

A AGROENERGIA BRASILEIRA E PREVISÕES DA DEMANDA DE BIOENERGIA TERMELÉTRICA DO BAGAÇO DE CANA POR REDE NEURAL ARTIFICIAL ASSOCIADA Á MODELOS TIPO ARIMA

Claudio Luiz Melo de Souza, Claudiomelo.edu@gmail.com

Fábio Freitas da Silva², UCAM-CAMPOS, Phone +22 999336536, E-mail: fabio1_freitas@hotmail.com

Fabício Freitas da Silva², UCAM-CAMPOS, Phone +22 999336536, E-mail: fabricao12_@hotmail.com

Luiz Lúcio de Aragão Pedrosa², UCAM-CAMPOS, Phone +22 999336536, E-mail: lucio.aragao@gmail.com

Álvaro Morais Melo², UCAM-CAMPOS, Phone +22 997480558, E-mail: alvaromorais1@gmail.com

Milton Erthal Junior¹, UCAM-CAMPOS, Phone +22 988144353, E-mail: miltonerthal@hotmail.com

Ítalo de Oliveira Matias¹, UCAM-CAMPOS, Phone +22 999336536, E-mail: italo@ucam-campos.br

João José Rangel¹, UCAM-CAMPOS, Phone +22 999770750, joao.rangel@ucam-campos.br

¹Docentes e ²Discentes da Universidade Candido Mendes, Phone +22 27262400, E-mail: pep@ucam-campos.br

Overview

According to the International Energy Agency, the world population will approach 9 billion by 2040, this will generate a demand for energy 35% higher than the current supply. All initiatives to meet this demand will require innovations and technologies to sustainably transform environmental liabilities into more efficient, competitive and socio-environmentally responsible renewable energy resources. The present article discusses the potential of the use of biomass for the generation of electric energy coming from the Brazilian agriculture and its contributions to the resumption of the economic growth and generation of jobs. An overview of the Brazilian agri-food sector was prepared in 2016, focusing on forest biomass, charcoal, black liquor, sugarcane bagasse, elephant grass biomass, biogas, biomethane and biomass-fueled blast furnace gas. The general objectives proposed were to determine the participation between renewable energies and to evaluate the contribution of biomass in the cogeneration of thermoelectric energy in Brazil, with a primary focus on sugarcane bagasse, providing a critical analysis and contributing to the debate on national energy policies.

Keywords – Auto Regressive Integrated Moving Average, multilayer perceptron, energy polyce

Resumo

Segundo Agência Internacional de Energia, a população mundial se aproximará de 9 bilhões em 2040, isso irá gerar uma demanda por energia 35% superior a oferta atual. Todas as iniciativas para atender a essa demanda exigirão inovações e tecnologias para transformar de modo sustentável os passivos ambientais em recursos energéticos renováveis mais eficientes, competitivos e socioambientalmente responsáveis. O presente artigo discute as potencialidades do uso da biomassa para a geração de energia elétrica oriunda da agricultura brasileira e suas contribuições para a retomada do crescimento econômico e geração de empregos. Elaborou-se um panorama do Setor Agroenergético brasileiro no ano de 2016, enfocando a biomassa florestal, carvão vegetal, licor negro, bagaço de cana, biomassa de capim elefante, biogás, biometano e gás de alto forno movido à biomassa. Os objetivos gerais propostos foram determinar a participação da agroenergia dentre as energias renováveis e avaliar as contribuições da biomassa na cogeração de energia termelétrica no Brasil, com enfoque principal ao bagaço de cana, proporcionando uma análise crítica e contribuindo para o debate sobre as políticas energéticas nacionais.

Palavras-chaves – Auto Regressive Integrated Moving Average, Perceptron multicamada, Política Energética.

1. Introdução

Nas últimas décadas os Painéis Intergovernamentais sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas demonstraram que para reduzir o aquecimento global a produção de energia provinda de fontes fósseis deverá ser substituída por fontes renováveis na busca por sustentabilidade, conforme assume a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015).

No Brasil, a biomassa geradora de energia primária em 2014, que inclui biocombustíveis líquidos, gasosos ou sólidos foi superior à energia gerada nas usinas hidrelétricas brasileiras e deverá continuar a crescer nas próximas décadas, de acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE-2030). Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB, 2016), sustenta a tese de que a energia da biomassa brasileira pode ser explorada de diversas outras formas e fontes, além do etanol, bioetanol, biodiesel, H-BIO, lenha e resíduos de madeira, carvão, resíduos da agricultura e agroindústria, bagaço de cana, capim elefante, sorgo biomassa, briquetes, pellets e biogás de dejetos animais, aterros sanitários ou usinas de microorganismos. Um bom exemplo dessa tese é a biomassa líquida (garapa) da cana que é usada na produção do açúcar e do etanol, bem como a biomassa lignocelulósica (bagaço) usada na produção de bioenergia termelétrica, mais recentemente o bagaço de cana também começou a ser usado na produção de etanol de segunda geração.

