

Bioenergia em Revista: Diálogos

ano 10/vol. 10 | n. 1 | jan.2020 /jun.2020 | ISSN: 2236-9171



Bioenergia em Revista: Diálogos

ISSN: 2236-9171

Bioenergia em Revista: Diálogos | publicação semestral | Piracicaba
ano 10/vol. 10 | n. 1 | jan. / jun. 2020

Governador do Estado de São Paulo

João Doria Jr.

Secretário de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia

Patrícia Ellen da Silva

Diretora Superintendente do Centro “Paula Souza”

Laura Laganá

Diretor do CESU

Rafael Ferreira Alves

Diretor da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”

José Alberto Florentino Rodrigues Filho

Editoria

Filomena Maria Formaggio

Editores de Seção

Prof^ª Dr^ª Filomena Maria Formaggio – Fatec Piracicaba

Prof. Dr. Luis Fernando Sanglade Marchiori – ESALQ-USP e Fatec Piracicaba

Prof. Dr. Paulo Cesar Doimo Mendes – Fatecs de Piracicaba e Itapetininga, EEP

Prof. Msc. Fabio Augusto Pacano – Fatec Piracicaba, CNEC Capivari-SP

Profa Msc. Luciana Fischer – Fatec Piracicaba e PUCCampinas-SP

Prof^ª Dra. Érika Gutierrez – Fatec Piracicaba

Prof^ª Msc. Angela de F. Kanesaki Correia – Fatec Piracicaba, UNIMEP

Bel. e Tecnólogo Mauricio D. C. Pinheiro – Fatec Piracicaba

Comissão Editorial

Filomena Maria Formaggio - Fatec Piracicaba

Vanessa de Cillos Silva - Fatec Piracicaba

Paulo Cesar Doimo Mendes - Fatec Piracicaba

Marcia Nalesso Costa Harder - Fatec Piracicaba

Fabio Augusto Pacano - Fatec Piracicaba

Maria Helena Bernardo

Bioenergia em Revista: Diálogos • Rua Diácono Jair de Oliveira, 651 • Bairro Santa Rosa

CEP: 13.414-155 • Piracicaba / SP • Telefone: [+55 19] 3413-1702

e-mail: bionergia.r.dialogos@gmail.com

www.fatecpiracicaba.edu.br/revista

Conselho Editorial

José Alberto Florentino Rodrigues Filho – Fatec Piracicaba
Daniela Russo Leite – Fatec Araraquara
Gisele Gonçalves Bortoleto - Fatec Piracicaba
Eliana Maria G. Rodrigues – Fatec Piracicaba
Daniela Defavari do Nascimento – Fatec Piracicaba
Regina Movio de Lara – IESCAMP/SP
Siu Mui Tsai Saito - Cena – USP
Raffaella Rossetto - APTA - polo regional Centro-Sul
Ada Camolesi - FIMI Mogi Mirim
Marly T. Pereira - ESALQ-USP
Vitor Machado – UNESP Bauru
Adolfo Castillo Moran - Cordoba, Ver. Mexico
Gregorio M. Katz - San Miguel de Tucuman Argentina
Guilherme A. Malagolli - Fatec Taquaritinga
Murilo Melo - ESALQ-USP
Angelo Luis Bortolazzo – Centro Paula Souza
Jorge Corbera Gorotiza - San Jose de Las Lajas - La Habana - Cuba

Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN 2236-9171) é uma publicação eletrônica semestral vinculada a Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Dep. Roque Trevisan” e a Faculdade de Tecnologia de Araçatuba (Fatecs).

Objetivo: publicar estudos inéditos, na forma de artigos e resenhas, nacionais e internacionais, que contribuam ao debate acadêmico-científico, além de estimular a produção acadêmica nos níveis da graduação e pós-graduação.

Os artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitida sua reprodução, total ou parcial, desde que seja citada a fonte.

Bioenergia em Revista: Diálogos / Fatec - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba /
Faculdade de Tecnologia de Araçatuba. - - Piracicaba / Araçatuba, SP: a Instituição, desde 2011.
v. Semestral - ISSN 2236-9171

1. Ciências Aplicadas / Tecnologia- periódico I.

Bioenergia em Revista: Diálogos II. Fatec -

Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Dep. Roque Trevisan” / Faculdade de Tecnologia de Araçatuba

Bioenergia em Revista: Diálogos • Rua Diácono Jair de Oliveira, 651 • Bairro Santa Rosa
CEP: 13.414-155 • Piracicaba / SP • Telefone: [+55 19] 3413-1702
E-mail: bioenergia.r.dialogos@gmail.com
www.fatecpiracicaba.edu.br/revista

Sumário

06 Apresentação

07 Chamada de Artigos

08 Utilização do Lodo de Esgoto como Adubo na Cultura da Cana-de-açúcar
Bozza, Natália Ganzaroli; Marchiori, Luís Fernando Sanglade

22 Regeneração e Multiplicação *in vitro* de Células Meristemáticas de Cana-de-açúcar
Melo, Bruno de Lima

37 Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar
Melo, Bruno de Lima

53 Cultivo *in vitro* de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)
Alves, Rita de Cássia Malbo; Nascimento, Daniela Defavari do

64 Energy and mechanical characterization of briquettes made from waste
Silva, Diego Aleixo da; Carvalho, Natália Rodrigues de; Alesi, Letícia Sant'Anna; Varanda, Luciano Donizeti; Belini, Gabriela Bertoni; Caraschi, José Cláudio; Pádua, Franciane Andrade de; Yamaji, Fabio Minoru

73 Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras
Yoshinaga, Fabiana; Santos, Ariane da Silva; Moura, Bruno Fernandes Santana de; Bortoleto, Gisele Gonçalves

92 Consumo de eletricidade e PIB: uma análise em dados em painel para o Brasil no período de 2002 a 2015
Barbosa, Paulo André M.; Profeta, Graciela Aparecida; Santos, Vladimir Farias dos

111 Determinação de álcoois em bebidas comerciais por cromatografia gasosa e amostragem por *headspace*

Gomes, Winston Pinheiro Claro, Yoshinaga, Fabiana; Bortoleto, Gisele Gonçalves

125 Profissionais 4.0: uma breve análise das futuras demandas de mercado

Reis, Gabriel Nascimento dos; Garcia, Thaila Raquel Christofolletti; Scudeler, Valéria Cristina

Apresentação

Bioenergia em Revista: Diálogos, publicação da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” oferecer à comunidade acadêmico-científica mais um número objetivando a apresentação e discussão de temas atinentes à pesquisa, inovação e ao diálogo com todas as áreas do conhecimento, elementos imprescindíveis e constituidores à formação científico-tecnológica.

A Revista está classificada como B4 e B5 no sistema Qualis/CAPEES e encontra-se associada aos indexadores Latindex, IBICT, Sumários.org e CNEN60.

A presente edição conta com quatro seções: AGRONOMIA que apresenta os artigos “Utilização do Lodo de Esgoto como Adubo na Cultura da Cana-de-açúcar”; “Regeneração e Multiplicação *in vitro* de Células Meristemáticas de Cana-de-açúcar”; “Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar” e “Cultivo *in vitro* de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)”.

A segunda seção ENERGIA apresenta os artigos “Energy and mechanical characterization of briquettes made from waste”; “Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras” e “Consumo de eletricidade e PIB: uma análise em dados em painel para o Brasil no período de 2002 a 2015”.

A terceira seção, ALIMENTOS apresenta o artigo “Determinação de álcoois em bebidas comerciais por cromatografia gasosa e amostragem por *headspace*”.

E, a quarta seção, GESTÃO EMPRESARIAL apresenta o artigo “Profissionais 4.0: uma breve análise das futuras demandas de mercado”.

Lembrando que nossa proposta é igualmente a disseminação do conhecimento, o periódico Bioenergia em Revista: Diálogos possui inserção nacional e internacional e conta com a participação de pesquisadores de diversas instituições de ensino e pesquisa. O recebimento dos artigos é pelo sistema de fluxo contínuo e a periodicidade é semestral.

Chamada de artigos

A Revista Bioenergia em Revista: Diálogos convida pesquisadores, docentes e demais interessados das áreas de Bioenergia, Gestão Empresarial, Agroindústria, Alimentos e áreas afins, a colaborarem com artigos científicos, de revisão e/ou resenhas para a próxima edição deste periódico.

As normas de submissão e análise estão disponíveis em nosso site – **www.fatecpiracicaba.edu.br/revista**. Os trabalhos serão recebidos por via eletrônica em **fluxo contínuo**, e os autores poderão acompanhar o progresso de sua submissão através do sistema eletrônico da revista.

Os dados apresentados, bem como a organização do texto em termos de formulação e encadeamento dos enunciados, das regras de funcionamento da escrita, das versões em língua **inglesa e espanhola** dos respectivos resumos, bem como o respeito às Normas da ABNT são de **inteira responsabilidade dos articulistas**.

