1,89876	0,22586	0,15214	1,08197	0,24146
	15	0,16202	1,89579	0,29493	0,16403	2,01227	0,28150	0,13983	1,00344	0,22599
	20	0,15732	2,00297	0,23735	0,14428	2,09200	0,20063	0,15513	1,09721	0,23632
	25	0,15844	1,96068	0,24484	0,22213	3,31490	0,29611	0,14241	1,01212	0,22350
	30	0,14944	1,83857	0,24255	0,17192	2,28965	0,25890	0,18486	1,25210	0,32037
	35	0,16825	2,28824	0,26222	0,13856	2,02370	0,19027	0,13284	0,97209	0,19734
	40	0,17869	2,32791	0,27793	0,20251	2,77593	0,28711	0,15652	1,17330	0,22791
	45	0,40988	3,64848	1,19232	0,18574	2,38707	0,39450	0,21940	1,65985	0,31096
	50	0,21390	2,69075	0,37340	0,16380	2,06607	0,30844	0,22511	1,45225	0,50963

Tabela 12 - Resultados da simulação de previsão de ações da Eletropaulo com uma camada intermediária na RNA e variáveis de mercado financeiro e climáticas.

Neurônios	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE
5	0,296138	1,906529	0,432738	0,281087	2,12567	0,388978	0,338405	2,116352	0,495834
10	0,382709	1,707453	0,541943	0,391115	1,964848	0,556811	0,368501	1,587321	0,503276
15	0,391874	1,563991	0,556415	0,458146	2,941233	0,672074	0,328708	1,427336	0,460176
20	0,282151	1,17606	0,40494	0,404379	2,186516	0,562679	0,383536	1,548023	0,545379
25	0,625659	3,052401	1,086465	0,514017	3,127676	0,730174	0,344916	1,494156	0,476423
30	0,469622	2,031355	0,676882	0,549765	3,658151	0,84523	0,525246	2,25597	0,795869
35	0,449158	1,999379	0,657328	0,732657	4,803999	1,213389	0,37147	1,477137	0,524265
40	0,724451	3,247004	1,133526	0,617371	3,215207	0,915345	0,492002	2,020866	0,735462
45	0,461312	2,099468	0,637758	0,523364	2,600919	0,82271	0,487002	2,47578	0,836017
50	0,597063	2,377118	0,970435	0,645695	4,005482	0,989744	0,527834	2,218054	0,76972

Tabela 13 - Resultados da simulação de previsão de ações da Eletropaulo com duas camadas intermediárias na RNA e variáveis de mercado financeiro e climáticas.

Neurônios por camadas	Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento			
	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	
5	5	0,32043	2,21165	0,48064	0,33255	2,47995	0,41537	0,96819	4,94909	1,55631
	10	0,42430	2,94832	0,75237	0,39333	1,71893	0,58049	0,30774	1,27488	0,43646
	15	0,56727	3,90172	0,94290	0,40016	2,31632	0,51463	0,40021	1,56043	0,59003
	20	0,43522	2,46680	0,60582	0,44708	2,18915	0,78085	0,40149	1,76965	0,65917
	25	0,34510	2,03960	0,52738	0,48896	2,78275	0,71570	0,58341	1,90904	1,00170
	30	0,36904	1,97023	0,52398	0,46063	2,35470	1,40674	0,37617	1,56042	0,55418
	35	0,52354	2,39019	0,70603	0,44206	2,23490	0,61809	1,28027	3,80498	2,85137
	40	1,07599	8,38028	2,01900	0,46751	3,06181	0,95525	0,57289	2,69090	0,89554
	45	0,44194	2,43459	0,62807	0,32266	1,68923	0,46172	0,45081	2,13639	0,65565
	50	0,56134	3,72052	0,95194	0,54477	3,03517	0,80336	0,40991	1,76007	0,61310
10	5	0,26363	1,27858	0,38940	0,53246	3,31987	0,91245	0,45826	1,79957	0,69813
	10	0,65158	4,46563	1,03158	0,48966	2,80481	0,63548	0,37001	1,50458	0,52686
	15	0,46617	2,50705	0,82456	0,57700	3,50802	0,98362	0,74074	2,71671	1,34688
	20	0,67369	3,44600	1,02483	0,79918	5,73431	1,56794	0,46289	2,01924	0,66381
	25	0,90893	6,43064	1,44329	0,95466	7,03126	1,80785	0,51761	2,34593	0,79320

