

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

MONCLAR NOGUEIRA CHRISTOVÃO

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO FATURAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE
UMA EMPRESA DE AVICULTURA DE POSTURA NA TARIFA VERDE DE
ACORDO COM INDICADORES DE CONSUMO**

TUPÃ - SP

2020

MONCLAR NOGUEIRA CHRISTOVÃO

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO FATURAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE
UMA EMPRESA DE AVICULTURA DE POSTURA NA TARIFA VERDE DE
ACORDO COM INDICADORES DE CONSUMO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento.

Linha de pesquisa: Competitividade de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Camila Pires Cremasco Gabriel.

Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Bonini Neto.

TUPÃ - SP

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

Christovão, Monclar Nogueira

Modelagem matemática do faturamento de energia elétrica de uma empresa de avicultura de postura na tarifa verde de acordo com indicadores de consumo / Monclar Nogueira

Christovão – Tupã: [s.n.], 2020.

107 f. : il.

C556m

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências e Engenharia, 2020.

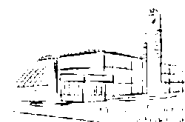
Orientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientadora: Camila Pires: Cremasco Gabriel

Coorientador: Alfredo Bonini Neto.

1. Conta de Energia Elétrica. 2. Fator de Potência. 3. Software Simulador da Conta de Energia Elétrica. 4. Fator de Carga. I. Título. II. Autor.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202.

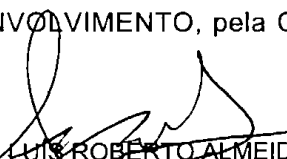


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

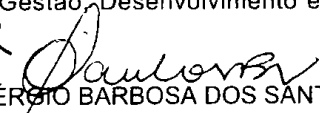
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MODELAGEM MATEMÁTICA DO FATURAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA EMPRESA DE AVICULTURA DE POSTURA NA TARIFA VERDE DE ACORDO COM INDICADORES DE CONSUMO

AUTOR: MONCLAR NOGUEIRA CHRISTOVÃO
ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
COORDINADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL
COORDINADOR: ALFREDO BONINI NETO

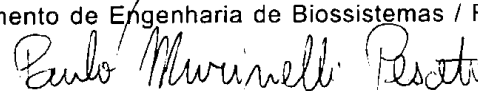
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONEGÓCIO E DESENVOLVIMENTO, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

~~Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP~~


Prof. Dr. PAULO SÉRGIO BARBOSA DOS SANTOS

Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP


Prof. Dr. PAULO MURINELLI PESOTI

Instituto Federal de São Paulo - IFSP - Câmpus Avançado de Tupã - Tupã/SP

Tupã, 19 de fevereiro de 2020

Dedico à minha amada esposa Ana, por seu apoio incondicional durante toda a trajetória que levou à tão sonhada conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e saúde, a Jesus pela salvação e ao Espírito Santo por estar sempre comigo e, assim, concretizar esse objetivo.

Agradeço ao Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho por sua dedicação e empenho durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Camila Pires Cremasco Gabriel por sua paciência e cuidado, sempre disposta a ajudar e contribuir.

Agradeço ao meu grande amigo Jhonatan que sempre me ajudou nesta trajetória.

A UNESP Campus de Tupã por propiciar o ambiente e as condições necessárias à minha aprendizagem e ao meu desenvolvimento acadêmico.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento pelo compartilhamento de seus conhecimentos acadêmicos e profissionais.

Aos colaboradores da UNESP Campus de Tupã pela presteza, colaboração e apoio.

CHRISTOVÃO, Monclar Nogueira. **Modelagem matemática do faturamento de energia elétrica de uma empresa de avicultura de postura na tarifa verde de acordo com indicadores de consumo**. 2020. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2020.