A agroenergia brasileira se destaca pela produção de cana-de-açúcar, pois o Brasil além de ser o principal consumidor, produtor e exportador de açúcar e álcool do mundo, possui o menor custo de produção, tornando-o competitivo no mercado internacional. Além disso, o Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira (SAPCANA, 2016), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Informa que o país possui duas distintas regiões produtoras, que tornam a oferta ininterrupta, o Centro-Sul, onde a colheita vai de abril a dezembro do mesmo ano, e a região Norte-Nordeste onde a safra se estende de agosto de um ano até abril do ano seguinte.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), o Brasil possui ampla experiência na utilização do etanol em substituição à gasolina, com mais de 40 anos de programas junto às indústrias sucroalcooleira e automobilística. Porém somente nos anos 90, o sistema de cogeração de bioenergia em usinas termelétricas no setor, cresceu exponencialmente por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA). Desde então, o bagaço da cana tornou-se relevante matéria prima no setor sucroalcooleiro, pois é utilizado para a cogeração de energia em usinas termelétricas do Sistema Interligado Nacional (SIN) que gerou 11,6 GW até o final de junho de 2016, ou seja, 7,4% a mais em relação ao mesmo período de 2015, quando a capacidade registrava 10,8 GW. No primeiro semestre de 2016, a geração cresceu 6,1% e atingiu 1.942 MW médios em relação aos 1.831 MW produzidos no primeiro semestre de 2015 (BIG-ANEEL, 2016).

Este estudo tem como objetivo geral demonstrar a relevância da biomassa brasileira nas mais diversas fontes e formas para a geração de eletricidade, mas dando maior enfoque ao bagaço de cana por meio dos dados oficiais de produção da safra 2015/16 de cana e discute as demandas.

2. Procedimentos metodológicos

A metodologia foi composta por pesquisa exploratória documental a partir da análise Survey com obtenção de informações sobre a agroenergia brasileira e obtenção de séries históricas da oferta de bioenergia do bagaço de cana no sistema elétrico brasileiro até 2015. O levantamento se deu por mineração de dados nas agências de controle estatístico do Ministério das Minas e Energia (MME), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), International Energy Agency (IEA), Centro de Biomassa para Energia (CBE), União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB).

Na análise de previsão foram utilizados os três últimos períodos, das séries temporais testadas com modelos para planejamento estratégico da produção (PEINADO E GRAEML, 2007), que incluem Auto Regressive Integrated Moving Average (média móvel simples; média móvel ponderada e média móvel com suavização exponencial simples). A seleção dos modelos seguiu o princípio da parcimônia e o monitoramento dos erros de previsão conforme Stevenson (2001): adotando-se os menores valores para erros simples, absoluto, desvio médio absoluto e desvio padrão dos erros de previsão; bem como tendência de viés próxima a zero. Todas as programações lineares para ponderações e suavizações dos modelos foram realizadas com a ferramenta Solver do Excel®.

Os modelos selecionados foram associados a uma Rede Neural Artificial (RNA) do tipo Perceptron Multi-Camadas (MLP) com treinamento back-propagation para o ajuste das ponderações dos três últimos períodos a fim de minimizar o erro de previsão (GORUCU, 2004; HAN et al, 2016). Foram padronizadas as fases de treinamento em 90% da série e avaliação em 10%, propostos por Kulkarni; Haidar (2009) e Yu et al.(2010). O processo de aprendizagem da rede foi configurado à 0,7 e parada com erro abaixo de 0,0001. A estrutura da RNA foi

semelhante à proposta por Movagharnejad et al. (2011), composta por 3 neurônios na camada de entrada, 15 neurônios na camada oculta e 1 neurônio na camada de saída.

3. Análise da Demanda por Energia Renovável

A demanda global total de energia atualmente é estimada em 17.934 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), segundo dados obtidos da *International Energy Agency* (IEA, 2014). A demanda por fontes renováveis crescerá na matriz energética mundial apenas 4% até 2040 com base nos dados de 2014 (Tabela 1).

As duas maiores regiões produtoras de energia primária do mundo são os países da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) e a República da China, que juntas participam com 61,5% da oferta, seguidos dos demais países asiáticos e não membros da OECD, que totalizam 20,9% na participação. Deste modo, essas regiões concentram 82,4% da demanda primária de energia global.