Utilização do Lodo de Esgoto como Adubo na Cultura da Cana de Açúcar

Bozza, Natália Ganzaroli
Marchiori, Luís Fernando Sanglade

Resumo

O lodo de esgoto é proveniente de estações de tratamentos. É uma atividade que se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas. Estima-se que a produção de lodo no Brasil está entre 150 a 220 mil toneladas por ano, sendo descartado em aterros sanitários. Sua grande composição de matéria orgânica e nitrogênio fazem com que o lodo seja considerado útil para condicionar e fertilizar solos agrícolas ou recuperar áreas degradadas. O nitrogênio é encontrado no lodo principalmente em formas proteicas, que quando aplicado ao solo, se transforma em nitrato e assim é absorvido pelas raízes das plantas. A utilização de lodo de esgoto como adubo orgânico traz benefícios tanto ao meio ambiente, por diminuir a quantidade de lodo a ser descartado nos aterros sanitários, quanto ao produtor, por se um adubo mais em conta. O objetivo desse trabalho foi avaliar a utilização do lodo de E.T.E como adubo comparando-o com a adubação mineral comercial tradicional, em estudo de desenvolvimento vegetativo na cultura da cana de açúcar. Foram feitas avaliações biométricas (altura, número de folhas totais e verdes e área foliar) ao decorrer de quatro (4) meses. Ao avaliar os resultados obtidos pelos diferentes tratamentos utilizados, observou-se diferença no crescimento com relação à planta testemunha e na adubação com LE que foi expressa mais lentamente. O tratamento somente com adubo mineral se destacou em todas avaliações biométricas.

Palavras chave: resíduo sólido urbano, *Saccharum officinarum*, sustentabilidade.

Abstract

The sewage sludge comes from treatment plants. It is an activity that, if not properly performed, can compromise the expected environmental and health benefits of these systems. It is estimated that the production of sludge in Brazil is between 150 and 220 thousand tons per year, being disposed in landfills. Its large composition of organic matter and nitrogen make sludge useful for conditioning and fertilizing agricultural soils or recovering degraded areas. Nitrogen is mainly found in sludge in protein forms, which when applied to the soil becomes nitrate and is thus absorbed by plant roots. The use of sewage sludge as organic fertilizer brings benefits to the environment, as it reduces the amount of sludge to be disposed of in landfills, as well as to the producer, due to a more affordable fertilizer. The objective of this work was to evaluate the use of E.T.E sludge as fertilizer comparing it with traditional commercial mineral fertilization, in a study of vegetative development in sugarcane crop. Biometric evaluations (height, number of total and green leaves and leaf area) were made over four (4) months. When evaluating the results obtained by the different treatments used, it was observed difference in growth in relation to the control plant and in the fertilization with LE that was expressed more slowly. Treatment only with mineral fertilizer stood out in all biometric evaluations.

Keywords: urban solid waste, *Saccharum officinarum*, sustainability.

Resumen

El lodo de las aguas residuales proviene de plantas de tratamiento. Es una actividad que, si no se realiza adecuadamente, puede comprometer los beneficios ambientales y de salud esperados de estos sistemas. Se estima que la producción de lodos en Brasil es de entre 150 y 220 mil toneladas por año, que se eliminan en vertederos. Su gran composición de materia orgánica y nitrógeno hace que los lodos sean útiles para acondicionar y fertilizar suelos agrícolas o recuperar áreas degradadas. El nitrógeno se encuentra principalmente en el lodo en forma de proteínas, que cuando se aplica al suelo se convierte en nitrato y, por lo tanto, es absorbido por las raíces de las plantas. El uso de lodos de depuradora como fertilizante orgánico aporta beneficios al medio ambiente, ya que reduce la cantidad de lodos que se eliminarán en los vertederos, así como al productor, debido a un fertilizante más asequible. El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de lodos E.T.E como fertilizante comparándolo con la fertilización mineral comercial tradicional, en un estudio de desarrollo vegetativo en cultivos de caña de azúcar. Se realizaron evaluaciones biométricas (altura, número de hojas totales y verdes y área foliar) durante cuatro (4) meses. Al evaluar los resultados obtenidos por los diferentes tratamientos utilizados, se observó diferencia en el crecimiento en relación con la planta control y en la fertilización con LE que se expresó más lentamente. El tratamiento solo con fertilizante mineral se destacó en todas las evaluaciones biométricas.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, *Saccharum officinarum*, sostenibilidad.

INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um subproduto gerado nas estações de tratamento de esgoto, que pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários. É estimado que a produção de lodo de esgoto no Brasil gira em torno de 150 a 220mil toneladas por ano (PEDROZA, 2010).

Atualmente, grande parte desse subproduto é destinada para aterros sanitários, porém com as metas estipuladas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, as empresas passaram a buscar alternativas ambientais para que esse resíduo seja processado de forma apropriada antes do destino final (TERA, 2014).

A composição do lodo é basicamente uma mistura de substâncias que contém minerais, coloides e materiais orgânicos, podendo ser classificado em duas categorias: orgânico e inorgânico (TERA, 2014). Seu tratamento adequado depende de fatores como tecnologia, disposição final e espaço físico disponível, uma vez que cada uma dessas variáveis pode alterar as características físicas, químicas e biológicas do lodo.

A principal opção para reciclagem desse biossólido é o uso como condicionador para solos agrícolas. Entretanto, a possível presença de poluentes como metais pesados, patogênicos e compostos orgânicos persistentes, são fatores que podem provocar impactos ambientais negativos (PIRES, 2011). Vários países do mundo utilizam biossólido na agricultura, seguindo regulamentações específicas baseadas em estudos de avaliação de risco.

Várias são as opções para a sua utilização deste mesmo, entre elas se destaca o simples descarte em aterros sanitários, a incineração, a conversão em óleo combustível, o reuso industrial, o tratamento no solo e o uso agrícola e florestal. A alternativa agrícola para disposição do lodo de esgoto oferece uma alternativa segura e viável economicamente para seu descarte (SILVA et al, 2010).

A sustentabilidade da produção da cultura de cana de açúcar só pode ser atingida quando os nutrientes no sistema canavieiro têm balanço nulo ou positivo. É essencial conhecer as perdas de nutrientes mais importantes no agrossistema. Os nutrientes exportados pelos colmos podem ser compensados pela adição de diversos resíduos tais como o lodo de esgoto (LE) (SILVA et al, 2010).

Assim, o objetivo foi avaliar a utilização do lodo de E.T.E como adubo comparando-se com a adubação mineral comercial tradicional, em estudo de crescimento vegetativo na cultura da cana de açúcar. Foi conduzido um experimento em bloco único com quatro (4) tratamentos e três (3) repetições cada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Lodo de Esgoto – composição

Os esgotos podem ser classificados em domésticos ou industriais. Os domésticos são constituídos por despejos domésticos, águas pluviais e de infiltração e os industriais são provenientes da utilização de água para diversas finalidades, com características próprias conforme a indústria e do tipo de tratamento utilizado. Ao final de todos os processos de tratamento de esgoto, tem-se o lodo de esgoto (COLINO, 2006).

O lodo de esgoto é constituído por matéria orgânica que corresponde entre 40 a 80% da composição total do seu peso seco. Essa matéria orgânica é uma mistura complexa de gorduras, proteínas, carboidratos, lignina, aminoácidos, açúcares, celulose, material húmico e ácidos graxos, além de microorganismos (SAITO, 2007).

Também podem ser encontrados contaminantes químicos na sua composição como metais tóxicos e contaminantes orgânicos provenientes de indústrias e de esgotos domésticos, como medicamentos, produtos de limpeza, solventes, poluentes derivados de combustão e pesticidas (SAITO 2007).

Tratamento do Lodo nas ETEs

Segundo Scalize (2003), o lodo passa por tratamentos para minimizar impactos ambientais, redução de custos para as empresas de saneamento básico e cumprir os parâmetros exigidos pelas legislações. Os resíduos apresentam grande quantidade de água que pode ser retirada antes da disposição final do lodo. Existem vários métodos com a finalidade de retirar as águas desses resíduos e lodos:

Adensamento por gravidade

O processo se dá em adensador em forma circular e equipado com braços raspadores mecânicos. Os raspadores encaminham o lodo sedimentado para o centro do adensador, de onde é feita a sua descarga (TSUTIYA et al, 2001).

Adensamento por flotação com ar dissolvido

O sistema consiste essencialmente de uma unidade de flotação e um saturador sendo, a unidade de flotação, responsável pela separação da fase sólida da fase líquida e o saturador dissolve o ar na água sob pressão (TSUTIYA et al, 2001).

Adensamento mecânico

A utilização do adensamento mecânico tem recebido uma atenção especial pela facilidade operacional, minimização de obras civis, e por necessitarem de pouco espaço físico. Os equipamentos existentes no mercado para adensamento de lodos de ETE são: centrífuga e adensador de esteira (ROSARIO, 2007).

Centrífugas

As centrífugas são utilizadas tanto para adensamento quanto para o desaguamento dos lodos (ROSARIO, 2007).

Adensamento por Esteiras (“belt-press”)

O Adensamento por esteiras surgiu junto com a evolução para o desaguamento de lodo. Nos equipamentos mais recentes as unidades de adensamento e desaguamento estão sendo incorporadas num único equipamento (ROSARIO, 2007).

Condicionamento de lodos de ETEs

É um processo para melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do lodo. O condicionamento de lodos neutraliza ou desestabiliza as forças químicas ou físicas atuantes nas partículas coloidais e no material particulado em suspensão imersos em meio líquido. Este processo de desestabilização permite que as partículas pequenas se juntem para formar agregados maiores. Segundo Rosario (2007) os métodos de condicionamento de lodo são influenciados por fatores:

- fatores físicos (distribuição e tamanho das partículas, grau de mistura);
- fatores químicos (pH e alcalinidade, concentração de sólidos, carga superficial, natureza da associação água-sólida no lodo);
- Tipos de lodo (lodos primários, lodos secundários).