RESUMO

O consumo crescente por energia elétrica, o seu alto custo e as restrições ambientais tornaram imprescindíveis a utilização eficiente desta energia, bem como a execução de ações e programas que promovam economia de eletricidade. Diversas empresas agroindustriais no Brasil produzem a própria ração para alimentação de seus animais por meio da trituração de grãos e cereais, empregando maquinários movidos a motores elétricos muitas vezes sobredimensionados e operando em horários nos quais as tarifas são onerosas (horário de ponta). Essa atividade é responsável por grande parte do consumo de eletricidade e impacta diretamente os custos de produção. Nesta pesquisa, desenvolveu-se um modelo matemático de faturamento de energia elétrica para uma empresa de avicultura de postura optante pela modalidade tarifária verde. Esse modelo trabalha com equações matemáticas contendo variáveis elétricas necessárias ao cálculo da conta de eletricidade. Os principais parâmetros elétricos são os fatores de potência e de carga, a demanda de potência e o consumo de energia. Atualmente no Brasil, para os consumidores do Grupo A, existem duas modalidades tarifárias disponíveis: a horária verde e a horária azul. O modelo matemático proposto pode ser empregado para as duas modalidades, sendo que cada uma delas possui as suas fórmulas específicas, as quais deverão ser inseridas no *software* Mathematica criado pela empresa Wolfram Research. A direção da granja cedeu 12 contas de energia elétrica e seus dados foram inseridos no *software* que plotou gráficos de superfície tridimensional e mapas de contorno. Observou-se pelos gráficos o vínculo inversamente proporcional dos valores das faturas com os índices dos fatores de carga e potência. Propostas foram feitas para elevar os montantes desses índices com a finalidade de reduzir o valor da fatura, sem diminuir o consumo de energia e, conseqüentemente, a produção da empresa. Concluiu-se, por meio de simulações, que a modalidade tarifária horária verde contratada pela empresa foi acertada. Também sugeriu-se a redução da demanda contratada de 360 kW para 313 kW com o intuito de diminuir a multa por demanda complementar. A pesquisa proposta é uma ferramenta que as empresas do agronegócio poderão utilizar nas escolhas referentes à modalidade tarifária e demanda contratada, permitindo aos gestores avaliar a sua operação, buscar alternativas e evitar possíveis multas, tendo como meta a otimização energética da corporação.

Palavras-chave: Conta de energia elétrica. Fator de potência. *Software* simulador da conta de energia elétrica. Fator de carga.

CHRISTOVÃO, Monclar Nogueira. **Mathematical modeling of a laying poultry farm's electric bill in the green fee modality according to the consumption indicators**. 2020. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – São Paulo State University (UNESP), School of Sciences and Engineering. Tupã, 2020.

ABSTRACT

The increasing consumption of electricity, the high costs and the environmental restrictions made it paramount the efficient use of such energy, as well as actions and programs to promote energy conservation. Several agro-industrial companies in Brazil produce their own animal feed by mashing cereals and grains with the use of electric-motor machines, which are many times oversized and operate at expensive fee times (peak time). This activity is responsible for great part of the electricity consumption and directly impacts the production costs. This study developed a mathematical model of electricity billing for a laying poultry farm that opted for the green fee modality. This model uses mathematical equations containing the electric variables required for the calculation of the electric bill. The main electrical parameters are: the power and the load factors, the power demand, and the active consumption. Currently in Brazil, there are two fee modalities for Group A consumers: the green and the blue hourly fees. The proposed mathematical model can be used for both modalities, and there are specific equations for each of them, which should be entered into the software Mathematica developed by Wolfram Research. The manager of the poultry farm provided 12 electric bills, and their data was entered into the software that created three-dimensional surface graphs and contour maps. Such graphs showed the inversely proportional relation of the bill amounts with the power and load factor indicators. Proposals were made to increase the amounts of these indicators in order to reduce the bill amount, without reducing the electricity consumption and, consequently, the company's production. We concluded, by simulations, that the green hourly fee modality contracted by the company was the correct one. We also suggested the reduction of the contracted demand from 360 kW to 313 kW in order to reduce the supplemental demand fines. The proposed study is a tool agribusiness companies may use when choosing the fee modality and the contracted demand, enabling managers to assess the company's operation, seek alternatives and avoid potential fines, with the purpose of optimizing the company's energy consumption.

Keywords: Electric bill. Power factor. Electric bill simulation software. Load factor.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ARSESP: Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo.
- AT: Alta Tensão.
- BT: Baixa Tensão.
- C: Consumo de Energia Elétrica Ativa.
- CIP: Contribuição de Iluminação Pública.
- COFINS: Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social.
- $\cos \text{ arc tg}$: Cosseno do Ângulo da Tangente.
- $\cos \varphi$: Cosseno do Ângulo “ φ ”.
- CRTP: Ciclo de Revisões Tarifárias Periódicas.
- DA: Demanda de Potência Ativa.
- DAc: Demanda de Potência Ativa Contratada.
- DAf: Demanda de Potência Ativa Faturável.
- DAm: Demanda de Potência Ativa Medida.
- DAm_T: Demanda de Potência Ativa Medida no Intervalo de Integralização de uma hora “T”.
- EDEVP: Empresa de Distribuição de Energia Vale do Paranapanema S.A.
- EEAm: Energia Elétrica Ativa Medida.
- EEAm_T: Energia Elétrica Ativa Medida no Intervalo de Integralização de uma hora “T”.
- EERm: Energia Elétrica Reativa Medida.
- E_{RE}: Energia Reativa Excedente.
- ERSE: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
- ESS: Energisa Sul Sudeste - Distribuidora de Energia S.A.
- FC: Fator de Carga.
- FP: Fator de Potência.
- FP_m: Fator de Potência Médio.
- FP_R: Fator de Potência de Referência.
- FP_T: Fator de Potência no Intervalo de Integralização de uma hora “T”.
- h: Horas.