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
10	30	0,74740	4,29218	1,18347	0,91300	3,92792	2,37027	0,53496	2,48583	0,83046
	35	0,86777	6,03359	1,50941	0,68834	4,38267	1,27064	0,62741	2,35634	1,00796
	40	0,79575	4,75095	1,12357	0,56460	3,17778	0,75603	0,62185	2,73712	0,94455
	45	1,17723	8,48669	2,45896	0,48763	2,84050	0,69723	0,50610	2,24898	0,81557
	50	1,12897	8,14629	1,93617	0,50453	2,57736	0,70268	0,47773	2,01677	0,66517
15	5	0,53732	2,94063	0,70872	0,67491	4,74901	1,14157	0,54137	2,75265	0,87604
	10	0,80525	5,30252	1,22689	0,59894	3,76250	0,85686	0,37659	1,69207	0,55123
	15	1,27991	7,14621	2,89918	0,62472	4,30404	0,96768	0,49326	2,19512	0,70619
	20	1,19294	8,90406	2,20207	0,92966	7,35636	2,25331	0,75845	3,77012	0,97393
	25	0,55010	3,27502	0,83013	0,57626	3,35907	0,83803	0,51188	2,46774	0,73895
	30	1,02268	6,59482	1,89030	0,91427	6,64629	1,89754	0,76869	3,77891	1,21083
	35	4,08386	4,39031	8,94971	0,75751	4,33500	1,30335	0,53659	2,30830	0,80048
	40	0,88402	5,54455	1,33321	0,78367	4,69556	1,25877	0,64298	2,74574	0,95858
	45	0,64862	3,86737	0,92973	0,50274	2,71198	0,77792	0,67021	3,30042	1,07175
	50	0,95364	6,17762	1,34123	0,81791	4,65639	1,38857	0,67237	2,50491	1,32844
20	5	0,54926	3,23066	0,76896	0,56356	3,45482	0,77739	0,58529	2,69537	0,87745
	10	0,52488	3,08631	0,73208	0,63705	3,46188	0,97371	0,53915	2,36251	0,78244
	15	1,37615	0,33768	2,47135	0,86234	5,56440	1,43631	0,49551	2,12824	0,74287
	20	0,88791	5,94527	1,45825	0,85614	5,41038	1,34395	0,72672	2,61535	1,20302
	25	0,71470	4,67272	1,17358	0,66268	4,21062	1,08307	0,55197	2,46846	0,85414
	30	0,84090	5,15287	1,11068	0,76904	4,29451	1,13266	0,74815	3,87300	1,46523
	35	2,31011	8,22599	5,03340	0,80658	4,83158	1,11062	1,02921	4,79376	1,53119
	40	1,15075	6,13960	1,75547	0,80898	3,98907	1,52261	0,76712	3,23220	1,24401
	45	2,74797	9,42208	4,98422	0,69113	3,96767	1,03581	0,54581	2,38562	0,81863
	50	0,85521	4,87180	1,18770	0,99936	6,64229	1,84100	0,48965	2,13266	0,73218
25	5	0,63493	3,49114	0,93018	0,39442	1,87572	0,61576	0,51797	2,53809	0,78183
	10	0,44985	2,64193	0,65100	0,60216	3,92399	0,94568	0,42096	1,84554	0,59743
	15	0,49111	2,95834	0,67724	0,69227	4,73799	1,29585	0,53138	2,45931	0,75998
	20	0,78307	4,49781	1,12236	0,65351	3,31680	0,95502	0,49335	2,36877	0,74566
	25	1,01296	6,45515	1,51087	0,60600	3,50515	0,97544	0,49728	2,15553	0,72999
	30	0,62330	3,12033	0,96426	0,73164	4,36320	1,33880	0,52559	2,26271	0,83955
	35	0,73923	3,76741	1,26370	0,65873	3,81432	0,93099	0,60953	2,55345	0,94532
	40	0,86770	5,42435	1,39334	0,46896	2,53092	0,71462	0,60588	2,54545	0,90341
	45	3,26533	2,12645	5,38256	1,14481	7,79330	2,05204	0,74271	2,87582	1,18428
	50	1,04093	6,11910	1,96721	0,86131	5,23841	1,40976	0,81106	3,00628	1,69587
30	5	1,78021	4,07181	6,23959	0,75746	5,20199	1,20887	0,50681	2,37004	0,71304
	10	1,10574	7,62318	1,71122	0,48240	2,60654	0,66774	0,54845	2,75002	0,94986
	15	0,49798	2,61151	0,79288	0,58424	3,49560	0,81937	0,70964	3,15776	1,03856
	20	1,08961	8,11087	1,98805	0,52227	3,12986	0,73115	0,78718	3,29544	1,26361
	25	1,17998	8,20545	1,79061	1,06064	8,22719	2,11138	0,88787	3,68859	1,41549
	30	1,17126	8,01840	1,73496	0,71912	4,13620	1,09744	0,60420	2,66928	0,94986
	35	1,45779	0,46055	2,32078	0,72971	4,12985	1,43404	0,63768	2,81766	0,93812
	40	1,79537	2,79143	2,83181	0,76820	4,49195	1,20434	0,67234	3,14178	0,98801
	45	2,49516	0,31657	4,96297	0,69971	3,77661	1,01190	0,72806	3,15180	1,09442
	50	2,27320	5,92131	3,64068	0,90857	5,68561	1,59601	0,65618	2,99532	1,02786
35	5	0,64698	3,96092	0,95764	0,58499	3,16204	0,85685	0,43750	1,85841	0,62720
	10	0,47973	2,89659	0,65274	0,56107	3,59935	0,90886	0,49688	2,03396	0,75794
	15	0,63065	3,81935	0,87963	0,67964	4,19805	0,96597	0,56064	2,70790	0,82197
	20	2,14746	5,23985	3,84657	0,70477	4,08624	1,11517	0,83629	3,68057	1,25724
	25	0,92907	5,90308	1,47028	0,76844	4,81774	1,29576	0,60853	2,26882	0,95068
	30	0,89550	5,28300	1,31784	0,81662	5,04967	1,14702	0,97421	4,27547	1,73086
	35	2,69009	0,70842	6,32288	1,05936	6,50674	1,61165	0,74243	3,40228	1,23077
	40	1,24105	8,50422	2,12408	1,13510	7,17635	1,72442	0,76185	3,37839	1,16869

		Valor Máximo			Valor Mínimo			Fechamento		
35	45	2,24253	6,27013	4,01558	0,64722	4,03672	0,96903	0,59924	2,84760	0,98934
	50	2,34014	7,98641	4,56399	0,84756	4,46903	1,29451	0,72454	3,17966	1,06456
40	5	1,64147	3,23863	3,79167	0,51842	2,41716	0,77629	0,55231	2,39183	0,81241
	10	0,56630	3,39721	0,77885	0,52975	2,97025	0,86444	0,38326	1,73393	0,56128
	15	0,72927	4,13931	1,04999	0,73431	4,63186	1,17187	0,77751	3,56143	1,15243
	20	1,05044	6,40911	1,46973	0,64412	4,08012	1,07745	0,45429	2,00057	0,64431
	25	1,60160	2,57305	3,18753	0,71723	3,83141	1,06322	0,62455	2,40585	1,04814
	30	1,03447	7,11097	1,75613	1,03148	6,64949	1,64031	0,57267	2,70377	0,82963
	35	1,01696	6,02209	1,37706	1,07857	7,57421	2,29501	0,62111	2,72152	0,93114
	40	1,16851	7,77808	1,76093	0,76174	4,27620	1,07209	0,89443	3,93277	1,32669
	45	0,79482	3,93113	1,23594	0,82089	4,97315	1,21149	0,80694	3,55910	1,25828
	50	1,00667	6,16771	1,63619	1,13994	7,15657	2,21307	0,87933	4,13704	1,54528
45	5	0,55790	3,26222	0,80065	0,57547	3,57601	0,85188	0,49590	2,05164	0,71038
	10	1,24700	7,94989	1,90671	0,84280	5,52438	1,37400	0,64672	3,34221	1,07479
	15	0,70183	4,43795	1,03672	0,96574	7,11830	1,92529	0,64645	2,76281	0,98096
	20	0,61199	3,59367	0,90863	0,65676	3,87587	0,91058	0,49505	2,19331	0,68465
	25	0,99672	6,21499	1,47964	0,96468	6,45241	1,56081	0,93808	4,23063	1,38139
	30	0,94982	5,43138	1,58341	0,79377	4,11469	1,25315	0,56782	2,61727	0,91770
	35	0,98247	5,63037	1,46430	0,78461	5,10118	1,19736	0,76673	3,68810	1,21449
	40	0,92541	6,09541	1,38569	0,99258	6,19190	1,82137	0,86452	3,25187	1,56650
	45	1,41007	0,13226	2,26058	1,05874	5,60049	1,46928	0,74573	3,67642	1,25258
	50	1,11358	6,95318	1,62817	0,98151	5,99071	1,57476	0,69981	2,90469	1,08191
50	5	0,55026	3,37750	0,86559	0,59714	3,66139	0,92788	0,54264	2,31877	0,77143
	10	0,82121	5,28881	1,18389	0,50389	3,11055	0,76950	0,51452	2,43540	0,85767
	15	0,91028	5,11835	1,96692	0,66585	3,91384	0,91646	0,62268	2,75852	0,97413
	20	1,12239	7,44875	1,87720	1,02080	7,26670	1,97519	0,62126	2,50398	0,93836
	25	0,97859	5,78373	1,31120	0,99672	6,20255	1,44491	0,61395	2,60206	0,95286
	30	1,30277	7,43521	2,41457	0,67403	4,17353	0,94494	0,88464	4,71449	1,64679
	35	0,87552	4,71251	1,21887	0,91043	5,24326	1,29376	0,73975	2,84189	1,16965
	40	2,04332	4,89108	3,61985	1,15853	7,34250	2,18811	0,72523	3,22540	1,08945
	45	1,01405	5,82728	1,47393	1,07760	6,31813	2,04103	1,05359	5,34385	1,89614
	50	0,96195	6,01845	1,49805	1,33920	9,39607	2,68466	0,73647	2,80738	1,14772

Para melhor visualização dos resultados das simulações da RNA, criou-se a Tabela 14 que compara os erros percentuais (MAPE) obtidos, sendo que os valores em amarelo são os maiores dentre os obtidos e os azuis os menores. Por fim, calcule-se a variação de pontos percentuais para as seguintes saídas: preço máximo, preço mínimo e fechamento.