Conforme relatórios da IEA (2015) e do Plano Nacional de Energia (PNE-2030) da Empresa de Pesquisa Energética do Brasil (EPE, 2015), a oferta primária de energia em 2014, ainda era muito dependente de combustíveis fósseis, todavia estão previstas variações (Δ s) que indicam menor dependência nas próximas décadas. Estima-se variação de -9,4% no Brasil até 2030 e -7,2% no mundo até 2040 (Tabela 1).

As expectativas mundiais para as próximas décadas não preveem grandes mudanças no consumo de petróleo e derivados (WANG, ZHANG, 2014). O que se percebe por outro lado é um aumento no consumo de energias limpas e renováveis nas próximas décadas, pois existe pressão internacional para a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa, modificando gradualmente as estruturas de tais matrizes de acordo as demandas demográficas e socio-econômicas mundiais (KANKAL, 2011). Acredita-se que o crescimento do consumo de energia será gradualmente desacoplado das emissões de GEE.

A participação do carvão tenderá a um pequeno aumento na matriz brasileira (1,2%) e queda de -5,1% na matriz mundial. O gás natural contribuirá com a fase de transição para maior sustentabilidade dessas matrizes, por isso estima-se aumento de 0,9% do gás natural consumido no mundo e 2,4% no Brasil, a fim de contas é um patrimônio geológico importante para o crescimento econômico. A energia nuclear, que apesar de guardar controvérsias sobre custos operacionais e de segurança, aumentará em 3% no mundo, e no Brasil pode chegar a 2% devido aos novos investimentos no setor, discutidos posteriormente (Tabela 1).

Tabela 1. Análise da demanda de energia não-renovável e renovável no Brasil e no Mundo.

FONTES DE ENERGIA/ANO	Brasil (%)			Mundo (%)			
	2014 ¹	2030 ²	Δ s	2014 ¹	2040 ¹	Δ s	
Não renovável	Petróleo	39,4	30,0	-9,4	33,2	26,0	-7,2
	Carvão mineral	5,8	7,0	1,2	30,1	25,0	-5,1
	Gás natural	13,6	16,0	2,4	23,1	24,0	0,9
	Urânio	1,3	3,0	1,7	4,0	7,0	3,0
	Outras	0,6	-	-	0,5	-	-
Renovável	Energia hidráulica	11,5	13,0	1,5	6,0	3,0	-3,0
	Biomassa	23,9	24,0	0,1	1,1	10,0	8,9
	Outras	4,0	7,0	3,0	2,0	5,0	3,0

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados do IEA, 2015¹ e EPE/PNE-2030²

A participação do carvão tenderá a um pequeno aumento na matriz brasileira (1,2%) e queda de -5,1% na matriz mundial. O gás natural contribuirá com a fase de transição para maior sustentabilidade dessas matrizes, por isso estima-se aumento de 0,9% do gás natural consumido no mundo e 2,4% no Brasil, a fim de contas é um patrimônio geológico importante para o crescimento econômico. A energia nuclear, que apesar de guardar controvérsias sobre custos operacionais e de segurança, aumentará em 3% no mundo, e no Brasil pode chegar a 2% devido aos novos investimentos no setor, discutidos posteriormente (Tabela 1).

4. Fontes de bioenergia no Brasil

A capacidade instalada no Brasil, em 2016, de acordo com o Banco de Informação da Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (BIG-ANEEL, 2016) era composta por 517 usinas termelétricas movidas à biomassa totalizando 13.243.523 kW, distribuídos nos setores agroindustrial (80,33%), florestal e indústria de celulose (19,05%), tratamento de aterros sanitários urbanos e dejetos animais (0,59%) ou termoelétricos movidas à óleos vegetais (0,03) (Tabela 2).

Somente o setor da agroindústria totaliza 410 usinas de cogeração de energia elétrica, a maioria utilizando-se do bagaço de cana do setor sucroalcooleiro. A biomassa do bagaço da cana passou de rejeito à importante ativo

graças aos investimentos do Fundo Setorial de Infraestrutura (PROINFA), financiamentos por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), outras políticas públicas permitiram a implantação e regulamentação das redes de transmissão, distribuição e remuneração da energia excedente (UNICA, 2015). Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), desde 2008 o setor está em crise, pois o número de usinas sucroalcooleiras reduziu 11,0% no Brasil. As usinas termelétricas muitas vezes interrompem seu fornecimento no período de entressafra. Para a maioria delas o bagaço e a palha de cana só estão disponíveis em abundância de maio a novembro, fora esse período as usinas para não ficarem subutilizadas estão usando outros biocombustíveis, como o palhicho, o cavaco e o plantio de capim elefante e/ou sorgo biomassa.