- I: Corrente Elétrica.
- ICMS: Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços.
- kV: quilovolt.
- kVA: quilovolt-ampere.
- kVAr: quilovolt-ampere-reativo.
- kVArh: quilovolt-ampere-reativo-hora.
- kW: quilowatt.
- kWh: quilowatt-hora.
- MT: Média Tensão.
- ONS: Operador Nacional do Sistema.
- P: Potência Ativa.
- PIS: Programa de Integração Social.
- pt: Tipo de Posto Tarifário (Ponta ou Fora de Ponta) para as Modalidades Tarifárias Horárias.
- Q: Potência Reativa.
- S: Potência Aparente.
- t: Intervalo de Tempo em Horas.
- Tbt: Tarifa referente à Bandeira Tarifária.
- TC: Tarifa de Consumo de Energia Elétrica Ativa.
- TCm: Tarifa de Consumo Médio de Energia Elétrica Ativa.
- TD: Tarifa de Demanda de Potência.
- TDm: Tarifa Média de Demanda de Potência.
- TEc: Tarifa de Energia referente ao Consumo Ativo.
- TE_d: Tarifa de Energia referente à Demanda Ativa.
- TFIP: Tarifa de Fornecimento para Iluminação Pública.
- UC: Unidade Consumidora.
- UHE: Usina Hidroelétrica.
- UTE: Usina Termoelétrica.
- V: Tensão Elétrica.
- VArh: volt-ampere-reativo-hora.
- Vbt: Valor correspondente à Bandeira Tarifária.
- VD: Valor referente à cobrança da Demanda de Potência Ativa.

- VDC: Valor referente à cobrança da Demanda de Potência Ativa Complementar.
- VD_{RE} : Valor referente à cobrança pelo Excesso de Demanda de Potência Reativa.
- $VD_{ultrapassagem}$: Valor referente à cobrança pela Ultrapassagem da Demanda de Potência Ativa.
- VEEA: Valor referente ao Consumo da Energia Elétrica Ativa.
- VE_{RE} : Valor referente à cobrança pelo Excesso de Consumo de Energia Elétrica Reativa.
- VRD_{RE} : Valor de Referência correspondente às tarifas de Demanda de Potência para o Posto Tarifário Fora de Ponta das Tarifas de Alimentação Cabíveis aos subgrupos do Grupo A, para a Modalidade Tarifária Horária Azul.
- VRD_{ULT} : Valor de Referência equivalente às tarifas de Demanda de Potência aplicáveis aos subgrupos do Grupo A.
- VR_{RE} : Valor de Referência pelo Excesso de consumo de Energia Elétrica Reativa.
- φ : Ângulo em Graus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação do consumo de energia ao longo do dia e da semana	19
Figura 2 - Objetivo Geral	20
Figura 3 - Triângulo das potências.....	24
Figura 4 - Defasagem entre as senoides da tensão e corrente.....	24
Figura 5 - Suprimento de energia reativa pelo capacitor	28
Figura 6 - Defasagem entre as senoides da tensão e corrente.....	29
Figura 7 - Unidade capacitiva trifásica	29
Figura 8 - Banco de capacitor trifásico	30
Figura 9 - Correção do FP ao lado da carga	31
Figura 10 - Correção do FP na BT	31
Figura 11 - Correção do FP por setor.....	32
Figura 12 - Correção do FP na AT	32
Figura 13 - Correção automática do FP	33
Figura 14 - Variação do consumo de energia ao longo do dia	34
Figura 15 - Diferença entre demanda medida e demanda registrada	53
Figura 16 - Intervalo do horário de ponta adotado pela ESS.....	55
Figura 17 - Fator de Potência capacitivo avaliado pelo medidor de energia	60
Figura 18 - Fator de Potência indutivo avaliado pelo medidor de energia.....	60
Figura 19 - Curva de potência reativa	61
Figura 20 - Postos Tarifários existentes	66
Figura 21 - Modalidades Tarifárias disponíveis no Brasil	66
Figura 22 - Superfície gráfica do hiperboloide contendo o índice de faturamento.....	76
Figura 23 - Mapa de contorno do hiperboloide contendo o índice de faturamento....	76
Figura 24 - Superfície gráfica do hiperboloide contendo o índice de faturamento.....	78
Figura 25 - Mapa de contorno do hiperboloide contendo o índice de faturamento....	79
Figura 26 - Superfície gráfica do hiperboloide contendo o valor de faturamento	83
Figura 27 - Mapa de contorno do hiperboloide contendo o índice de faturamento....	84
Figura 28 - Mapa de contorno contendo os 12 pontos de faturamento	85
Figura 29 - Mapa de contorno contendo os 11 pontos próximos de faturamento.....	87
Figura 30 - Comparação entre as Faturas Real e Otimizada	89
Figura 31 - Comparação entre as Faturas Real e Onerada	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modalidades e tarifas aplicadas aos subgrupos do Grupo A.	40
Tabela 2 - Alíquotas dos tributos federais PIS e COFINS.	49
Tabela 3 - Alíquotas do tributo estadual ICMS.	50
Tabela 4 - Alíquotas e contribuições da CIP na indústria.	51
Tabela 5 - Valores em reais das tarifas da Modalidade Tarifária Horária Verde.	56
Tabela 6 - Valores em Reais das tarifas da Modalidade Tarifária Horária Azul.	57
Tabela 7 - Informações coletadas das 12 contas de energia elétrica da granja.	72
Tabela 8 - Consumo total de energia ativa por mês no período.	80
Tabela 9 - Economia gerada com FC otimizado.	88
Tabela 10 - Economia gerada com FC agravado.	90
Tabela 11 - Demandas faturadas e contratada da granja.	93
Tabela 12 - Demandas faturadas e demanda proposta para a granja.	95
Tabela 13 - Análise dos dados da granja na Modalidade Verde.	97
Tabela 14 - Análise dos dados da granja para a Modalidade Azul.	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	DESAFIOS TECNOLÓGICOS E OBJETIVOS	19
2.1	Desafios Tecnológicos	19
2.2	Objetivos Gerais e Específicos	20
2.2.1	Objetivo Geral.....	20
2.2.2	Objetivos Específicos	21
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
3.1	Agroindústria	22
3.2	Índices que Influenciam o Consumo de Energia Elétrica	23
3.2.1	Fator de Potência	23
3.2.2	Fator de Carga.....	33
3.3	Características de Unidades Consumidoras do Grupo A.....	36
3.4	Estrutura Tarifária.....	37
3.5	Modalidades Tarifárias para o Grupo A.....	39
3.5.1	Modalidade Tarifária Horária Azul	42
3.5.2	Modalidade Tarifária Horária Verde.....	43
3.6	Período de Testes e Ajustes de Unidade Consumidora.....	43
3.6.1	Demanda de Potência	43
3.6.2	Fator de Potência	44
3.7	Cobrança por Ultrapassagem de Demanda	45
3.8	Bandeiras Tarifárias	46
3.9	Impostos e Contribuições presentes nas Contas de Energia Elétrica.....	48
3.10	Faturamento para o Grupo A	52
3.10.1	Demanda de Potência.....	52
3.10.2	Consumo de Energia Elétrica Ativa	55
3.11	Fator de Potência e Reativo Excedente.....	57