Primeiramente, observa-se que os resultados apresentados exibem um erro percentual abaixo de 10%, sendo o menor deles 0,13226% para o preço máximo da Eletropaulo, com variáveis climáticas, utilizando duas camadas intermediárias na rede neural e o maior 9,42207% para Eletropaulo, com variáveis climáticas e duas camadas intermediárias. Isto evidencia que as simulações foram bem conduzidas e que, realmente as variáveis analisadas influenciam na previsão dos preços de ações de concessionária de energia elétrica. Além disto, é possível notar que a topologia que apresentou o menor erro, não representou a simulação mais estável, no sentido de menor variação percentual entre o

maior e o menor erro. A mais estável foi o fechamento das ações da CPFL, considerando variáveis de mercado financeiro e climáticas, com apenas uma camada intermediária.

Um ponto que é possível notar, que é divergente entre as ações da CPFL e Eletropaulo é que ao adicionar as variáveis climáticas nas simulações da CPFL a variação percentual do erro diminui e o oposto ocorre com a Eletropaulo, evidenciando que estes parâmetros possam ter uma correlação maior ao analisar as ações da CPFL ao invés da Eletropaulo.

Tabela 14 – Quadro comparativo dos resultados (MAPE) obtidos por meio das simulações.

CPFE3 (variáveis: mercado financeiro)				CPFE3 (variáveis: mercado financeiro)				
Camada Única	Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento	Camadas		Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento
Neurônios	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)	1ª camada	2ª camada	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)
40	6,899482			5	20	9,03008		
30	0,298392			15	10	0,25957		
50		2,8402		40	15		6,24813	
5		0,823934		5	10		0,49342	
30			1,295987	30	50			2,078619
20			0,655096	5	25			0,740517
Δ (p.p.)		6,60	2,02	Δ (p.p.)		8,77	5,75	1,34
CPFE3 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)				CPFE3 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)				
Camada Única	Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento	Camadas		Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento
Neurônios	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)	1ª camada	2ª camada	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)
30	2,530426			25	5	5,34397		
15	0,903447			35	5	1,02734		
45		1,564383		45	40		6,62888	
15		0,750183		5	45		0,83947	
5			1,167791	5	30			1,433453
35			0,534903	5	25			0,43406
Δ (p.p.)		1,63	0,81	Δ (p.p.)		4,32	5,79	1,00
ELPL4 (variáveis: mercado financeiro)				ELPL4 (variáveis: mercado financeiro)				
Camada Única	Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento	Camadas		Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento
Neurônios	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)	1ª camada	2ª camada	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)
5	2,946406			25	45	3,87376		
15	1,476144			15	5	1,33409		
10		2,36935		30	25		6,20917	
40		1,570456		30	5		1,39081	
5			1,801729	45	35			2,19896
25			0,914686	5	25			0,82035
Δ (p.p.)		1,47	0,80	Δ (p.p.)		2,54	4,82	1,38
ELPL4 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)				ELPL4 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)				
Camada Única	Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento	Camadas		Preço Máximo	Preço Mínimo	Fechamento
Neurônios	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)	1ª camada	2ª camada	MAPE (%)	MAPE (%)	MAPE (%)
40	3,247004			20	45	9,42208		
20	1,17606			45	45	0,13226		
35		4,803999		50	50		9,39607	
10		1,964848		5	45		1,68923	
45			2,47578	50	45			5,343852
15			1,427336	5	10			1,274876
Δ (p.p.)		2,07	2,84	Δ (p.p.)		9,29	7,71	4,07

Com objetivo de avaliar os resultados, simularam-se mais 10 vezes as melhores redes neurais, ou seja, dentro das estruturas destacadas acimas, aquelas que apresentaram o menor erro percentual, seja com uma ou duas camadas intermediárias. As Tabelas 15 a 18 expressam os valores do MAPE encontrados para as novas simulações.

Tabela 15 – Resultados das simulações de validação CPFL (apenas variáveis de mercado financeiro).

CPFE3 (variáveis: mercado financeiro)			
Camadas Intermediárias	Nº de Neurônios: Fechamento	Nº de Neurônios: Máximo	Nº de Neurônios: Mínimo
1	20	15	5
2		10	10

CPFE3 (variáveis: mercado financeiro)			
Testes	Fechamento	Máximo	Mínimo
1	0,933261	2,179901	0,944018
2	0,787069	1,658778	0,854374
3	0,873457	1,006082	0,627600
4	0,873457	1,016594	0,874220
5	0,998137	1,150333	0,987759
6	0,746386	1,219132	1,441100
7	0,794733	1,077771	1,207034
8	0,904548	0,898509	0,843919
9	0,855976	1,196605	1,834365
10	0,874148	1,155635	0,802371

Tabela 16 - Resultados das simulações de validação CPFL (variáveis de mercado financeiro e climáticas).

CPFE3 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)			
Camadas Intermediárias	Nº de Neurônios: Fechamento	Nº de Neurônios: Máximo	Nº de Neurônios: Mínimo
1	5	15	15
2	25		

CPFE3 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)			
Testes	Fechamento	Máximo	Mínimo
1	1,095076	1,720457	1,109285
2	1,148003	1,052041	1,496509
3	0,977544	0,882066	1,086232
4	1,266176	1,225618	1,381612
5	0,968130	1,376141	1,056657
6	1,041380	0,968231	1,115818
7	1,112104	1,476048	1,383868
8	1,063449	0,993598	1,461319
9	0,952808	1,009178	1,061486
10	1,176072	1,129460	1,031194

Tabela 17 - Resultados das simulações de validação Eletropaulo (apenas variáveis de mercado financeiro).

ELPL4 (variáveis: mercado financeiro)			
Camadas Intermediárias	Nº de Neurônios: Fechamento	Nº de Neurônios: Máximo	Nº de Neurônios: Mínimo
1	5	15	30
2	25	5	5

ELPL4 (variáveis: mercado financeiro)			
Testes	Fechamento	Máximo	Mínimo
1	1,861064	1,570198	3,007942
2	1,821666	1,678743	1,542312
3	1,845106	1,876804	1,784170
4	1,759137	1,726947	1,688931
5	1,775782	1,690488	1,957018
6	1,877253	2,001237	1,754042
7	1,896237	1,653341	1,793211
8	1,878518	1,884816	1,623016
9	1,846662	1,381796	1,840948
10	1,819131	1,703391	1,659644

Tabela 18 - Resultados das simulações de validação Eletropaulo (variáveis de mercado financeiro e climáticas).