No Brasil existem por enquanto apenas três usinas que utilizam exclusivamente a biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), instaladas nos Estados da Bahia (30.000 kW), Mato Grosso (34000 kW) e Amapá (1700 kW), totalizando 65.700 kW. Também, há 11 usinas de biomassa da palha de arroz, a maioria no Sul do país. Todas juntas geram 39.533 kW, o que representa 0,3% do total da produção energética nacional.

Outras atividades agrícolas podem contribuir com a geração de biomassa direta ou indiretamente. Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB), em seu atlas da biomassa e bioenergia no Brasil, salienta sobre a enorme quantidade de resíduos de biomassa, oriundos das produções agrícolas do país. Ela estima que só em 2015 tenham sido gerados 202,18 milhões de toneladas de resíduos da agricultura, de diversas plantações, da pecuária, da silvicultura, das indústrias de beneficiamento de alimentos e bebidas; das indústrias de papel-celulose e do setor madeireiro-moveleiro (ABIB, 2015).

O setor florestal, representado principalmente pela indústria de papel e celulose, madeireiras e indústrias moveleiras, possui 82 usinas movidas a biomassa, produzindo cerca de 2.523.323 kW, o que corresponde a 19,06% de participação conforme dados da ANEEL (2015). Destas usinas, 49 utilizam restos de madeira, 17 usam o licor negro, 9 gás de alto-forno e 7 carvão vegetal. A biomassa em destaque no setor florestal é o licor negro (1.978.136 kW), a segunda maior participação (14,94%), posição inferior ao bagaço de cana (Tabela 2).

O carvão vegetal usado nas unidades totaliza 51.397 kW, segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o carvão é obtido por pirólise da madeira, a fim de remover a água e componentes voláteis. São necessárias 2,2 t de lenha de eucalipto para a obtenção de 1 t de carvão vegetal. São fatores estratégicos, melhorar a eficiência na pirólise e a qualidade final do carvão, para diminuir o consumo em siderúrgicas e consequentemente diminuir o consumo de florestas energéticas ou nativas. Com relação aos GEE, estima-se que 78 kg de gás metano (CH₄) sejam emitidos para a produção de 1 t de carvão vegetal, considerando-se que 1 Kg de metano corresponde a 21 kg de CO₂ em termos de GEE, (CGEE, 2015).

Tabela 2 – Número de usinas brasileiras produtoras de bioenergia, produção em quilowatts e participação.

SETORES	BIOMASSA	Participação por Biomassa			Participação por Setor		
		Nº	kW	%	Nº	kW	%
Agroindústria	Bagaço de cana	394	10.532.820	79,52	410	10.638.775	80,33
	Capim elefante	3	65.700	0,50			
	Casca de arroz	11	39.533	0,30			
	Biogás	2	1.722	0,01			
Florestal	Carvão vegetal	7	51.397	0,39	82	2.523.323	19,05
	Gás de alto-forno	9	111.865	0,85			
	Ligor negro	17	1.978.136	14,94			
	Resíduos florestais	49	381.925	2,88			
Resíduos	Biogás animal	10	1.924	0,01	22	77.075	0,59
	Biogás urbano	13	75.151	0,57			
Biocombustível	Óleos vegetais	2	4.350	0,03	2	4.350	0,03
Total		517	13.243.523	100	516	13.243.523	100

Fonte: elaborado pelo autor a partir de ANEEL (BIG, 2016)

Foram gerados 111.865 kW de energia a partir do gás de alto-forno (Tabela 2). Em geral, essas centrais elétricas operam com algum tipo de caldeira que utiliza como combustível o gás de alto-forno proveniente da siderúrgica, em paralelo com queimador seco de biomassa, que viabiliza os projetos principalmente nas siderúrgicas dos Estados de Minas e São Paulo, onde são mais usados.

O biogás é produzido em 22 usinas (77.075 kW), a maior contribuição (75.151 kW) é relativa à 12 usinas de resíduos urbanos de aterros sanitários controlados (Tabela 2). As maiores usinas eletricidades movida a biogás de aterro controlado se encontram em Salvador no Estado da Bahia e em Itajaí em Santa Catarina. Finalmente,

registrou-se duas refinarias de óleo bruto de palma e palmiste no estado do Pará, que produzem 4.350 kW para consumo próprio, em dois municípios, Tailândia e Acará.