Desaguamento de lodos de ETEs

A escolha do sistema de desaguamento mais adequado é função de aspectos técnicos e econômicos. Segundo Rosario (2007) os objetivos principais do desaguamento são:

- reduzir o volume de lodo a ser descartado;
- reduzir os custos de transporte e disposição;
- facilitar o manuseio.

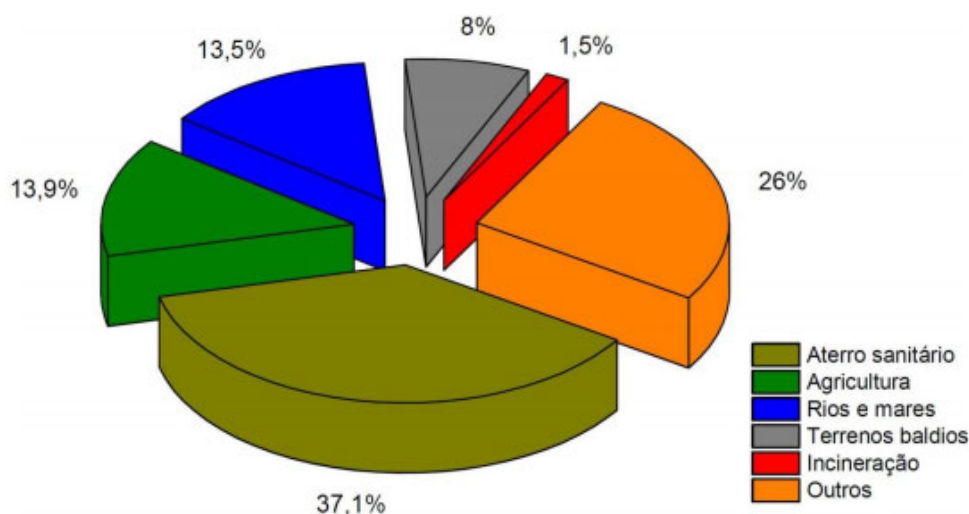
Destinações

Na teoria, disposição do lodo de esgoto de uma ETE depende da forma mais segura e ambientalmente aceitáveis, sendo considerável aspectos econômicos, legais, tecnologias disponíveis e a legislação pertinente. Porém, na prática, essa disposição é encontrada a mais próxima da localidade da ETE (WERTHER et al, 1999).

As principais destinações desse lodo são: disposição em aterro, uso agrícola, lançamento em rios ou oceanos, incineração, utilização na recuperação de locais contaminados, horticultura, paisagismo, silvicultura, processos industriais (indústrias de cimento, cerâmica e agregados), pirólise e gaseificação (LEBLANC et al, 2008).

No Brasil, os principais métodos de disposição do resíduo foram: aterro sanitário, uso na agricultura, incineração e lançamentos em rios, mares e terrenos baldios, como mostra a Figura 1. Já no estado de São Paulo, 90% do lodo produzido foram para aterros sanitários e apenas 10% para a agricultura (IBGE, 2008).

Figura 1: Destinações do lodo de esgoto produzido pelas ETEs em 2008



Fonte: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/>

Disposição em aterros sanitários

É a forma mais comum de destinação no Brasil, sendo utilizado dois métodos. Em um, o lodo é disposto junto com o lixo urbano e no outro a disposição são feitas em aterros exclusivos (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2011).

Os principais problemas encontrados nessa disposição são: os odores desagradáveis, liberação de gases (metano), produção de chorume, desabamento em partes do aterro devido à decomposição e além da percolação de água podendo contaminar os aquíferos subterrâneos (CAMARGO et al, 2006).

Uso na agricultura

O lodo de esgoto é caracterizado pela presença de nitrogênio, fósforo, matéria orgânica e micronutrientes (cobre, zinco, molibdênio, boro, ferro, magnésio e cálcio), assim trazendo benefícios ao solo. Assim levando o nome de biossólido, pois resulta de processos biológicos de tratamento (PATHAK et al, 2009).

Porém, a presença de metais pesados no lodo restringe sua utilização como fertilizante. A aplicação do lodo do solo pode levar a liberação dos metais pesados, assim entrando na cadeia alimentar, a qual pode causar distúrbios metabólicos e doenças crônicas (PATHAK et al, 2009).

Além disso, pode levar a contaminação das águas superficiais subterrâneas. O excesso de nutrientes pode ser lixiviado ou arrastado por erosão, podendo causar, futuramente, uma intensa eutrofização dos corpos d'água (CAMARGO et al, 2006).

Incineração

É um método de disposição que não pode ser mais reutilizado ou usado de maneira segura em aterros sanitários. Basicamente, é um processo térmico de oxidação no qual o lodo é convertido em gases e em resíduo sólido. A vantagem é que esse processo reduz o volume em até 90% (VISVANATHAN, 1996).

O produto sólido resultante ainda é levado para aterros sanitários ou incorporados a co-processos, como indústria de cimento (VIANA, 2013).

Pirólise

No lodo, a decomposição da substâncias sólidas ocorre gradualmente a medida que elas passam pelas zonas de aquecimento do reator. O volume, do resultante, é bem reduzido, podendo ser disposto em aterro e utilizado como adsorvente em meio líquido ou gasoso, ou ainda ser queimado para energia (VIANA, 2013).

Os gases e óleos gerados podem ser utilizados como combustíveis potenciais. Ainda gerando biogás que pode ser utilizado como fonte de energia para suprir a pirólise (HOSSAIN, 2009).

METODOLOGIA

O presente experimento foi iniciado dia 16 de julho de 2019 na cidade de Limeira, São Paulo. Com a cultivar de cana-de-açúcar RB86-7515 (tolerante à seca).

Obtenção do Lodo de esgoto

Foi adquirido o Lodo de esgoto na ETE Ponte do Caixão em Piracicaba e foi colocado pra secar por três dias como mostra a Figura 2 no período de Junho de 2019.

Figura 2: Lodo durante a secagem



Fonte: Autores.

Preparo das gemas

As mudas provenientes de propágulos vegetativos foram obtidas na fazenda Areão em Piracicaba, vieram sob a forma de colmos de canas de açúcar inteiras e depois destes colmos foram cortados doze toletes com duas gemas em cada (Figura 3).

Figura 3: Toletes de cortados de cana-de-açúcar



Fonte: Autores.

Coleta do solo

Utilizou-se o solo denominado “Lve distrofico” (Figura 4) que foi coletado na fazenda Areão na cidade de Piracicaba, São Paulo.

Figura 4: Solo utilizado no presente experimento



Fonte: Autores.

Preparo do vaso e plantio dos toletes

Separaram-se doze (12) vasos com capacidade de vinte e cinco (25) litros, com os seguintes tratamentos:

1º tratamento – três vasos com lodo e com adubo

2º tratamento – três vasos com lodo e sem adubo

3º tratamento – três vasos sem lodo e com adubo

4º tratamento – três vasos sem lodo e sem adubo

Nos tratamentos 1 e 3, com adubo mineral, a adubação mineral usada foi Ureia, Superfosfato Simples e Cloreto de Potássio, fornecendo a cada vaso 10 g de Nitrogênio, 60 g de Fósforo e 13 g de Potássio.

Nos tratamentos 1 e 2, com adubo orgânico, adicionou-se 1,25 kg de lodo em cada vaso selecionado visando a suplementação semelhante a mineral.

Foram adicionados 20 kg de terra com o seu respectivo tratamento em cada vaso, após, misturou-se e em seguida foi feito o plantio dos toletes com profundidade de 10 cm.

Avaliação de crescimento

Avaliou-se parâmetros biométricos (na folha +1) como:

a) **Altura e número de folhas verdes:** foi medida a altura das plantas (da base da planta até a lígula da folha +1) com trena e contado o número de folhas verdes (folhas com lígula visível e com mais de 20% de área verde).

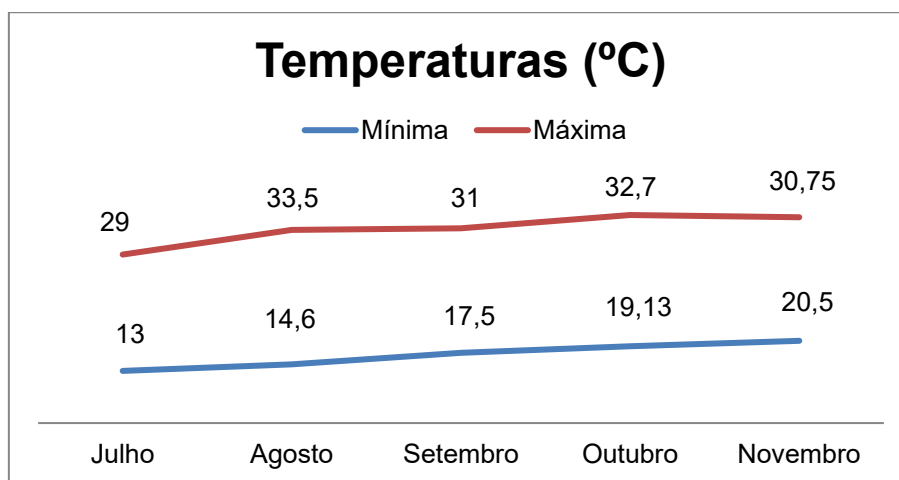
b) **Número de perfilhos**

c) **Área foliar (AF):** foi determinada por meio do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1), sendo obtidos o comprimento (C) e a largura (L) na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999): $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, onde 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas.

Dados climatológicos

Os dados de temperatura máxima e mínima foram coletados diariamente (gráfico 1) com termômetro digital kasvi.