ELPL4 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)			
Camadas Intermediárias	Nº de Neurônios: Fechamento	Nº de Neurônios: Máximo	Nº de Neurônios: Mínimo
1	5	45	5
2	10	45	45

ELPL4 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)			
Testes	Fechamento	Máximo	Mínimo
1	2,742360	1,700509	2,911026
2	2,648264	2,164058	2,618555
3	3,684417	1,836195	3,790202
4	2,478117	2,022021	3,101404
5	3,642507	1,715617	2,536524
6	2,332882	2,019670	2,618672
7	2,167211	2,037996	3,026665
8	2,376332	2,006523	2,624701
9	2,642743	1,933650	3,991384
10	3,633061	2,212944	3,073951

Após a consolidação dos resultados, plotou-se os gráficos das saídas das redes neurais comparando-as com o preço real das ações em seus respectivos dias de máximo, mínimo e fechamento. É possível notar, nas Figuras 15 a 26, que a saída de cada uma das redes acompanhou o preço real das ações em quase todos os dias, com algumas pequenas oscilações nos gráficos da Eletropaulo, Figuras 21 a 26, e oscilações maiores nos gráficos da CPFL, Figuras 15 a 20. As oscilações maiores da CPFL, possivelmente, ocorreram porque em 2011 houve uma queda brusca no preço das ações. Esta queda não gradual pode ter afetado o ajuste dos pesos sinápticos no algoritmo de Levenberg-Marquardt. Como a evolução do preço da ação da Eletropaulo é mais gradual, o algoritmo não sofre com este problema.

Figura 15 – Fechamento CPFE3 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)

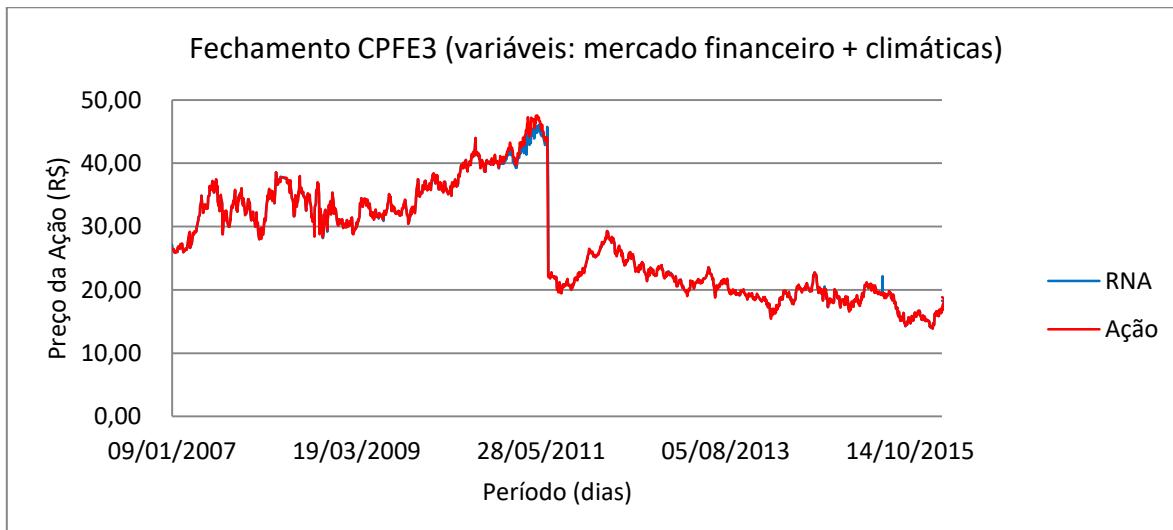


Figura 16 - Fechamento CPFE3 (variáveis: mercado financeiro)

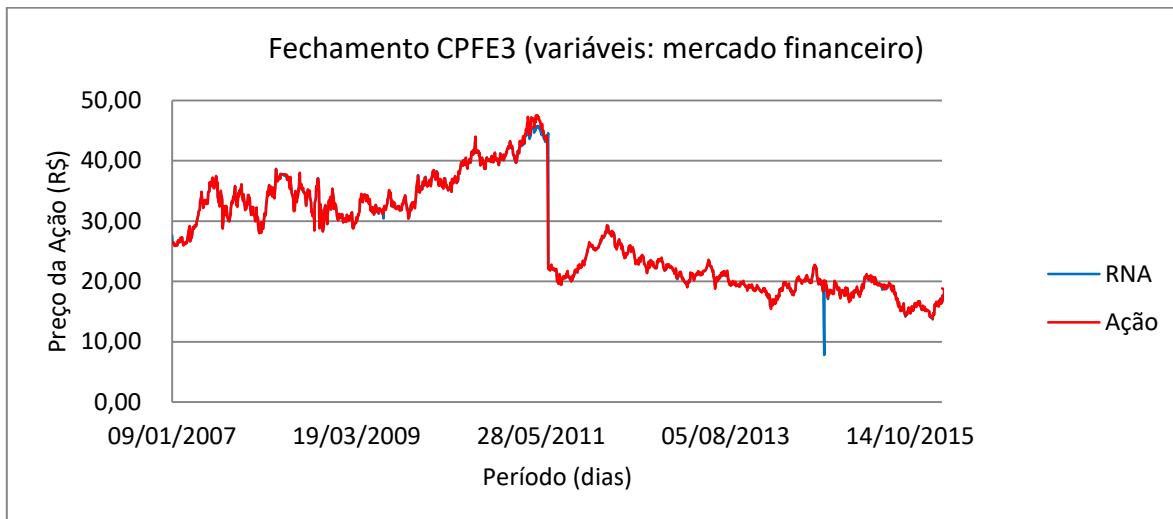


Figura 17 - Mínimo CPFE3 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)

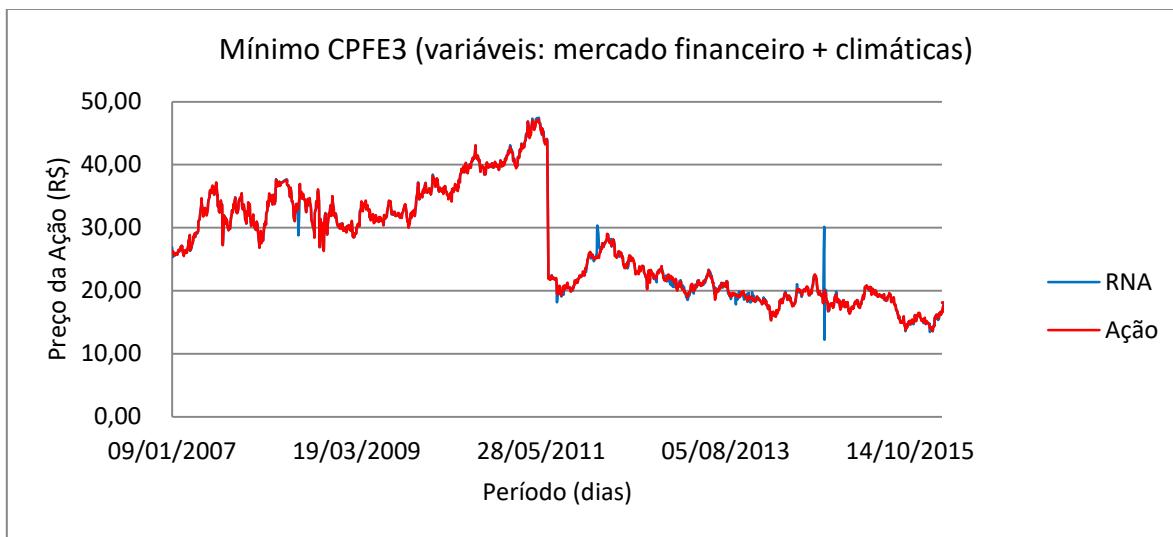


Figura 18 - Mínimo CPFE3 (variáveis: mercado financeiro)