5. Produção no Setor Sulcraolcooleiro

Em agosto de 2016, esta pesquisa registrou em operação, 407 usinas de açúcar e álcool de acordo com o Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira (SAPCAN, 2016) do MAPA e 356 usinas termoeletricas (UTE) alimentadas com bagaço de cana-de-açúcar no Brasil, de acordo com BIG-ANEEL (Tabela 3). A produção brasileira na safra 2015/2016 atingiu 616,146 mega toneladas de cana, 31,67 mega toneladas de açúcar e 28,33 milhões de metros cúbicos de álcool anidro e hidratado, A capacidade instalada das termoeletricas (UTE) movidas a bagaço de cana foi cerca de 10,500 mega Watts (Tabela 3). O setor movimentou em 2013/2014 cerca de US\$ 107 bilhões (R\$ 234,4 bilhões) na cadeia produtiva. Só com o etanol, as exportações somaram US\$ 1,67 bilhão, ou R\$ 3,6 bilhões. O etanol também tem participação expressiva na geração de postos de trabalho, gerando cerca de 1 milhão de empregos diretos, número que atinge 3,6 milhões se computados também os indiretos e informais.

Tabela 3. Produção de açúcar, álcool e energia do setor sucroalcooleiro do Brasil - safra de 2015/16.

SIGLAS UF REGIÃO	USINAS E PRODUÇÃO - SAFRA 2015/2016 ¹				BIOENERGIA ²	
	Nº	CANA (t)	AÇÚCAR (t)	ÁLCOOL (m³)	Nº UTE	2016 - Kw
BRASIL	4	616.146.446	31.666.226	28.329.112	35	10.507.3
AC	1	86.072	0	4.510	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
AM	1	216.343	12.356	5.804	0	0
PA	1	658.957	21.155	38.202	1	1.250
RO	1	187.475	0	12.674	0	0
RR	0	0	0	0	0	0
TO	1	2.366.228	0	212.821	1	80.000
Norte	5	3.515.075	33.511	274.011	2	81.250
AL	2	8.570.824	674.664	203.896	21	298.062
BA	6	3.816.394	86.805	221.404	1	16.000
CE	1	208.636	0	14.597	0	0
MA	5	2.383.827	12.524	181.579	2	9.400
PB	9	3.668.105	78.283	236.765	3	67.200
PE	1	7.972.202	624.416	225.439	19	296.210
PI	1	967.360	66.911	32.674	1	18.000
RN	3	1.569.805	85.760	57.930	2	61.000
SE	6	1.250.708	48.396	67.621	5	59.700
Nordeste	7	30.407.861	166.240	435.657	54	43.400
DF	0	0	0	0	0	0
GO	3	71.940.019	1.879.793	4.604.033	31	1.320.80
MT	1	17.112.478	337.158	1.262.119	7	160.032
MS	2	42.267.065	1.208.711	2.500.653	20	993.503
C-Oeste	7	131.319.562	3.425.662	8.366.805	58	2.474.33
ES	6	2.572.077	67.499	135.814	3	47.400
MG	4	63.318.979	3.213.440	3.004.177	40	1.218.72
RJ	5	1.884.214	0	104.401	1	44.000
SP	1	344.908.889	20.623.097	13.770.018	18	5.318.33
Sudeste	2	412.684.159	23.904.036	17.014.410	22	6.628.45
PR	3	38.158.873	2.625.258	1.428.212	25	486.620
RS	3	60.916	0	3.769	3	11.070
SC	0	0	0	0	0	0
Sul	3	38.219.789	2.625.258	1.431.981	28	497.690

Fonte: elaborado a partir do Banco de Informação da Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (BIG-ANEEL, 2016).

O setor sucroalcooleiro tem muito a contribuir com a bioenergia do mundo, tanto com o bioetanol com o bagaço da cana. Segundo dados do Boletim do Etanol nº 07 de junho de 2016, gerado pela ANP existem 383 usinas de etanol em operação no Brasil, com capacidade instalada de 187.813 m³/dia de etanol hidratado e 100.178 m³/dia de etanol anidro. A cana-de-açúcar é a matéria prima utilizada em 97,1% das usinas. Os dados deste boletim estão atualizados até o dia 07/06/2016 (ANP, 2016).

Os dados consolidados pela CCEE mostram que, a Região Sudeste contribuiu com cerca de 70% da capacidade de geração instalada, isso pelo fato do Estado de São Paulo ser responsável por 56% da geração nacional. A UNICA e a CCEE lançaram em janeiro de 2015 o Selo Energia Verde, um Programa de Certificação da bioeletricidade gerada nas usinas de cana (CCEE, 2015).

Por meio do Selo Verde são certificados os agentes consumidores, que tenham pelo menos 20% de consumo de bioenergia, dentre outras diretrizes. Do outro lado, as usinas geradoras de bioeletricidade recebem o selo, quando atendam critérios de sustentabilidade e requisitos de eficiência energética, dentre outras diretrizes (UNICA, 2016). A proposta inovadora mascara os problemas do setor.