Gráfico 1: Temperaturas máximas e mínimas média durante a condução do experimento



Fonte: Autores.

As avaliações biométricas foram realizadas a partir do 3º mês de plantio, a cada mês. No 4º mês foi realizada a cada 15 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira avaliação, aos 60 dias após o plantio, (16/09/19) os dados de biometria mostraram que a adubação com o lodo de esgoto (LE) apresentou os menores valores, com efeitos deletérios sobre o crescimento da cultivar utilizada (tabela 1), sendo todos os parâmetros menores

que a testemunha. Por outro lado, o tratamento S. lodo/C. adubo apresentou os melhores resultados.

Tabela 1: Altura total da planta, altura até a inserção da folha +1, número de folhas totais e secas, número de perfilhos, comprimento da folha +1, largura da folha +1 e área foliar (Média de 3 repetições)

	Altura F+1 cm	Altura total cm	Folhas totais	Folhas secas	Comprimento da folha +1	Largura da folha +1	Perfilhos	Área foliar cm ²
S. lodo/S. adubo	20,75	93,57	5,25	0,00	72,10	1,52	0,00	597,86
C. lodo/S. adubo	19,10	88,40	4,80	0,00	65,30	1,50	0,20	499,54
C. lodo/C. adubo	22,50	102,62	5,25	0,00	78,00	1,65	0,50	699,80
S. lodo/C. adubo	25,37	109,95	4,75	0,00	85,32	1,80	0,25	777,52

Fonte: Autores.

Após 92 dias do plantio, realizou a segunda avaliação (16/10/19), que mostrou um crescimento maior na altura até a inserção da folha +1 no tratamento com lodo e sem adubo com relação a planta testemunha e o perfilhamento também foi maior. Porém, o tratamento S. lodo/C. adubo, nessa segunda avaliação mostrou resultados consistentes de superioridade (Tabela 2).

Tabela 2: Altura total da planta, altura até a inserção da folha +1, número de folhas totais e secas, número de perfilhos, comprimento da folha +1, largura da folha +1 e área foliar (Média de 3 repetições)

	Altura F+1 cm	Altura total cm	Folhas totais	Folhas secas	Comprimento da folha +1 cm	Largura da folha +1 cm	Perfilhos	Área foliar cm ²
S. lodo/S. adubo	31,75	163,80	7,75	3,75	132,75	2,07	0,00	1239,55
C. lodo/S. adubo	34,80	156,70	6,60	1,80	120,40	1,96	0,60	1203,51
C. lodo/C. adubo	37,50	166,82	7,25	3,00	132,25	1,82	0,50	1131,36
S. lodo/C. adubo	41,25	187,75	7,00	2,00	148,00	2,42	0,50	1884,22

Fonte: Autores.

Na terceira avaliação (31/10/19), após 107 dias do plantio, apesar do tratamento com lodo e sem adubo apresentar dados biométricos com resultados superiores a testemunha (sem lodo e sem adubo) (Tabela 3), em relação aos demais tratamentos ainda se mostrou inferior na comparação aos dados biométricos com exceção do número de perfilhos.

Tabela 3: Altura total da planta, altura até a inserção da folha +1, número de folhas totais e secas, número de perfilhos, comprimento da folha +1, largura da folha +1 e área foliar (Média de 3 repetições)

	Altura F+1 cm	Altura total cm	Folhas totais	Folhas secas	Comprimento da folha +1 cm	Largura da folha +1 Cm	Perfilhos	Área foliar Cm ²
S. lodo/S. adubo	35,50	184,75	8,25	4,00	150,25	2,77	0,00	1954,42
C. lodo/S. adubo	40,00	195,20	7,80	3,60	152,40	2,90	0,60	2055,11
C. lodo/C. adubo	44,12	190,25	8,00	3,25	150,50	2,70	0,50	2057,15
S. lodo/C. adubo	48,00	204,50	7,50	2,50	158,75	3,32	0,50	2771,18

Fonte: Autores.

Após 122 dias, realizou a quarta avaliação (15/11/19), os dados biométricos se mantiveram com a mesma tendência da avaliação anterior, assim, o tratamento com lodo e sem adubo continuou a apresentar dados biométricos com resultados superiores a testemunha (sem lodo e sem adubo) (tabela 4). Nesta a área foliar foi superior no tratamento com lodo e sem adubo em comparação ao tratamento com lodo e nos demais dados biométricos a diferença entre estes tratamentos foi mínima, mas o tratamento sem lodo e com adubo se mostrou superior em todas as medidas biométricas.

Tabela 4: Altura total da planta, altura até a inserção da folha +1, número de folhas totais e secas, número de perfilhos, comprimento da folha +1, largura da folha +1 e área foliar (Média de 3 repetições)

	Altura F+1 cm	Altura total cm	Folhas totais	Folhas secas	Comprimento da folha +1 cm	Largura da folha +1 Cm	Perfilhos	Área foliar Cm ²
S. lodo/S. adubo	45,35	192,625	11	4,5	148,875	3,175	0	3013,32
C. lodo/S. adubo	51,9	207	9,8	3	157,94	3,68	0,6	3836,05
C. lodo/C. adubo	54	208,55	9,75	3,25	157,275	3,725	0,5	3734,79
S. lodo/C. adubo	65,75	236,75	9,5	2,75	174	4,025	0,5	4596,05

Fonte: Autores.

A adição de LE propiciou um maior perfilhamento como mostra nas tabelas 2, 3 e 4, estando de acordo com SILVA et al (2010). Este aumento poderia ser causado pelo fato do LE ter corrigido a acidez do solo e propiciar uma melhor disponibilidade de água. Verificou-se também que os demais tratamentos também apresentaram perfilhamento.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nesse experimento, podemos concluir que a adubação com lodo e sem adubo apresentou resultados satisfatórios quando comparada a ausência de adubação e que a resposta à adubação com LE se expressa mais lentamente que a adubação com adubo mineral. Ainda, os resultados dos tratamentos que envolvem adubo mineral com ou sem lodo, se mostraram superiores ao tratamento somente com lodo e sem adubo mineral, embora foram bem próximos em comparação ao tratamento com lodo e com adubo. O tratamento somente com adubo mineral se destacou em todas as avaliações biométricas apresentando os melhores resultados.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, O. A.; BETTIOL, W. *Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 349 p.

COLINO, Marcelo de Marchi. *Uso de lodo de estações de tratamento de água e de esgoto urbano como condicionador de solo, com ênfase nas propriedades físicas do solo*. 2006. xv, 116 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/93780>. Acesso em: 20 novembro de 2019.

CONSELHO Nacional do Meio Ambiente – Resolução N° 375, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/conselho-nacional-do-meio-ambiente-resolucao-no-375-de-29-de-agosto-de-2006/>. Acesso em: 20 de Novembro de 2019.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G.M.S. 1999. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Stab*. 17, 32-34.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; NELSON, P. F. Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 85, n. 1-2, p. 442-446, 2009.

IBGE. *National survey of sanitation*. Rio de Janeiro, 2008.

LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. Global atlas of excreta, wastewater sludge and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. *United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT)*. Canadá, 2008.

PATHAK, A.; DASTIDAR, M. G.; SREEKRISHNAN, T. R. Biobleaching of heavy metals from sewage sludge: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 8, p. 2343-2353, 2009.

PEDROZA, Marcelo Mendes. *Produção e tratamento de lodo de esgoto*. Disponível em: <http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/>

[Revista SIER/v.%2011%2C%20n.%2016%20%282010%29/5.%20Produ%2E7%2E3o%20e%20Tratamento%20de%20Lodo%20de%20Esgoto.pdf](#). Acesso em: 10 de maio de 2019.

PIRES, Adriana. *Lodo de esgoto*. Disponível em:

https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/lodo_de_esgoto.html. Acesso em: 10 de maio de 2019.

_____. *Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais*. Disponível em:

https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Pires_lodoID-0L1Y8Wo2Vx.pdf. Acesso em: 20 de Novembro de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *Aterros sanitários São Paulo*. Disponível em:

http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/limpurb/aterros_e_tran sbordos/index.php?p=4633. Acesso em 15 de maio de 2019.

ROSARIO, Carlos Gonzalo Alvarez. 2007. *Avaliação da disposição de lodo gerado numa estação de tratamento de água em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (uasb)*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Engenharia Hidráulica e Sanitária. 2007, 236 p.

Saito, Maria Lúcia. *O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos* / Maria Lúcia Saito. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 35 p. : il. — (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 64).

SCALIZE, P. S. *Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto*. 2003. 146 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, Fábio César da; BOARETTO, Antonio Eneidi; ABREU, Cássio Hamilton; BERTON, Ronaldo Severiano; BASSO, Luiz Carlos; BARBIERI, Valter. *Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente*. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/23814/1/4233-1997-1-PB-1.pdf>.

Acesso em: 10 de maio de 2019.

TERA. *Os desafios do tratamento do lodo industrial e sanitário*. Disponível em:

<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/os-desafios-do-tratamento-do-lodo-industrial-e-sanitario>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

TSUTIYA, M. T. et al. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.

VIANA, Marcelo Mendes. *Obtenção e utilização de produtos de pirólise do lodo de esgoto para adsorção de poluentes em meio aquoso*. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-18082014-115608/publico/Tese_MarceloViana.pdf. Acesso em: 19 de Novembro de 2019.

VISVANATHAN, C. Hazardous waste disposal. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 16, n. 1–4, p. 201-212, 1996.

WERTHER, J.; OGADA, T. Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 25, n. 1, p. 55-116, 1999.