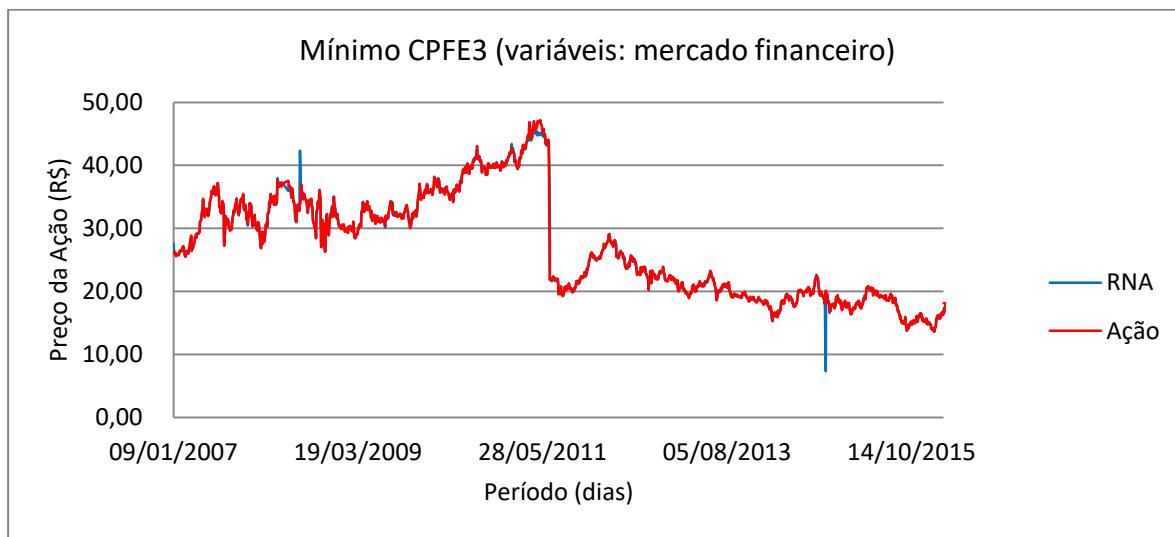


Figura 19 - Máximo CPFE3 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)

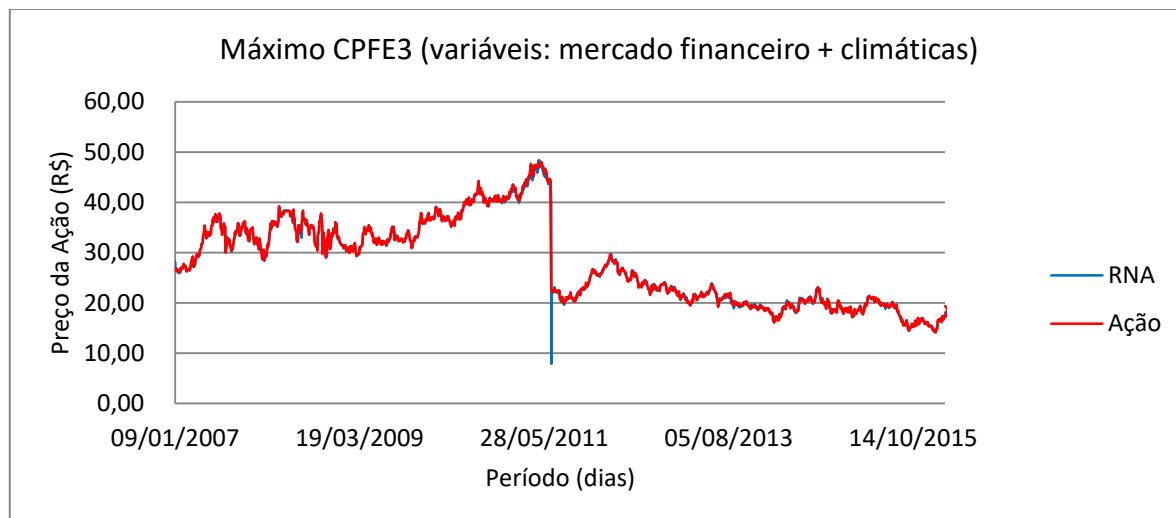


Figura 20 - Máximo CPFE3 (variáveis: mercado financeiro)

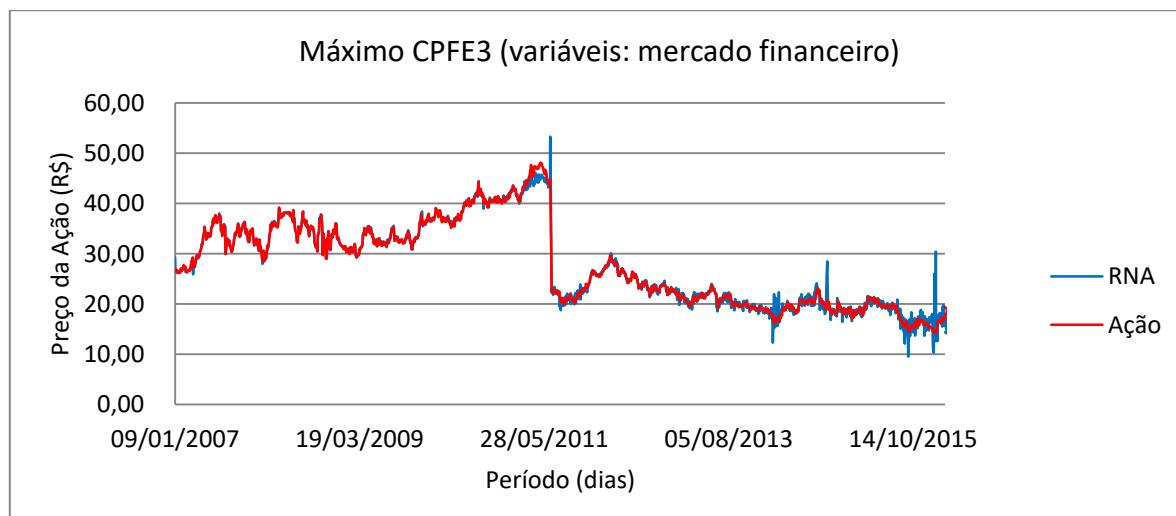


Figura 21- Fechamento ELPL4 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)