4	MATERIAL E MÉTODOS.....	64
4.1	Material	64
4.2	Métodos	64
4.2.1	Faturamento de Energia Elétrica	64
4.2.1.1	Faturamento de Energia na Modalidade Tarifária Horária Verde....	67
4.2.1.2	Faturamento de Energia na Modalidade Tarifária Horária Azul	68
4.2.2	Modelagem Matemática do Faturamento	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1	Modelagem Matemática	74
5.1.1	Modelagem do Faturamento em função de FC e de FP	74
5.1.2	Modelagem do Faturamento em função de FC e do Consumo	79
5.2	Avaliação do Fator de Carga.....	87
5.2.1	Fator de Carga Otimizado	87
5.2.2	Fator de Carga Agravado	89
5.3	Análise das Multas nas Faturas	91
5.3.1	Multa por excesso de consumo de energia reativa.....	91
5.3.2	Multa por demanda complementar	92
5.4	Análise da Modalidade Tarifária.....	96
5.4.1	Modalidade Tarifária Horária Verde.....	96
5.4.2	Modalidade Tarifária Horária Azul	98
6	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

A necessidade por energia elétrica no mundo tem se elevado significativamente como consequência do crescimento de seu consumo per capita e do aumento populacional. Isto posto, é urgente a utilização eficiente de energia elétrica, assim como o emprego de *softwares* de gerenciamento de energia. As observâncias quanto à redução no consumo de eletricidade possibilitam aos consumidores um maior controle sobre suas despesas (TEKE; TIMUR; BAYINDIR, 2016).

Os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica defrontam-se atualmente com muitas adversidades, por exemplo: alterações climáticas, sustentabilidade ambiental, confiabilidade e qualidade do fornecimento (LI et al., 2017).

Segundo Mohamed e Khan (2009), a gestão de energia elétrica é um tema em evidência no século XXI por contribuir para o desenvolvimento econômico e o avanço ambiental. Dispõe como objetivo e meta o planejamento de diversas iniciativas que, se implantadas, têm a finalidade de reduzir o consumo de energia.

Dentre essas iniciativas está o emprego de técnicas cujo foco é diminuir a ociosidade do funcionamento da empresa em determinados períodos, bem como em outros reduzir a demanda de potência máxima (demanda de pico), promovendo, assim, a preservação da infraestrutura de seu sistema elétrico (MOHAMED; KHAN, 2009).