1 BOZZA, Natália Ganzaroli. É Tecnóloga em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. Atualmente é estagiária da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química laboratorial.

2. MARCHIORI, Luis Fernando Sanglade. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Agronomia e Zootecnia Manoel Carlos Gonçalves (1986), Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia pela Universidade de São Paulo (1998) e Doutorado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia pela Universidade de São Paulo (2004). Atualmente é Professor na Faculdade de Tecnologia de Piracicaba e Diretor Técnico da Estação Experimental Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. Tem experiência nas áreas de Engenharia com ênfase em projetos e estudos hidrológicos e uso racional da água e Agronomia, com ênfase em Manejo e Tratos Culturais, atuando principalmente nos seguintes temas: Cana-de-açúcar; Desempenho em épocas de plantio e colheita; Sistemas de plantio cana inteira ou picada; Soja; Desempenho em épocas de semeadura Normal e Safrinha, populações e cultivares; Análise de crescimento da soja em diversas épocas de semeadura, cultivares e populações.

Regeneração e Multiplicação *in vitro* de células meristemáticas de cana-de-açúcar

Melo, Bruno de Lima

Resumo

O objetivo principal da presente pesquisa foi regenerar e multiplicar em condições de laboratório mudas de cana-de-açúcar através da aplicação da metodologia de cultivo *in vitro* de meristemas, com intuito de obter clones de mudas saudáveis em larga escala, possibilitando a redução da área cultivada e consequentemente a diminuição dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Biotecnologia Vegetal. Explante. Meristema. Meio de Cultura. Biotécnicas.

Abstract

The main objective of this research was to regenerate and multiply sugarcane seedlings under laboratory conditions by applying the meristem *in vitro* cultivation methodology in order to obtain large-scale healthy seedling clones, reducing the area consequently the reduction of environmental impacts.

Keywords: Plant Biotechnology. Explant Meristem. Culture medium. Biotechniques.

Resumen

El objetivo principal de la presente investigación fue regenerar y multiplicar las plántulas de caña de azúcar en condiciones de laboratorio mediante la aplicación de la metodología de cultivo *in vitro* de meristem para obtener clones de plántulas sanas a gran escala, reduciendo el área en consecuencia la reducción de los impactos ambientales.

Palabras clave: Biotecnología vegetal. Explantar Meristema El medio de cultivo. Biotecnologías.

INTRODUÇÃO

A técnica de propagação *in vitro* por meio de meristema apical é considerada uma alternativa vantajosa para a multiplicação de diversas variedades de plantas, devido à economia de tempo em relação às técnicas convencionais, além da obtenção de mudas de excelente qualidade fitossanitária e geneticamente idênticas ao material de origem (VIEIRA et al., 2009).

Na cana-de-açúcar, diversos estudos têm demonstrado que o tecido mais adequado é o meristema apical oriundo de perfilho jovens, com grande vigor e crescimento, e que sejam removidos de colmos de tamanhos variando entre vinte e oitenta centímetros (PAULA CIDADE et al., 2006). Segundo os autores, as gemas apicais apresentam maior capacidade de crescimento do que gemas axilares que estão sob efeito da dominância apical. Depois de isolados e inoculados em meio de cultura apropriado, os meristemas apicais de cana-de-açúcar se desenvolvem dando origem às plântulas que serão então multiplicadas, enraizadas e aclimatizadas (COSTA LIMA et al., 2001). A retirada de explantes de cana-de-açúcar deve ser feita, de acordo com Lee (1984), de preferência a partir de brotações novas que são formadas durante a fase ativa de crescimento da planta, durante os meses mais quentes do ano (primavera e verão).

Durante a coleta, deve ser mantido o maior nível de assepsia possível, utilizando instrumentos limpos e esterilizados. As partes coletadas são colocadas em sacos plásticos para evitar o dessecamento, devem ser devidamente identificadas e imediatamente levadas ao laboratório (VIEIRA et al., 2009). Conforme ressaltado pelos autores, a assepsia dos explantes é uma das etapas cruciais da micropropagação, pois é responsável pela eliminação superficial de microorganismos epifíticos e endofíticos antes de sua inoculação no meio nutritivo. Deve ser feita em ambiente esterilizado, utilizando-se câmara de fluxo laminar e agentes assépticos, químicos e físicos.

O tamanho do explante utilizado depende essencialmente do objetivo da micropropagação. Caso se pretenda eliminar algum microorganismo sistêmico como vírus, bactéria ou micoplasma, deve-se considerar, evidentemente, que quanto menor o explante isolado, ou quanto mais isolado este tecido estiver das regiões subjacentes vascularizadas, maiores serão as chances de sucesso (GRATTAPAGLIA e MACHADO, 1998). Mesmo considerando microorganismos contaminantes superficiais, o fato de levar menos tecido para condições assépticas por si somente já colabora para a redução da quantidade desses microorganismos. Segundo estes autores, o tamanho do explante também determina suas possibilidades de sobrevivência e capacidade de crescimento. A princípio, se o objetivo for simplesmente o de propagar, é mais adequado iniciar as culturas com ápices ou segmentos caulinares que contêm

gemas axilares, pois frequentemente explantes muito pequenos não conseguem crescer, ou demoram muito antes de fazê-lo.

A dificuldade maior nesta etapa reside em se obter tecido descontaminado sem conduzi-lo à morte após o seu isolamento (LEE, 1984). São determinantes para o sucesso dessa etapa do trabalho, os pré-tratamentos aplicados na planta matriz, principalmente no que se refere ao controle dos microrganismos endógenos.

Várias substâncias com ação germicida são utilizadas para fazer a desinfestação dos explantes. Os mais comuns são o etanol e os compostos à base de cloro, como o hipoclorito de sódio. Considerando a sensibilidade do tecido a ser desinfestado, manipula-se a concentração da solução e tempo de exposição de maneira inversamente proporcional. O etanol geralmente é utilizado a 70% (v/v), pois acima dessa concentração é menos eficiente e pode desidratar rapidamente os tecidos (LEE, 1984). Em relação aos explantes de cana-de-açúcar, o material coletado envolve colmos e folhas e, principalmente se forem provenientes do campo, podem ser mantidos em água corrente por algumas horas para uma lavagem superficial de partículas de poeira e outras fontes de contaminação superficial.

O início da cultura no escuro é indicado para evitar um estresse naqueles explantes que, na planta, não estavam expostos à luz, como meristemas vegetativos de rizomas, bulbos e raiz. Para a grande maioria das espécies, a incubação inicial na luz, com intensidades de 20 a 70 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, é satisfatório. A luz é fornecida por lâmpadas fluorescentes (tipo Luz do Dia[®] ou Gro-Lux[®]) ou, ainda, combinando as duas para fornecer um espectro de luz mais amplo. Diversas revisões sobre este assunto já foram publicadas, tais como: Murashige (1974), Dicosmos e Misawa (1995), Dodds e Roberts (1995), entre outros. O fotoperíodo tende a ser de dias longos (16 horas de luz por oito horas de escuro) para evitar a indução de dormência. Segundo os autores, a maior parte das culturas cresce satisfatoriamente em temperaturas que variam de 20 a 27°C. Algumas espécies são favorecidas com a incubação inicial em temperaturas baixas, o que pode contribuir para quebrar a dormência de gemas.

Sucessivos sub cultivos podem rejuvenescer os tecidos, tornando a cultura reativa e encurtando a fase de estabelecimento, num fenômeno chamado “rejuvenescimento *in vitro*” (BOULAY, 1984; FRANCLÉT et al., 1987). De acordo com os autores, além da duração da exposição dos tecidos no meio de cultura, a diminuição dos intervalos entre os sub cultivos, o sucessivo isolamento e a cultura de ápices caulinares, sobre os quais é possível praticar certo controle, existe uma variabilidade na capacidade e velocidade de rejuvenescimento de acordo com o clone.

O principal objetivo da fase de multiplicação é produzir o maior número de plantas possível, no menor espaço de tempo, alguns aspectos qualitativos importantes devem ser considerados. Não basta conseguir altas taxas de multiplicação em alguns explantes, o importante é obter uma taxa média satisfatória com o mínimo de variação de explante para explante (LEE, 1984). Segundo o autor, outro aspecto essencial é a qualidade e homogeneidade das partes aéreas produzidas, pois estas características vão determinar o sucesso na fase seguinte de enraizamento.

A fase de enraizamento caracteriza-se pela formação de raízes adventícias nas partes aéreas provenientes da multiplicação, permitindo, assim, o posterior transplântio para condições *ex vitro*. Como mencionado anteriormente, a qualidade das partes aéreas provenientes da fase de multiplicação determina, em geral, o sucesso do enraizamento. Partes aéreas pequenas não enraízam bem e necessitam de uma fase intermediária de alongamento (LEE, 1984; PAULA CIDADE et al., 2006).

Para realizar culturas *in vitro* de plantas, quer sejam de células isoladas, órgãos ou calos, deve-se, primeiramente, estabelecer as melhores condições da cultura, sendo fatores relevantes, segundo Dodds e Roberts (1995), o meio de cultura, a temperatura, a agitação, a aeração, o projeto do biorreator (ou o local de cultivo), os fatores de contaminação, a incidência de luz e fotoperíodo, a densidade celular, o uso de meio condicionado, o potencial osmótico e o pH. Deste modo, os autores ressaltam que o sucesso de um sistema de micropropagação depende do controle deste grande número de variáveis. Ao contrário do que se acredita, por exemplo, a composição do meio de cultura não é a variável determinante do sucesso da micropropagação ou o “segredo” de um protocolo comercial. A função dos vários componentes utilizados nos meios de cultura é suficientemente conhecida e a repetição de uma determinada formulação é praticamente absoluta.