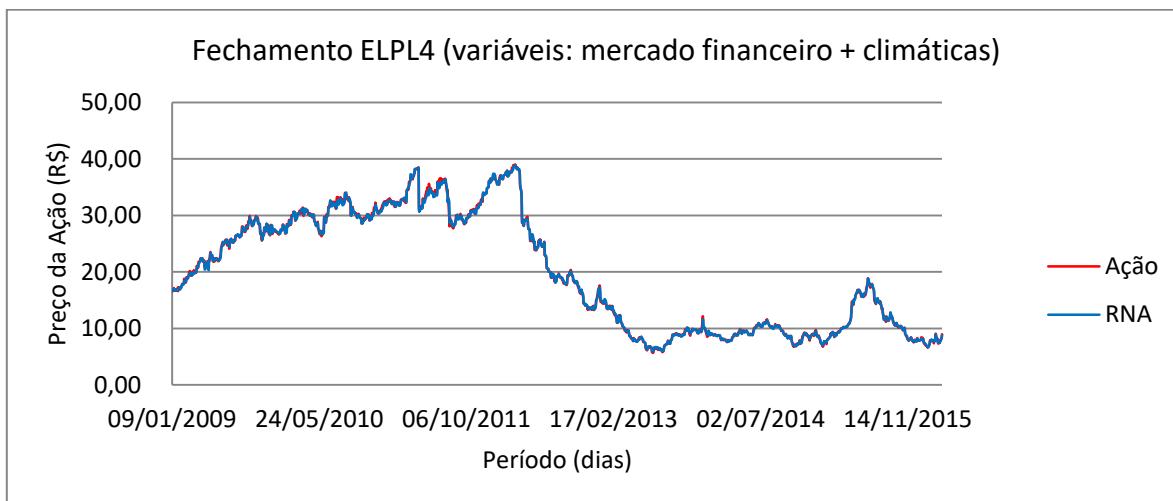


Figura 22 - Fechamento ELPL4 (variáveis: mercado financeiro)

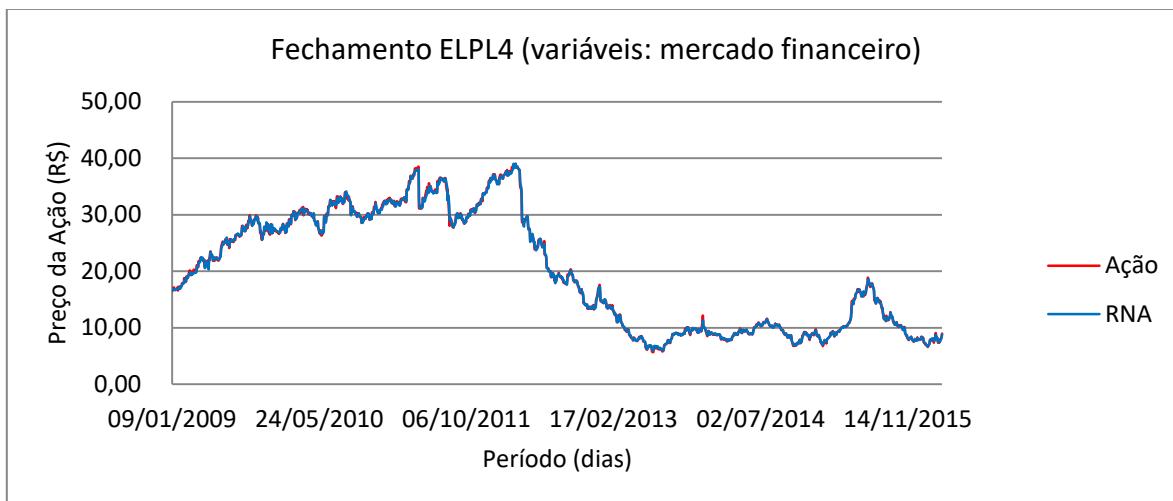


Figura 23 - Mínimo ELPL4 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)

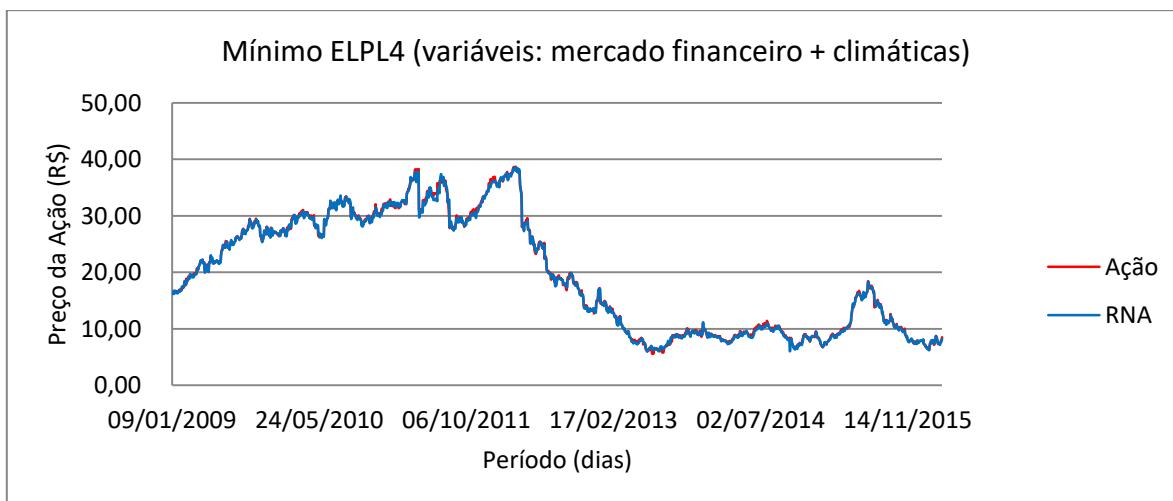


Figura 24 - Mínimo ELPL4 (variáveis: mercado financeiro)

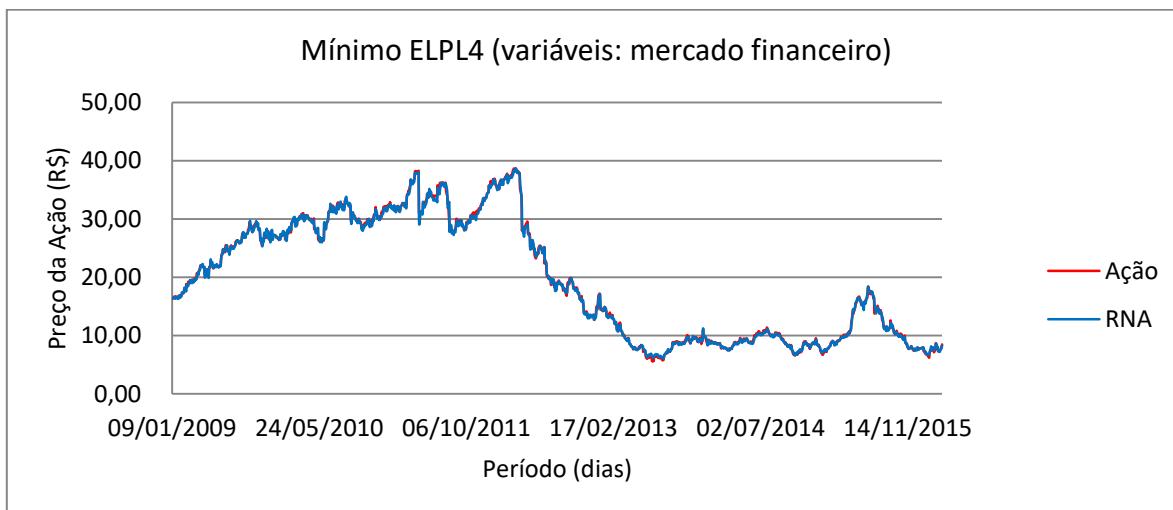


Figura 25 - Máximo ELPL4 (variáveis: mercado financeiro + climáticas)