6. Modelagem da demanda

Finalmente quanto à modelagem da demanda de bagaço de cana no Brasil, os modelos escolhidos foram monitorados pela tendência de viés apresentados na Tabela 4 (piores previsões em negrito), de 2014 a 2016, que foram monitoradas. Por enquanto, a média móvel simples (MS) ou com suavização exponencial (ME) apresentaram amplitudes de erro mais satisfatórias em relação ao ideal de -4 e 4 (PEINADO & GRAEML, 2004). No método Winters (W) a tendência de viés deveriam variar entre os limites ideais de -2 e 2 (STEVENSON, 2011), porém houve pouca aderência aos dados reais.

A média móvel ponderada (MP) apresentou menor viés, indicando que o método é satisfatório, com base nas séries temporais de 2013-2016 e aplicando-se a ponderação obtida por programação linear (Solver, Excel®) com pesos 0,005; 0,045 e 0,95 para os três últimos meses, respectivamente. Por isso, não há os três primeiros dados da tabela, exceto para o método de Winters.

Tabela 4 – Tendência de viés para previsões com média móvel simples, ponderada, exponencial e Wintter.

Mês	Projecção 2013				Projecção 2014				Projecção 2015				Projecção 2016			
	MS	MP	ME	W	MS	MP	MM	W	MS	MP	M	W	MS	MP	M	W
1	-	-	-	-1,10	-	-	-	-1,10	-	-	-	1,00	-	-	-	3,10
2	-	-	-	-2,00	-	-	-	1,36	-	-	-	1,23	-	-	-	2,30
3	-	-	-	-3,01	-	-	-	-1,90	-	-	-	1,42	-	-	-	2,75
4	1,2	-	-	-4,00	1,0	-	-	2,18	-1,00	-1,00	-1,00	0,53	1,0	1,00	1,00	0,60
5	2,1	0,12	0,82	-5,00	2,0	-	0,51	3,07	-1,16	-	-0,74	-1,51	2,0	2,00	2,00	1,10
6	3,0	1,19	4,57	-3,19	3,2	1,41	1,54	-2,63	-0,60	0,50	0,45	0,95	1,8	1,39	4,83	2,40
7	4,0	2,21	2,66	-4,88	4,1	2,73	2,85	4,25	0,9	0,82	4,75	-3,43	2,8	2,56	2,88	3,25
8	2,0	2,73	4,11	-5,66	2,0	3,56	4,75	-4,87	2,4	2,21	2,14	4,14	3,6	2,70	3,61	2,90
9	5,9	4,63	4,94	-3,58	2,7	2,50	4,20	-4,95	4,4	2,56	2,87	-3,20	2,0	3,33	4,47	0,40
10	3,2	1,78	2,38	-4,40	4,5	2,64	4,39	-3,53	4,2	3,08	4,43	4,78	5,7	4,75	5,72	4,22
11	2,8	1,53	4,14	-4,30	2,9	3,03	4,58	-3,11	2,1	3,50	4,35	3,19	3,9	2,08	6,63	3,70
12	0,7	-0,41	-0,08	-2,00	3,1	0,99	1,78	-1,19	4,0	3,55	4,35	-2,47	1,4	0,40	1,45	1,00

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados do EPE (2015)

As Redes Neurais Artificiais (RNA) compõem um grupo de técnicas computacionais que por modelos não lineares, diferente das clássicas técnicas de análise de demanda por Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) tenta simular a maneira de aprendizagem de um cérebro humano por meio da ponderação experimental, similar ao aprendizado (LAW, 2000). Segundo Gordazi et al. (2014) as redes neurais artificiais recebem as informações provindas de uma fonte externa, combinam-as com operações não lineares e produzem um resultado com base no conhecimento assimilado, muito semelhante ao neurônio biológico.

Sua simplicidade de uso e interpretação tem permitido infinitas aplicações em vários setores que necessitam de predições, tais como produção de eletricidade; demanda de energia, considerando variáveis macroeconômicas; consumo de energias verdes no mundo; dependência energética; consumo de óleo e gás natural, o preço da eletricidade e programação genética para prever o PIB (GORUCU, 200; KHASHEI; BIJARI, 2010; SUGANTHI E SAMUEL, 2012, MARJANOVIĆ et al., 2016).