Uma vez que cada espécie ou clone apresenta características únicas, determinadas por fatores genéticos, as necessidades para seu cultivo *in vitro* também tendem a ser únicas. A capacidade de regeneração e crescimento *in vitro* parece estar associada não apenas ao genótipo, mas também à atividade fisiológica na planta-matriz, sob o controle de diversos fatores endógenos (SILVA, 2012). O verdadeiro desafio, segundo o autor, está no material vegetal e na sua manipulação antes de excisar o explante inicial, e em todos os passos até o transplântio da planta produzida. Esta manipulação inclui: manejo da planta-matriz, as características do explante utilizado, o procedimento de sub cultivo adotado, as condições ambientais e micro ambientais dentro do frasco de cultura e o transplântio.

Conforme descrito por Dodds e Roberts (1995), todas essas etapas são influenciadas por diversas variáveis imponderáveis, que frequentemente restringem a repetição dos resultados, dificultando a determinação de um protocolo efetivamente comercial de micropropagação.

O meio de cultura pode ser sólido (com partículas sólidas), semissólido (géis) ou líquido, dependendo do tipo de cultivo desejado. A consistência do meio merece atenção com relação às concentrações dos componentes, principalmente dos reguladores de crescimento. Como descrito por Buitelaar e Tramper (1992), a difusão dos componentes é alterada de acordo com a consistência do meio e, conseqüentemente, a disponibilidade dos elementos à célula vegetal.

Diversas formulações de meio de cultura já estão catalogadas como sendo meio basal padrão. O meio mais comumente utilizado para cultura de tecidos vegetais é o desenvolvido por Murashige e Skoog (1962) - meio MS, o qual apresenta como principal característica a sua elevada concentração de nitrato, potássio e amônia. Os meios de cultivo para células vegetais são complexos e apresentam em sua composição:

Macronutrientes: Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre. O Nitrogênio é adicionado em grande quantidade e pode estar presente na forma de nitrato (NO_3^-) ou amônia (NH_4^+), ou em combinação dos dois íons, ou ainda, na forma de aminoácidos. A fonte de Nitrogênio, tanto em termos de quantidade como em qualidade, tem demonstrado afetar o rendimento em biomassa (DICOSMOS e MISAWA, 1995), assim como a relação entre amônia e nitrato também afeta a produção de metabólitos secundários (RAMACHANDRA RAO e RAVISHANKAR, 2002). Os demais sais são adicionados através dos seguintes compostos: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ para Enxofre e Magnésio; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ou KH_2PO_4 , para o Fósforo; KCl e/ou KNO_3 e/ou KH_2PO_4 para Potássio; e $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ para Cálcio (MISAWA, 1994; DODDS e ROBERTS, 1995).

A concentração de fosfatos no meio tem maior influência sobre a fisiologia e o metabolismo de células vegetais em culturas *in vitro* (WEN e ZHONG, 1997) e atua no metabolismo energético, na regulação de processos enzimáticos e na ativação de enzimas (SANTIAGO et al., 2001; GUERRA e NODARI, 2006).

Micronutrientes: são traços de certos elementos minerais que são requeridos por todas as células. Estão incluídos nesta lista o Ferro, o Manganês, o Zinco, o Boro, o Cobre, o Molibdênio e o Cloro (DODDS e ROBERTS, 1995).

As auxinas são substâncias que controlam o crescimento e o alongamento celular e as citocininas estimulam a divisão celular e reduzem a dominância apical (PASQUAL, 2001). Das citocininas comercialmente disponíveis, a 6-benzilaminopurina (BAP), é a que, em geral, apresenta melhores resultados *in vitro* para promover a multiplicação de diversas espécies (GRATTAPAGLIA; MACHADO, 1988).

Segundo Assis e Teixeira (1998) quanto ao enraizamento, às auxinas mais utilizadas são o ácido indolbutírico (AIB) e o ácido naftaleno acético (ANA). Os reguladores de crescimento

podem ser encontrados na forma natural ou sintética, e quando aplicados em plantas influenciam no seu crescimento e no seu desenvolvimento.

Buitelaar e Tramper (1992) citam culturas que apresentam melhor produção de metabólitos em temperaturas em torno de 35°C, contudo, a viabilidade celular decresce rapidamente nessa temperatura. Temperaturas entre 17 e 25°C são normalmente utilizadas para indução de calos e crescimento de células em suspensão. Entretanto, cada espécie pode ser favorecida em diferentes temperaturas (MISAWA, 1994). No caso específico do cultivo *in vitro* de cana-de-açúcar, a maioria dos autores normalmente utiliza temperatura de 25°C (LEE, 1984; PAULA CIDADE et al, 2006).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados três variedades de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (CTC 9002; IAC 91-1099 e o IACSP 95-5000), em seguida foram levadas até o Laboratório de Citogenômica e Bioinformática (LCGBI) para a realização dos seguintes procedimentos de micropropagação *in vitro*:

1º Procedimento: coleta do meristema apical das mudas pré-brotadas e análise do desempenho durante o cultivo *in vitro*, utilizando como critério de avaliação a capacidade de cada genótipo em produzir culturas celulares com elevada taxa de crescimento de calos e posterior regeneração de plântulas.

As mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar estavam em estágio inicial de crescimento, representadas por colmos jovens, com 15 a 20 centímetros de comprimento. Cada variedade foi representada por 20 colmos jovens, os quais foram lavados em água corrente dentro do laboratório, para a remoção de quaisquer resíduos de substrato ou contaminações na superfície das folhas. O processo de desinfestação foi realizado em capelas de fluxo laminar em condições assépticas, utilizando vidraria previamente esterilizada, foram retiradas todas as folhas das mudas pré-brotadas e após sobrar somente o ponteiro denominado “palmito”, foram lavados em álcool 70% durante 30 segundos, por três vezes sem reutilização das soluções, mantendo-se os ápices dos colmos (com aproximadamente 10 cm cada um) imersos em água destilada estéril e mantidos dentro da câmara de fluxo laminar durante todos os procedimentos de remoção e inoculação dos meristemas apicais (Figura 1).

Figura 1: Vidrarias e utensílios previamente esterilizados e palmitos das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar imersos em água destilada, prontos para a remoção dos meristemas apicais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os palmitos já limpos e submersos em água destilada dentro da câmara de fluxo laminar, recebeu cortes longitudinais com bisturi esterilizado, obtendo explantes em formato de disco, que imediatamente após cortados, foram mergulhados em placa de Petri com ácido cítrico a 150 mg/L^{-1} para evitar oxidação no tecido vegetal. Foi necessário manuseá-los adequadamente para não ocorrer contato dos discos com as pontas do palmito, que sem o devido cuidado pode acarretar em contaminações. Feito isso, os discos foram retirados do ácido cítrico e colocados em papel de filtro para retirada do excesso de solução (Figura 2).

Figura 2: Retirada do excesso de solução de ácido cítrico em papel de filtro dos discos meristemáticos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a retirada do excesso de solução de ácido cítrico dos discos meristemáticos, os mesmos foram transferidos e inoculados para frascos de vidro autoclavados e esterilizados contendo 30 ml da solução salina do meio de cultura MS (MURASHIGE e SKOOG, 1962), (Tabela 1).

Tabela 1: Composição do meio de cultura MS (Murashige & Skoog, 1962)

COMPONENTE	CONCENTRAÇÃO (mg L ⁻¹)
Macronutrientes	
Nitrato de Amônio - NH ₄ NO ₃	1.650,0
Nitrato de Potássio - KNO ₃	1.900,0
Cloreto de Cálcio - CaCl ₂ .2H ₂ O	441,0
Sulfato de Magnésio - MgSO ₄ .7H ₂ O	370,0
Fosfato de Potássio - KH ₂ PO ₄	170,0
Sódio EDTA - Na ₂ EDTA	37,25
Iodeto de Potássio - KI	0.83
Micronutrientes	
Sulfeto de Ferro - FeSO ₄ .7H ₂ O	27,85
Sulfato de Manganês - MnSO ₄ .H ₂ O	16,9
Sulfato de Zinco - ZnSO ₄ .7H ₂ O	8.6
Ácido Bórico - H ₃ BO ₃	6.2
Molibdato de Sódio - Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.25
Cloreto de Cobalto - CoCl ₂ .6H ₂ O	0.025
Sulfato de Cobre - CuSO ₄ .5H ₂ O	0.025
Vitaminas	
Ácido Nicotínico - C ₆ H ₅ NO ₂	0,92
Cloridrato de Piridoxina - C ₆ H ₁₂ ClNO ₂	3,84
Cloridrato de Tiamina - C ₁₂ H ₁₈ Cl ₂ N ₄ OS	5,06
Glicina - C ₂ H ₅ NO ₂	0,75
Ácido Ascórbico - C ₆ H ₈ O ₆	1,76
Glutamina - C ₅ H ₁₀ N ₂ O ₃	1,46
Ácido Aspártico - C ₄ H ₇ NO ₄	1,33
Prolina - C ₅ H ₉ NO ₂	1,15
Arginina - C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	1,74
Inositol - C ₆ H ₁₂ O ₆	100,0
Outros	
Agar	19.000,0

Fonte: EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011).