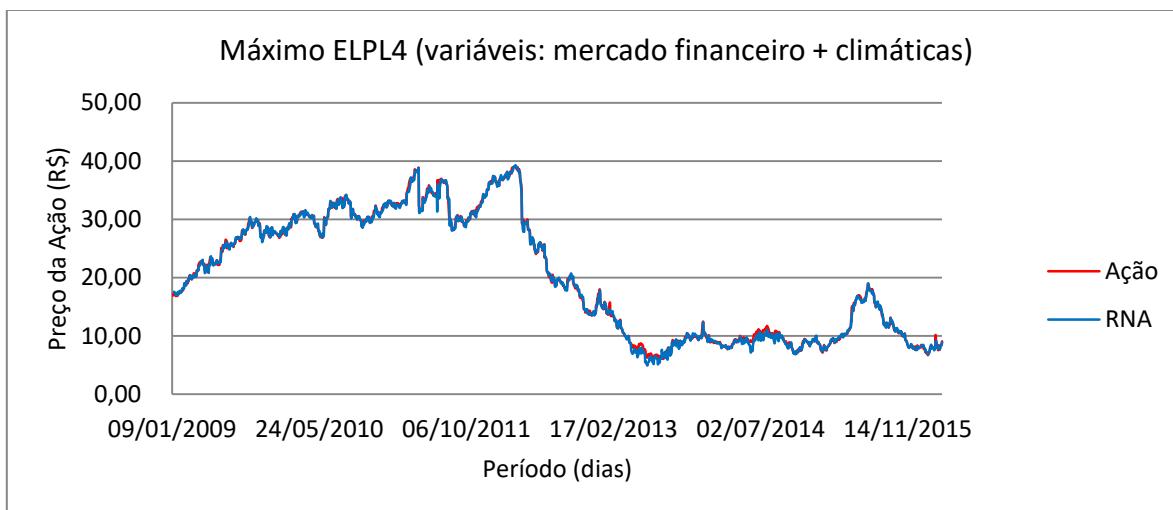
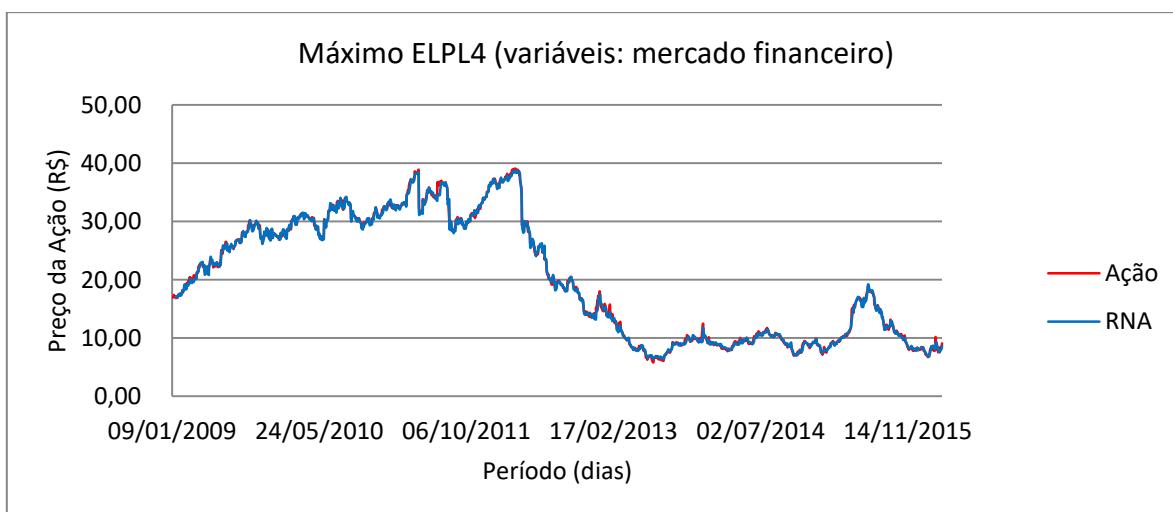


Figura 26 - Máximo ELPL4 (variáveis: mercado financeiro)



A partir dos resultados apresentados, nota-se que nem todas as estruturas conseguiram atingir o mesmo erro percentual da Tabela 14, porém em todas as situações o MAPE se manteve dentro dos valores máximos e mínimos da primeira simulação. Além do mais, nota-se também uma padronização dos resultados, ou seja, após as 10 simulações os valores obtidos foram similares. Isto demonstra que as variáveis simuladas realmente influenciaram na especificação das ações e os resultados obtidos, nas redes neurais, foram consistentes. Igualmente, os gráficos demonstram que as redes neurais conseguiram prever os resultados quase exatos para as ações da Eletropaulo, visto que os gráficos são praticamente iguais e, muito próximos para a CPFL com alguns pontos tendo se destacado fora da curva. É interessante notar, que para ELPL4, cuja ação não teve nenhuma oscilação brusca, o resultado obtido foi melhor, já que a rede neural conseguiu se adaptar melhor à evolução mais gradual do preço. Porém, ao analisar CPFE3, nota-se uma queda brusca do preço entre 2011 e 2012. Esta queda parece ter influenciado nos resultados de previsibilidade da rede neural, uma vez que é possível notar a propagação dos picos em alguns pontos da curva, mostrando que não estacionariedade influencia no comportamento da rede.

Capítulo 5

Conclusão

O objetivo deste trabalho foi estudar o impacto de variáveis econômico-financeiras e climáticas na previsão dos preços de ações de concessionária de energia elétrica, neste caso CPFL e Eletropaulo. Para isto, foi proposto o uso da mineração de dados combinada com ferramentas de sistemas inteligentes, por meio do algoritmo de Levenberg-Marquardt. Logo, foi necessário organizar os dados no formato de séries temporais, para que as ferramentas pudessem processar os dados corretamente.

Durante a seleção dos atributos foi possível observar que as variáveis que mais impactam no preço da ação são seus próprios preços, porém em dias precedentes ao valor analisado. Isso pode ocorrer devido ao peso atribuído pelo filtro *Relief-f*, mas também porque o preço da ação já é composto pelas variáveis financeiras e econômicas selecionadas neste trabalho. Vale ressaltar que alguns valores com demasiada discrepância foram excluídos do banco de dados na fase de pré-processamento dos dados. Isto foi feito para minimizar o impacto destas oscilações na estacionariedade do processo.