Para Mohamed e Khan (2009), a implementação de técnicas de gerenciamento objetiva aprimorar a utilização do parque industrial da empresa nos horários fora de ponta e o Fator de Carga (FC). Essas técnicas são descritas como a revisão ou instauração de novos processos e a instalação de equipamentos energeticamente mais eficientes, assim como o controle do consumo de energia elétrica reativa.

Segundo Park et al. (2017), a conta de energia elétrica do cliente é composta pela cobrança da demanda e da energia consumida. A demanda paga à distribuidora é calculada por meio de medidor específico, e corresponde ao valor médio da potência ativa consumida a cada 15 minutos durante o período de faturamento (demanda medida). Para determinar a cobrança da demanda medida em quilowatt (kW), considera-se o maior valor médio no período de faturamento.

Também nesse período, que é de aproximadamente 30 dias, a energia consumida em quilowatt-hora (kWh) é a soma das potências elétricas ativas consumidas.

A demanda contratada é a potência ativa, ou seja, é o valor da energia elétrica requerida por unidade de tempo, cuja unidade de medida é o kW, que deverá ser fornecida ininterruptamente pela distribuidora no ponto de entrega do consumidor, com valor e período de validade descritos em contrato. Quer o cliente tenha utilizado essa potência em sua totalidade ou não no intervalo de tempo da fatura, a mesma deverá ser quitada integralmente (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)-RESOLUÇÃO NORMATIVA 414, 2010).

Já a energia ativa, conforme consta na ANEEL-Resolução Normativa 414 (2010), é a energia elétrica transformada em outras formas de energia utilizáveis, com unidade de medida igual ao kWh.

Conforme o disposto na ANEEL-Resolução Normativa 414 (2010), denomina-se distribuidora, a entidade titular de concessão ou permissão federal para executar a atividade pública de distribuição de energia elétrica.

De acordo com Fernández et al. (2013), as contas de energia elétrica discriminam as tarifas de fornecimento, que são referentes à geração, transmissão e distribuição de eletricidade. Nelas também constam os itens a seguir:

- Encargos de capacidade (\$/kW): demanda contratada pelo consumidor;
- Encargos energéticos (\$/kWh): energia elétrica efetivamente consumida;
- Componentes adicionais: multa por baixo Fator de Potência (FP), contribuição de iluminação pública, multa por ultrapassagem de demanda contratada e outros.

O consumo de energia ao longo das horas do dia é irregular, sendo maior durante algumas horas (denominado horário de ponta), requerendo produção extra para impedir blecautes durante esse intervalo de tempo (ZHU et al., 2016).

Confirmando o anteriormente descrito, Wang e Li (2016) citam que a demanda elétrica requerida pelo consumidor varia de uma estação para outra no transcorrer do ano, e de uma hora para outra durante o dia. Normalmente, o pico da demanda por energia ocorre entre o final da tarde e o início da noite, e é nesse período que os preços das tarifas de energia são extremamente altos.

De acordo com Nezamoddini e Wang (2017), além da diminuição da necessidade de investimentos com capacidade energética extra, a redução do pico de carga colabora com os custos operacionais das geradoras, bem como com a redução dos preços da eletricidade no atacado. Corroborando com o exposto, Mishra et al. (2013) afirmam que para suprir a demanda de energia no horário de ponta, além das usinas da base energética, linhas de transmissão e subestações, as denominadas despesas de capital, é necessário o reforço das usinas geradoras de eletricidade que consomem combustíveis poluidores e onerosos para seu funcionamento, as chamadas despesas operacionais.

Nesta linha de raciocínio, Fernández et al. (2013) mencionam a existência de preços diferenciados de kW e kWh por períodos, sendo as tarifas mais caras durante os períodos em que a produção adicional de energia precisa entrar em operação para atender ao consumo. Sendo assim, ajustar a demanda contratada pelo consumidor em cada período à real necessidade de eletricidade resultará em economia. Quando da assinatura do contrato de fornecimento de energia elétrica, as demandas contratadas não podem ser modificadas no transcorrer de 1 (um) ano, daí a importância de se fazer uma escolha acertada. Dessa forma, o cliente terá reduzido o seu custo operacional com energia, melhorando, assim, a sua competitividade.

O gerenciamento de energia é empregado para reduzir o gasto com a aquisição de energia elétrica e as multas associadas à mesma (MOHAMED; KHAN, 2009). As distribuidoras de eletricidade aplicam multas se a demanda consumida pelo cliente ultrapassar a demanda contratada (TORRENT-FONTBONA; LÓPEZ, 2015).

De acordo com a ANEEL-Resolução Normativa 414 (2010), as distribuidoras de energia elétrica devem monitorar, por intermédio de medição constante, obrigatoriamente para todas as Unidades Consumidoras (UC) pertencentes ao Grupo A, o consumo de energia reativa com a finalidade de cobrar o consumidor.