A RNA utilizada foi do tipo Multilayer Perceptron (MLP), que é uma das principais arquiteturas comumente utilizadas em aplicações de engenharia, com a técnica de treinamento back-propagation para realizar a previsão. Por convenção, o conjunto de treinamento foi dividido em 80% e o conjunto de teste em 20% em acordo com Kulkarni e Haidar (2009) e Yuet al. (2010). Os parâmetros de configuração da rede foram os seguintes: taxa de aprendizado de 0,7 e condição de parada quando o erro desejado atingir valor de 0,0001 ou realizar 500.000 interações. O nível de precisão da predição na RNA ainda esta sendo estruturado de acordo com a Figura 1 e com base nos dados da tabela 4. As modelagens obtidas serão apresentadas futuramente quando estabilizadas as previsões segundo experimento fatorial da principais possíveis modelagens, os quais jugamos oportuno agora apresentar somente após testá-los, ainda que sejam promissores.

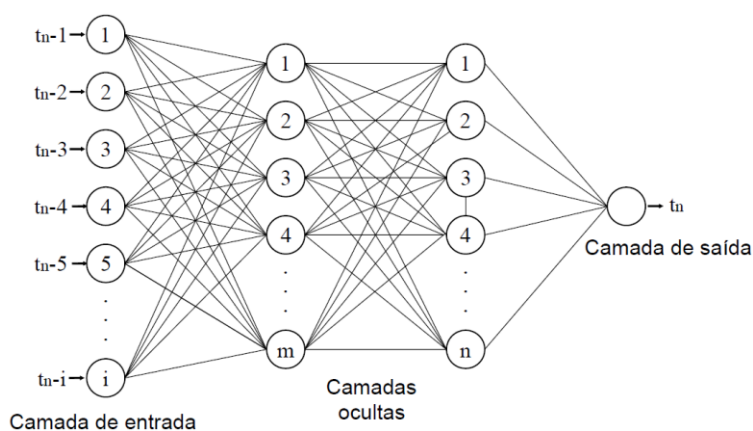


Figura 1 – Estrutura experimental da ANN em teste.

7. Considerações Finais

A utilização de floretas energéticas, resíduos agrícolas e culturas energéticas são importantes fontes para a geração de energia com enorme potencial de expansão nas próximas décadas, tanto nos mercados internacionais quanto no interno. Trata-se de uma importante alternativa para a diversificação da matriz energética brasileira frente aos combustíveis fósseis. Há enorme potencial de expansão no uso de bioenergia nas próximas décadas, tanto nos mercados internacionais quanto no interno. Trata-se de uma importante alternativa para a diversificação da matriz energética brasileira frente aos combustíveis fósseis.

As florestas energéticas podem produzir lenha, carvão vegetal e licor negro para produção de energia, evitando o desmatamento de reservas naturais, inclusive, podem ser convertidas em créditos de carbono como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os resíduos florestais apresentam enorme potencial de aproveitamento na geração de energia termelétrica e outras renováveis, como no caso de briquetes e pellets, muitas vezes chamados de lenha artificial.

Considera-se, ainda, nos cultivos para fins energéticos (plantas lenhosas, sacarinas, oleaginosas e amiláceas) a necessidade de grandes áreas que exploram recursos do solo e água, formam monoculturas e concorrem com a produção de alimentos. Neste caso, novas tecnologias podem melhora a produtividade e o aproveitamento dos resíduos de plantio, reduzindo a necessidade de novas áreas.

Salienta-se que os cultivos para fins energéticos necessitam de grandes áreas que exploram recursos do solo e água, formam monoculturas e concorrem com a produção de alimentos. Neste caso, novas tecnologias podem melhorar a produtividade e o aproveitamento dos resíduos de plantio, reduzindo a necessidade de novas áreas. Cabe ressaltar que, a cadeia produtiva da biomassa e sua transformação, apresenta enorme potencial de geração de

empregos diretos e indiretos, embora a maioria dos postos de trabalho seja desqualificada e de baixa remuneração no setor sucroalcooleiro.

Por isso, do ponto de vista social, a biomassa tem enorme potencial de geração de empregos diretos e indiretos, embora a maioria dos postos de trabalho seja desqualificada e de baixa remuneração. Nesse sentido, são necessárias políticas de fortalecimento dos setores e regiões agrícolas, melhorando a qualidade de vida da população rural, promovendo a inclusão social, valorizando a cultura rural, reduzindo as desigualdades e aumentando as oportunidades para o homem do campo, promovendo cogeração de atividades e fortalecendo as cadeias produtivas da economia rural, fatos que reduzem o êxodo rural. Essas políticas refletem em maior consumo nas cidades e no comércio local, melhorando a arrecadação para reinvestimentos.

Concluindo sobre a modelagem, a média móvel simples ou com suavização exponencial apresentaram amplitudes de erro mais satisfatórias em diversos momentos da série histórica. Espera-se que a associação dos modelos tradicionais com a rede neural artificial melhore as previsões como vem ocorrendo em estudos anteriores.