Além do mais, ao se adicionar as variáveis climáticas, notou-se que temperatura, umidade, precipitação e ponto de orvalho também influenciam no preço das ações. Isso ficou explícito por meio das simulações do WEKA e depois com as simulações no MATLAB. Vale ressaltar, também, que a aplicação de médias móveis também contribuiu para a filtragem dos dados e possíveis oscilações bruscas nas séries temporais.

As simulações das redes neurais comprovaram que ao se adicionar variáveis climáticas o erro percentual da saída analisada não difere significativamente do erro ao se analisar apenas variáveis econômicas e financeiras, o que mostra que existe correlação entre parâmetros climáticos e o preço de ações de energia elétrica, pelo menos para concessionárias que geram energia por meio de hidrelétricas.

Cabe comentar que o emprego de duas camadas intermediárias nas redes neurais corroborou os resultados obtidos apenas com uma, pois com esta adição foi possível comprovar que as variáveis analisadas realmente impactam na saída destes sistemas inteligentes. Além disso, o teste de consistência e os gráficos dos resultados comprovaram que as estruturas das redes produziram resultados legítimos, indicando que as variáveis climáticas podem ser utilizadas para o estudo de previsibilidade de precificação de ações de concessionárias de energia elétrica.

Portanto, nota-se que o processo de mineração de dados, combinado com ferramentas de sistemas inteligentes, possibilitou a extração de informações relevantes de um grande banco de dados. Neste caso, este banco de dados foi composto por variáveis econômicas, financeiras e climáticas. Além do mais, a seleção de atributos e as simulações das redes neurais, utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt, produziram resultados consistentes no que diz respeito à influência destas variáveis na precificação de ações de concessionárias de energia elétrica. Vale pontuar que para aprofundar este estudo seria interessante excluir os preços das ações do banco de dados e deixar apenas as outras variáveis financeiras para que se possa entender qual a influência delas na saída das redes neurais. Além do mais, é importante analisar outras concessionárias que dependem da geração hidrelétrica e aplicar o mesmo estudo para avaliar o impacto destas mesmas variáveis em outras ações disponíveis no mercado financeiro.

Referências Bibliográficas

- ANEEL. Matriz de Energia Elétrica. **Aneel**, 2017. Disponível em:
[<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm). Acesso em: 12 Agosto 2017.
- BM&FBOVESPA. Ações. **BMFBovespa**, 2016. Disponível em:
[<http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/renda-variavel/acoes.htm>](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/renda-variavel/acoes.htm). Acesso em: 19 Agosto 2017.
- BM&FBOVESPA. BM&FBOVESPA: um futuro sem fronteiras. Relatório Anual 2016. **BMFBovespa**, 2016. Disponível em:
[<http://ri.bmfbovespa.com.br/ptb/3258/RA2016_BMFBOVESPA_PT.PDF>](http://ri.bmfbovespa.com.br/ptb/3258/RA2016_BMFBOVESPA_PT.PDF). Acesso em: 19 Agosto 2017.
- BM&FBOVESPA. Índice Bovespa (Ibovespa). **BMFBovespa**, 2016. Disponível em:
[<http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-amplos/indice-bovespa-ibovespa.htm>](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-amplos/indice-bovespa-ibovespa.htm). Acesso em: 19 Agosto 2017.
- BOX, G.; JENKINS, G.; REINSEL, G. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. 4^a. ed. [S.l.]: Wiley, 2008.
- COTAÇÕES. **BMFBovespa**, 2013. Disponível em:
http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/market-data/cotacoes/. Acesso em: 2013 Outubro 2013.
- COTAÇÕES e boletins. **Banco Central do Brasil**, 2013. Disponível em:
<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp>. Acesso em: 4 Outubro 2013.
- DA S. SOARES, A. **Predição de Séries Temporais Econômicas por Meio de Redes Neurais Artificiais e Transformada Wavelet: Combinando Modelo Técnico e Fundamentalista**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 70. 2008.
- DEMYSTIFYING Artificial Neural Networks, Part 2. **Wordpress**, 2014. Disponível em:
<https://dmm613.wordpress.com/2014/12/16/demystifying-artificial-neural-networks-part-2/>. Acesso em: 13 Agosto 2017.
- F. CARVALHO, L.; V. VIEIRA, F. Taxa de Câmbio e Preço de Ações: Evidências. **Revista de Finanças Aplicadas**, v. 4, p. 48, 2014.
- FORTUNA, E. **Mercado Financeiro. Pordutos e Serviços**. 18^a. ed. [S.l.]: Qualitymark, 2010. FOZ do Iguacu, Brazil. **Weather Underground**, 2016. Disponível em:
<https://www.wunderground.com/weather/br/foz-do-igua%C3%A7u>. Acesso em: 17 Novembro 2016.
- GAMBOGI, J. A. **Aplicação de Redes Neurais na Tomada de Decisão no Mercado de Ações**. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 66. 2013.

GUJARATI, D.; PORTER, D. **Econometria Básica**. 5^a. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2011.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3^a. ed. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2011.

HISTÓRICO das taxas de juros. **Banco Central do Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>>. Acesso em: 11 Abril 2017.

ÍNDICE de Energia Elétrica IEE. **Investing**, 2016. Disponível em: <<https://br.investing.com/indices/electric-power-historical-data>>. Acesso em: 17 Outubro 2016.

KUMAR, V.; STEINBACH, M.; PANG-NING,. **Introdução ao Data Mining - Mineração de Dados**. 1^a. ed. [S.l.]: Ciência Moderna, 2009.

LABOISSIERE, L. **Estimação do Preço de Ações de Concessionárias de Energia Elétrica Brasileiras por Meio de Redes Neurais Artificiais**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 59. 2013.

LEITE, L. **Mineração De Dados Aplicada À Previsão Do Preço de Ações De Concessionárias De Energia Elétrica Do Estado De São Paulo**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 39. 2016.

N. DA SILVA, I.; H. SPATTI, D.; A. FLAUZINO, R. **Redes Neurais Artificiais Para Engenharia E Ciências Aplicadas. Curso Prático**. [S.l.]: Artliber, 2010.

PETRÓLEO Brent Futuros. **Investing**, 2016. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/brent-oil-historical-data>>. Acesso em: Março 2016.

PÓVOA , A. **Valuation. Como Precificar Ações**. 1^a. ed. [S.l.]: Elsevier, 2012.
ROSS, S.; WESTERFIELD, ; JAFFE,. **Corporate Finance**. 10^a. ed. [S.l.]: Irwin/McGraw-Hill, 2012.

S. FERNANDES, R. A. **Identificação de Fontes de Correntes Harmônicas por Redes Neurais Artificiais**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 105. 2009.

SÉRIES Históricas. **IBGE**, 2017. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtml>. Acesso em: 10 Abril 2017.

SPOLAÔR, N. **Seleção de Atributos para Aprendizado Multirrótulo**. Dissertação de Doutorado - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 178. 2014.