O meio de cultura foi solidificado com Agar (9g/L), e teve o seu potencial hidrogeniônio ajustado previamente à adição de Agar, para o valor de pH 6,3, para que resultasse em pH 5.8 após a autoclavagem a uma atmosfera por 20 minutos. O meio foi preparado com dez dias de antecedência e armazenado em sala climatizada com temperatura de 25°C, protegidos da luz.

Os discos foram mantidos para a indução de calogênese por 15 dias sem a presença de luz, onde recebeu quatro meristemas do mesmo genótipo em sua superfície (Figura 3).

Figura 3: Inoculação dos discos meristemáticos em meio de cultura MS para início da indução dos calos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após quinze dias em que os discos meristemáticos ficaram inoculados em meio de cultura MS (MURASHIGE e SKOOG, 1962) e mantidos no escuro, os mesmos foram transferidos para novos frascos contendo o mesmo meio de cultura MS com acréscimo de dois hormônios vegetais (Tabela 2), responsáveis pela regeneração das plântulas e mantidos no escuro por mais 15 dias.

Tabela 2: Dosagem dos hormônios vegetais utilizados no meio de cultura MS (Murashige & Skoog, 1962), para regeneração das plântulas

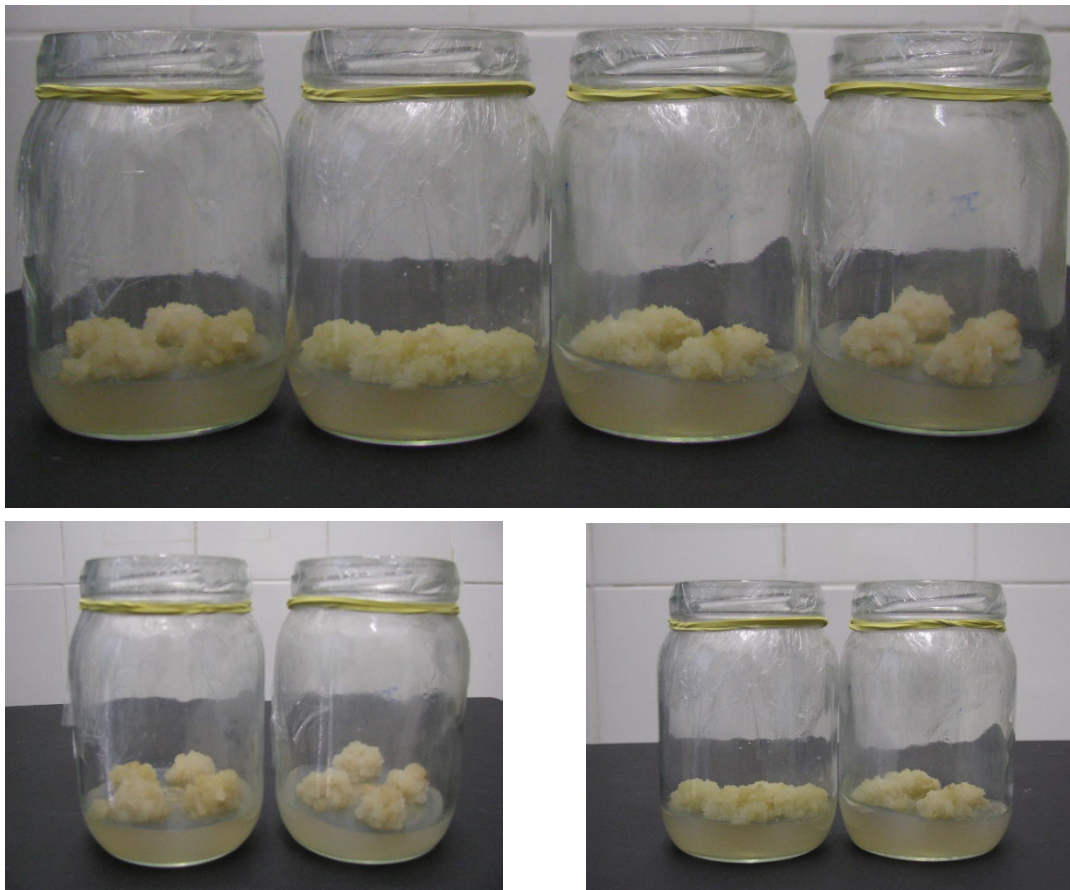
COMPONENTE	CONCENTRAÇÃO (mg L ⁻¹)
Hormônios Vegetais	
BAP (6-benzil aminopurina)	0,45
ANA (ácido naftalenoacético)	3,72

Fonte: Elaborado pelo autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os discos meristemáticos foram mantidos no escuro por 15 dias, a uma temperatura de aproximadamente 25°C, após esse período, houve o crescimento e multiplicação de calos embriogênicos (Figura 4).

Figura 4: Multiplicação de células de cana-de-açúcar a partir da inoculação de meristemas apicais



Fonte: Elaborado pelo autor.

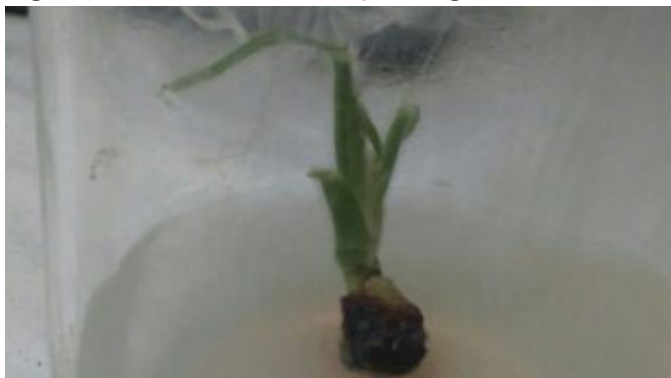
Em seguida foram individualizados cada calo em um frasco diferente, para a manutenção dos mesmos, posteriormente a esse período os discos foram passados para frascos de vidro contendo meio de cultura para regeneração de plântulas, na presença de luz por 16 horas/dia e temperatura de 27°C ± 1°C, sendo 20 frascos de cada cultivar avaliado, contendo uma cultura celular em cada. Após 30 dias, as culturas celulares foram passadas para meio MS (MURASHIGE e SKOOG, 1962) e continuaram na presença de luz. Após dez dias, haviam plântulas regeneradas (Figura 5 e 6).

Figura 5: Multiplicação *in vitro* de plântulas a partir de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6: Plântula de cana-de-açúcar regenerada *in vitro*



Fonte: Elaborado pelo autor.

O acompanhamento foi feito diariamente, observando as regenerações, desenvolvimento e contaminação das plântulas. Quando ocorria contaminação, seja por bactéria ou fungo, eram salvos os discos ou plântulas que não estavam em contato com o microorganismo, passando-os que estavam livres de contaminação para outro vidro e os que estavam em contato com a contaminação foram descartados.

O cultivo *in vitro* dos discos meristemáticos obtidos a partir das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, foi notado que a primeira mudança ocorreu na presença de luz, que foi a alteração na coloração das culturas celulares, passando de creme para esverdeado. Após transferência das células para a luz, as mesmas iniciaram o processo de diferenciação, onde algumas estruturas do vegetal são formadas, como folhas, por exemplo. Ocorreu a formação de estruturas de coloração roxa que posteriormente deram origem às raízes (Figura 7).

Figura 7: Desenvolvimento do sistema de produção rápida de plântulas *in vitro* de cana-de-açúcar



Fonte: Elaborado pelo autor.

O estado regenerativo das plântulas obtidas foi avaliado como bom já que as mesmas apresentaram folhas, caules e raízes formados. Seria regular, se apresentassem apenas folhas e caules, e ruim, se estivessem em início de regeneração e sem presença de estruturas bem definidas.

CONCLUSÃO

A metodologia de cultivo *in vitro* de meristemas apicais, apresentou resultados fantásticos, portanto a utilização desta tecnologia pode ser preconizada em produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em larga escala.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de auxílio.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, T. F.; TEIXEIRA, S. L. Enraizamento de plantas lenhosas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. Cultura de tecidos e transformação genética de plantas. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CNPq, v. 1, p. 261-296, 1998.
- BOULAY, M. Aspects pratiques de la multiplication *in vitro* des essences forestiers. *Annales de Recherches Sylvicoles AFOCEL*, v.21: p.61-78, 1984.
- BUITELAAR, R. M. e TRAMPER, J. Strategies to improve the production of secondary metabolites with plant cell cultures: a literature review. *Journal of Biotechnology*, v. 23: p. 111-141, 1992.
- COSTA LIMA, M. A.; GARCIA, R. O.; MARTINS, G. S.; MANSUR, E. Morfogênese *in vitro* e susceptibilidade de calos de variedades nacionais de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) a agentes seletivos utilizados em sistemas de transformação genética. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 73-77, mar. 2001.
- DICOSMOS, F. e MISAWA, M. Plant cell and tissue culture: alternative for metabolite production, In: *Biotechnology Advances*. Pergamon: Grã Bretanha, v. 13: p. 425-453, 1995.
- DODDS, J. H. e ROBERTS, L. W. *Experiments in Plant Tissue Culture*. 3. ed. Cambridge University Press: England, 256p, 1995.
- FRANCLÉ, A.; BOULAY, M.; BEKKAOUI, M.; FOURET, Y.; VERSCHOORE-MARTOUZET, B.; WALKER, N. Rejuvenation. In: BONGA, J. M.; DURZAN, J.; ed. *Cell and tissue culture in forestry: general principles and biotechnology*. Dordrecht: MartinusNijhoff, 1987.
- GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, A. J. (Eds.). Cultura de tecidos e transformação de plantas. Brasília: Embrapa – SPI / CNPq, 1998.-v.1, p.183-260.
- GUERRA, M. P. e NODARI, R. O. *Apostila de Biotecnologia 1 – Cultura de tecidos vegetal*. CCA/UFSC, Florianópolis. Edição da Steinmacher, 2006.
- LEE, T. S. G.; BACCHI, O. O. S. Improved rooting of differentiated shoots from sugarcane callus tissue, *Turrialba*, v. 34, n.4, p. 481-484, 1984.
- MISAWA, M. *Plant tissue culture: an alternative for production of useful metabolite*, 1994. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/t0831e/t0831e00.html>. Acesso em: 10 out. 2015.
- MURASHIGE, T. Plant propagation through tissue cultures. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 25: p. 135-166, 1974.
- MURASHIGE, T. e SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plantarum*, v. 15, n. 3: p. 472-497, 1962.
- PASQUAL, M. *Textos acadêmicos: meios de cultura*. Lavras: FAEPE/UFLA, p. 127, 2001.
- PAULA CIDADE, D. A.; GARCIA, R. O.; DUARTE, A. C.; SACHETTO-MARTINS, G.; MANSUR, E. Morfogênese *in vitro* de variedades brasileiras de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 3, p. 385-391, mar. 2006.