8. Referências

ABIB (2016), Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB). *Atlas Brasileiro da Biomassa Florestal e Industrial de 2015*. Curitiba 2015 Disponível em: <<http://abibbrasil.wix.com/brasilbiomassa>> Acesso em: 22 mai. 2016.

ANEEL (2016), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ministério de Minas e Energia. *Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET)*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>> Acesso em: 02 jun. 2016.

ANP (2016). Boletim do Etanol nº 7 de junho de 2016. Coordenação Geral de Açúcar e Agroenergia. Agência Nacional do Petróleo, gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Disponível em: <<Http://www.anp.gov.br/?pg=81188&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1472408266698>> Acesso em: 28 jun. 2016.

BEM (2015), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Ministério de Minas e Energia. *Balanco Energético Nacional (BEN-2015)*. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta>> Acesso em: 29 jun. 2016.

BIG-ANEEL (2015), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ministério de Minas e Energia. *Banco de Informações de Geração (BIG-2015)*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 04 jun. 2016.

BIG-ANEEL (2016), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 04 jun. 2016.

CCEE (2015). Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Promove em 2016 leilões de energia sob delegação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEEL). Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico> Acesso em: 02 fev. 2016.

CCEE (2016). Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. *Promove em 2016 leilões de energia sob delegação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEEL)*. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico> Acesso em: 02 des. 2016.

CGEE (2016), Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia – Brasília: 2015*. Disponível em: <https://www.cgEE.org.br/documents/10182/734063/Carvao_Vegetal_WEB_02102015_10225.PDF> Acesso em: 22 dez. 2015.

EPE (2016). “Perspectivas para o etanol no Brasil” Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20080924_1.pdf> Acesso em: 22 jun. 2016.

GESEL (2016). Grupo de Estudos do Setor Elétrico do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Publicações*. Disponível em: <<http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications>> Acesso em: 29 jun. 2016.

- GORUCU, F. B.(2004). Artificial neural network modeling for forecasting gas consumption. **Energy Sources**, v. 26, n. 3, p. 299-307, 2004.
- HAN, Y; GENG, Z; ZHU, (2016). Energy optimization and prediction of complex petrochemical industries using an improved artificial neural network approach integrating data envelopment analysis. **Energy Conversion and Management**, v. 124, p. 73-83, 2016.
- IEA (2015). International Energy Agency. *Key World Energy Statistics 2015* Disponível em:<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>. Acesso em: 02 dez. 2015.
- KANKAL, M et al. (2011) Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. **Applied Energy**, v. 88, n. 5, p. 1927-1939, 2011.
- KULKARNI, S; HAIDAR, I. (2009) Forecasting model for crude oil price using artificial neural networks and commodity futures prices. **arXiv preprint arXiv:0906.4838**, 2009.
- LAW, Rob. Back-propagation learning in improving the accuracy of neural network-based tourism demand forecasting. **Tourism Management**, v. 21, n. 4, p. 331-340, 2000.
- MAPA (2016). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. SAPCANA - Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/acompanhamento%20producao%20sucroalcooleira/safra2015_2016/16-12-2015_S15-16.pdf> Acesso em: 27 de julho de 2016.
- MARJANOVIĆ, V; MILOVANČEVIĆ, M; MLADENOVIĆ, I. (2016) Prediction of GDP growth rate based on carbon dioxide (CO₂) emissions. **Journal of CO₂ Utilization**, v. 16, p. 212-217, 2016.
- PEINADO, J; GRAEML, A.R. (2007). *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: Unicenp, 2007. 750 p.
- PEN-2030 (2016), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia (PNE-2030)*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>> Acesso em: 19 jan. 2016.
- SAPCANA (2016) - Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/acompanhamento%20producao%20sucroalcooleira/safra2015_2016/16-12-2015_S15-16.pdf> Acesso em 18 de jun. de 2016.
- STEVENSON, Willian J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, 2001.
- ÚNICA (2016), União da Indústria de Cana-de-Açúcar. *Bioeletricidade e o Futuro*. Disponível em: <[http://www.unica.com.br/linha do tempo](http://www.unica.com.br/linha%20do%20tempo)>. Acesso em 27 agos. 2016.
- UNICA (2016). União da Indústria da Cana-de-Açúcar de São Paulo. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/projetos-e-iniciativas/>> Acesso em: 28 Jul. 2016.
- WANG, X; ZHANG, C. (2014) The impacts of global oil prices shock on China' s fundamental industries. **Energy Policy**, v. 68, p. 394-402, 2014.
- YU, Lean et al. (2010). A multiscale neural network learning paradigm for financial crisis forecasting. **Neurocomputing**, v. 73, n. 4, p. 716-725, 2010.