Em grandes empresas, o FP é um índice que deve ser monitorado permanentemente, devido à presença de equipamentos elétricos constituídos por bobinas, como é o caso de motores elétricos, reatores e transformadores, os quais agem diretamente sobre o valor desse índice. Para o funcionamento dessas máquinas elétricas, é imprescindível que haja em suas bobinas um fluxo eletromagnético, e a origem desse fluxo está atrelada ao consumo de energia elétrica reativa proveniente da rede de alimentação da distribuidora (CREMASCO, 2008).

O consumo de energia reativa eleva a corrente elétrica circulante, resultando em perdas por superaquecimento em todos os condutores metálicos e equipamentos do sistema elétrico. O monitoramento e o controle da circulação dessa energia ganhou destaque por aliviar o sistema elétrico, além de reduzir perdas e evitar o pagamento de multas contratuais (TEKE; TIMUR; BAYINDIR, 2016).

Várias empresas do agronegócio possuem maquinários defasados tecnologicamente, acionados por motores elétricos sobredimensionados (que operam com baixa carga) ou que são postos em funcionamento em horários de sobrecarga da rede elétrica das distribuidoras, o chamado horário de ponta. Ademais, em algumas empresas, esses motores operam em situações críticas – são acionados por partidas diretas tradicionais, são ligados simultaneamente e iniciam suas operações com carga total (CREMASCO, 2008).

Para Cremasco (2008), as operações descritas anteriormente, isoladas ou conjuntas, provocam picos de corrente e queda de tensão no sistema elétrico ao qual esses maquinários e equipamentos estão conectados.

Muitas empresas especializadas na criação de aves para abate ou postura, criação de suínos, gado leiteiro ou de corte, entre outras, fazem uso de máquinas e equipamentos movidos a motores elétricos que trituram e misturam diversos tipos de grãos e cereais, além de vitaminas, produzindo suas próprias rações com baixo custo.

Cenários como esse requerem uma análise objetiva, mais profunda, da situação real de como uma empresa está operando. E tal análise servirá para os seus gestores avaliarem se as alterações executadas no processo e na operação da empresa apresentaram resultados de melhoria ou não no consumo de energia elétrica.

RESSALVA:

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 19 de fevereiro de 2022.

6 CONCLUSÃO

A modelagem matemática proposta para análise das contas de energia elétrica das empresas do agronegócio, por meio de indicadores de consumo e de simulações das mesmas, auxiliará técnicos e gestores dessas empresas a reduzir suas faturas.

No presente trabalho, utilizou-se o *software* Mathematica para gerar e plotar gráficos de Superfícies Tridimensionais e Mapas de Contorno em dois modelos construídos com os dados de 12 faturas de energia de uma granja de postura localizada no município de Bastos.

No 1º Modelo foi obtido o faturamento de energia em função dos fatores de carga e de potência, onde observou-se que as cores mais quentes refletem faturas mais onerosas, enquanto que as cores mais frias, ao contrário, resultam em menores valores faturados de energia.

Constatou-se nitidamente nesse modelo que ações de correção no consumo excessivo de energia reativa, separadamente ou concomitante com o funcionamento racional de máquinas e motores elétricos reduzem o custo com a energia elétrica, mantendo inalterado o consumo de energia, e consequentemente a produção da empresa.

O 2º Modelo foi dimensionado para um FP corrigido e constante, e neste caso, o faturamento foi simulado em função do FC e do consumo total de energia ativa, sendo mantido o esquema de cores do modelo anterior.

Nesse modelo, houve a inserção de pontos correspondentes aos valores de cada uma das faturas nos gráficos de Mapas de Contorno, com o propósito de facilitar a localização das contas de energia no meio das faixas coloridas que representam os intervalos de faturamento.

Estudou-se as contas de energia elétrica da empresa para duas situações distintas de seu FC. Na primeira simulação, foi considerado para todo o intervalo estudado, o melhor índice atingido pela granja, igual a 60% (fevereiro de 2019). Se os gestores da empresa tivessem empreendido esforços para manter o FC em 60% para as 12 faturas, empregando-se as tarifas da época, a economia seria de R\$ 4.680,87.

Na segunda simulação, de modo oposto, utilizou-se para todo o período pesquisado, o pior índice de FC alcançado pela empresa, que foi de 44% em abril de

2019. Empregando as tarifas de energia da época, o prejuízo com o pagamento de energia elétrica seria de R\$ 10.770,81, considerando o FC constante e igual a 44%.

A granja desembolsou o valor de R\$ 318,20 na fatura de março de 2019 referente ao excesso de consumo de energia reativa. Esse problema foi resolvido por meio de banco de capacitores.

Por ter contratado uma alta demanda de potência junto à distribuidora de energia local no valor de 360 kW, a granja terá em sua fatura habitual a incidência da Demanda Complementar. Na condição de ter o montante da demanda contratada reduzida para 299 kW para o período estudado, e considerando as tarifas da época e esta cobrança ocorrendo no mês de julho de 2019, a empresa teria uma economia de R\$ 3.455,21.

Quanto às modalidades tarifárias disponíveis atualmente no Brasil aos consumidores do Grupo A - Modalidade Tarifária Horária Sazonal Verde, contratada pela granja, e Modalidade Tarifária Horária Sazonal Azul, estudou-se qual é a opção mais econômica, sem prejuízo da qualidade e da continuidade das atividades da empresa.

A análise se baseou nas contas de energia entre janeiro e julho de 2019, inclusive com os valores tarifários desse período.

O valor total da simulação para a Modalidade Tarifária Verde foi de R\$ 281.023,92, enquanto que para a Modalidade Tarifária Azul o montante total foi igual a R\$ 285.913,09, para o citado período. Portanto, conclui-se que a opção da granja em contratar a Modalidade Tarifária Horária Verde foi acertada.

Pelo exposto, a modelagem matemática sugerida possibilitará aos administradores da empresa a conferência e a validação de sua conta de energia elétrica, além de evitar a cobrança de multas e penalidades.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 16 set. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Módulo 7: Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição**. Brasil, submódulo 7.1, v. 2, n. 4, p. 1-16, jul. 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2017775_Proret_Submod_7_1_V24.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Módulo 10: Ordem e Condições de Realização dos Processos Tarifários e Requisitos de Informações e Obrigações Periódicas**. Brasil, submódulo 10.1, v. 1, n. 2, p. 1-10, jul. 2013. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2013562_Proret_Submod_10_1_V2.pdf>. Acesso em: 01 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Módulo 11: Fatura de Energia Elétrica e Informações Suplementares**. Brasil, p. 1-31, jul. 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo11_Revisao_0/0e1c98f8-3eab-9049-e5e8-ac62a6acb88a>. Acesso em: 03 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Postos Tarifários**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/postos-tarifarios>>. Acesso em: 15 set. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa (REN) nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Brasil, n. 414, p. 1-157, set. 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa (REN) nº 775, de 27 de junho de 2017**. Brasil, n. 775, p. 1-4, jun. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2016/084/resultado/ren2017775.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2019.

AMORIM, L. S.; TORRES, C. A. A.; MORAES, E. A.; SILVA FILHO, J. M.; GUIMARÃES, J. D. Perfil metabólico de touros da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) confinados e tratados com somatotrofina bovina recombinante (r-bST). **Arquivo**

Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, v. 59, n. 2, p. 434-442, abr. 2007. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352007000200025&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 set. 2018.

BARROS, B. F. De; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

BARROS, B. F. De; GEDRA, R. L. **Cabine primária**: subestações de alta tensão de consumidor. 4. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015.

BASTOS. Lei nº 2.680, de 22 de junho de 2016. **Lex**: dispõe sobre a reti-ratificação da lei municipal nº 1.766 de 16/12/04 que instituiu a contribuição de iluminação pública – CIP, de que trata o artigo 149-A da Constituição Federal, Bastos-SP, p. 4, 2016. <<https://www.bastos.sp.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 03 set. 2019.

CAPELLI, A. **Energia elétrica**: qualidade e eficiência para aplicações industriais. São Paulo: Érica, 2013.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

CREDER, H. **Manual do instalador eletricitista**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

CREDER, H.; COSTA, L. S. **Instalações elétricas**: atualização e revisão. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

ENERGISA. **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em:
<<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/bandeiras-tarifarias.aspx>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

ENERGISA. **Tipos de Tarifas**. Disponível em:
<<https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/grandes-empresas/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

ENERGISA. **Tributos, Impostos e Outros Encargos**. Disponível em:
<<https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/grandes-empresas/taxas-prazos-e-normas/tributos-impostos-encargos.aspx>>. Acesso em: 31 ago. 2019.

ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS (ERSE). Despacho nº 7.253, de 26 de abril de 2010. **Lex:** aprova as regras de faturação de energia reativa, Portugal, Diário da República, 2ª Série, n. 80, p. 21945-21949, abril, 2010. Disponível em: <<https://dre.pt/application/conteudo/2316834>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS (ERSE). Despacho nº 12.605, de 4 de agosto de 2010. **Lex:** aprova as regras de faturação de energia reativa, Portugal, Diário da República, 2ª Série, n. 150, p. 21945-21949, agosto, 2010. Disponível em: <<https://dre.pt/application/conteudo/2316834>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

FERNÁNDEZ, M. A.; ZORITA, A. L.; GARCÍA-ESCUADERO, L. A.; DUQUE, O.; MORÍÑIGO, D.; RIESCO, M.; MUÑOZ, M. Cost optimization of electrical contracted capacity for large customers. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**. Espanha, v. 46, p. 123-131, mar. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.10.021>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

CREMASCO, C. P. **Aplicação da Lógica Fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. Botucatu: UNESP, 2008. 97 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Botucatu, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101828>>. Acesso em: 09 set. 2018.

GENEROSO, R. A. R.; GOMES, P. C.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; BARRETO, S. L. T.; BRUMANO, G. Composição química e energética de alguns alimentos para frangos de corte em duas idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, v. 37, n. 7, p. 1251-1256, jul. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982008000700016&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 set. 2018.

LI, J.; LIN, X.; NAZARIAN, S.; PEDRAM, M. CTS2M: concurrent task scheduling and storage management for residential energy consumers under dynamic energy pricing. **IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications**. Estados Unidos, v. 2, p. 111-117, out. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8104004/>>. Acesso em: 06 set. 2018.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais:** de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MISHRA, A.; IRWIN, D.; SHENOY, P.; KUROSE, J.; ZHU, T. GreenCharge: Managing renewable energy in smart buildings. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**. Estados Unidos, v. 31, n. 6547836, p. 1281-1293, jul. 2013.

Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046396293&doi=10.1109%2fACCESS.2018.2833143&partnerID=40&md5=9cb6d991f871ef3eb0d254742c366089>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

MOHAMED, A.; KHAN, M. T. A review of electrical energy management techniques: Supply and consumer side (industries). **Journal of Energy in Southern Africa**. África do Sul, v. 20, n. 3, p. 14-21, ago. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2009000400003&lang=pt>. Acesso em: 29 ago. 2018.

NEZAMODDINI, N.; WANG, Y. Real-time electricity pricing for industrial customers: Survey and case studies in the United States. **Applied Energy**. Estados Unidos, v. 195, p. 1023-1037, jun. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.102>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

NUNES, R. V.; SCHERER, C.; SILVA, W. T. M.; APPELT, M. D.; POZZA, P. C.; VIEITES, F. M. Avaliação de probiótico na alimentação de poedeiras comerciais no segundo ciclo de postura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, v. 65, n. 1, p. 248-254, fev. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352013000100035&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 set. 2018.

PARK, Y.-G.; PARK, J.-B.; KIM, N.; LEE, K.Y. Linear Formulation for Short-Term Operational Scheduling of Energy Storage Systems in Power Grids. **Energies**. Coréia do Sul, v. 10, n. 207, fev. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/en10020207>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

POUPA ENERGIA - P+E. **Energia Reativa**. Disponível em: <<https://poupaenergia.pt/energia-reativa/>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

REGNIER, J. E.; WINTERS, R. Reducing electric power costs in small water systems. **Journal - American Water Works Association**. Estados Unidos, v. 105, p. 67-72, abr. 2013. Disponível em: <<https://doi-org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.5942/jawwa.2013.105.0053>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

SÃO PAULO. Decreto nº 45.490, de 30 de novembro de 2000. **Lex**: regulamento do imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação - RICMS, São Paulo, 2000. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2000/decreto-45490-30.11.2000.html>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

TEKE, A.; TIMUR, O.; BAYINDIR, K. Ç. Development and testing of an energy saving tool - Suitability analysis with case study. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**. Turquia, v. 77, p. 59-69, maio 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.11.012>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

TORRENT-FONTBONA, F.; LÓPEZ, B. Power re-allocation for reducing contracted electric power costs. **Energy and Buildings**. Espanha, v. 89, p. 112-122, fev. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.030>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Reducing Power Factor Cost**. Motor Challenge Program. Estados Unidos. Disponível em: <<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/mc60405.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

WANG, Y.; LI, L. Critical peak electricity pricing for sustainable manufacturing: Modeling and case studies. **Applied Energy**. Estados Unidos, v. 175, p. 40-53, ago. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.100>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

WEG Group - Automation Business Unit. **Automation - Power Factor Correction**. 2. ed. Jaraguá do Sul: WEG, 2017. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h97/h0e/WEG-capacitors-for-power-factor-correction-50033846-en.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

WEG Group - Automation Business Unit. **AC Capacitors - Safety and Application Manual**. 7.ed. Jaraguá do Sul: WEG, 2017. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6b/h91/WEG-10005056250-ac-capacitors-safety-and-application-manual-en.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

WOLFRAM. **MATHEMATICA**. Disponível em: <<https://www.wolfram.com/mathematica/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

ZHU, D.; YUE, S.; CHANG, N.; PEDRAM, M. Toward a Profitable Grid-Connected Hybrid Electrical Energy Storage System for Residential Use. **IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems**. Estados Unidos, v. 35, n. 7, p. 1151-1164, jul. 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7329989/>>. Acesso em: 06 set. 2018.