Melo, B. L.;

Regeneração e Multiplicação in vitro de células meristemáticas de cana-de-açúcar

RAMACHANDRA RAO, S e RAVISHANKAR, G. A. Plant cell cultures: chemical factories of secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, v. 20: p. 101-153, 2002.

SANTIAGO, E. J. A.; PAIVA, R.; PAIVA, P. D. O.; SANTANA, J. R. F.; GOMES, G. A. C. Multiplicação: Cultura de tecidos. In: *Paiva e Paiva*, UFLA, Lavras, M.G. 5: p. 50-57, 2001.

SILVA, M. I. *Embriogênese somática indireta de duas variedades RB de cana-de-açúcar*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo – AL, 86p, 2012.

VIEIRA, R. A.; SILVA, C. M.; SOUTO, E. R.; HATA, F. T.; SILVA MACHADO, M. F. P.; MARCUZ, F.S. Diferentes concentrações de 6- benzilaminopurina e cinetina na micropropagação *in vitro* das variedades RB867515 e RB855156 de cana-de-açúcar. *Campo Digital*, Campo Mourão, v. 4, n. 1, p. 122-126, jan/dez. 2009.

WEN, Z. Y.; ZHONG, J. J. Effect of initial phosphate concentration on physiological aspects of suspension cultures of rice cells: a kinetic study. *Journal of Fermentation and Technology*, v. 83: p. 381-385, 1997.

1 MELO, Bruno de Lima. Biólogo; Especialista em Avaliação do Ensino e da Aprendizagem; Especialista em Tutoria em Ensino a Distância (EAD) e Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, todos pela Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE). Possui experiência nas áreas de Genética e Biotecnologia Vegetal, Agroecologia, Sustentabilidade na Produção de Alimentos (Agricultura Sustentável e Segurança Alimentar), Meio Ambiente, Microbiologia e Higiene de Alimentos, Ecogastronomia e Docência no Ensino Superior. Atuando principalmente nos seguintes temas: Técnicas de cultivo in vitro e manipulação de células e tecidos vegetais; Manutenção de cultivos celulares in vitro de cultivares de cana-de-açúcar; Avaliação de novas composições de meio de cultura contendo substâncias antioxidantes e Biotécnicas aplicadas ao aumento da produção vegetal através do sistema denominado de Mudas Pré-Brotadas bruno_melo_blm@hotmail.com

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

Melo, Bruno de Lima

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes doses de hidrogel agrícola em relação as variáveis fisiológicas de teor de clorofila e o índice SPAD em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. O experimento foi realizado em delineamento fatorial, com cinco tratamentos, constituídos de concentrações crescentes do hidrogel (0; 5,0; 10; 20; 40 g L⁻¹), as três variedades de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar avaliadas foram a CTC9002; IAC91-1099 e o IACSP95-5000.

Palavras-chave: Fisiologia Vegetal. Polímero Hidrorretentor. Retenção de Água. Mudanças. Plantas Agrícolas.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the influence of different doses of agricultural hydrogel in relation to the physiological variables of chlorophyll content and SPAD index in pre-sprouted sugarcane seedlings. The experiment was carried out in a factorial design with five treatments, consisting of increasing hydrogel concentrations (0, 5.0, 10, 20, 40 g L⁻¹), the three varieties of pre-sprouted sugarcane seedlings. evaluated were CTC9002; IAC91-1099 and IACSP95-5000.

Keywords: Plant Physiology. Hydroresetting polymer. Water Retention. Seedlings. Agricultural Plants.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de diferentes dosis de hidrogel agrícola en relación con las variables fisiológicas del contenido de clorofila y el índice SPAD en plántulas de caña de azúcar previamente germinadas. El experimento se llevó a cabo en un diseño factorial con cinco tratamientos, que consiste en aumentar las concentraciones de hidrogel (0, 5.0, 10, 20, 40 g L⁻¹), las tres variedades de plántulas de caña de azúcar previamente germinadas. evaluados fueron CTC9002; IAC91-1099 e IACSP95-5000.

Palabras clave: Fisiología vegetal. Polímero hidrorrestable. Retención de agua. Plántulas Plantas Agrícolas.

INTRODUÇÃO

Como a cana-de-açúcar é uma planta do tipo C4, as altas eficiências fotossintéticas devem-se às altas intensidades luminosas. Com elevadas taxas de radiação, os colmos são mais grossos e curtos, as folhas são mais longas e verdes e o perfilhamento é mais intenso. Em condições de baixa irradiância, os colmos são mais finos e longos e as folhas são mais estreitas e amarelas (RODRIGUES, 1995). Quanto maior a quantidade luminosa, mais fotossíntese será realizada pela cultura e, maior será o seu desenvolvimento e acúmulo de açúcares (BARBIERI, 1981).

Os pigmentos envolvidos na fotossíntese são as clorofilas a e b, e os carotenoides. A clorofila a é o pigmento utilizado para realizar a fotoquímica (o primeiro estágio do processo fotossintético), enquanto que os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios (STREIT et al., 2005). Os carotenoides são pigmentos amarelos ou alaranjados, mas normalmente sua coloração é mascarada pelas clorofilas. Esses pigmentos situam-se nas lamelas dos cloroplastos, em íntima associação com as clorofilas, o que permite a transferência de energia para as clorofilas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O estresse por seca é normalmente caracterizado por perda de clorofila e um declínio progressivo na capacidade fotossintética das plantas. O que leva a análise dos pigmentos fotossintéticos a ser uma importante ferramenta para avaliação da sanidade e integridade dos aparatos internos da célula durante o processo de fotossíntese (RONG-HUA et al., 2006) e fornece uma precisa técnica de detecção e quantificação de plantas tolerantes ao estresse hídrico (JABEEN et al., 2008).

O medidor portátil de clorofila SPAD-502 permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la, fazendo com que tal método seja caracterizado pela simplicidade e rapidez (ARGENTA et al., 2001).

Em adição, medições com SPAD-502 podem ser significativamente correlacionadas com o conteúdo de nitrogênio em folhas de gramíneas temperadas e tropicais, auxiliando, sobremaneira nos processos de seleção e melhoramento de plantas (ARGENTA et al., 2001; GÁBORCÍK, 2003).

As leituras são instantâneas e revelam a intensidade da cor verde da folha (valor correspondente ao teor relativo de clorofila) sem destruí-la. Os valores são calculados pelo equipamento com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de ondas, com diferentes absorbâncias da clorofila (TORRES NETTO et al., 2005; AMARANTE et al., 2010). O medidor de clorofila SPAD-502 pode ser utilizado em plantas intactas em qualquer

Melo, B. L.;

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

momento do processo de crescimento das folhas e os valores obtidos podem ser descritos como índice, valor ou leitura SPAD (MINOLTA, 1989).

Uma boa associação entre o índice SPAD e o conteúdo de clorofila em plantas submetidas a vários regimes hídricos tem sido relatada, por exemplo, em plantas de cana-de-açúcar (JANGPROMMA et al., 2010), amendoim (ARUNYANARK et al., 2009) e sorgo (XU et al., 2000). De acordo com Silva et al. (2013), plantas de cana-de-açúcar com longo tempo de seca, cerca de 90 dias, tiveram redução no índice SPAD, sendo mais severa em genótipos susceptíveis.

As clorofilas localizam-se nos cloroplastos, sendo esta organela o local que se realiza a fotossíntese, a qual possui duas reações importantes: a fotoquímica, nas membranas dos tilacóides e a bioquímica, no estroma do cloroplasto. Tais organelas, além das clorofilas, contêm outros pigmentos denominados acessórios, tais como os carotenóides (carotenos e xantofilas) (LARCHER, 2000; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Ao absorver os fótons (energia luminosa), as moléculas de clorofila modificam-se temporariamente suas configurações eletrônicas, passando do estado basal para o estado excitado, o qual possui nível de energia superior, sendo ainda muito instável e de vida curta. Assim, após absorver os fótons, esses pigmentos podem dissipar o excesso de energia proveniente da luz por meio de quatro formas competitivas: dissipação fotoquímica (utilizada na fotossíntese), fluorescência (re-emissão na forma de luz), conversão direta de energia (retorno da clorofila ao seu estado base sem ocorrer emissão de fótons) e dissipação não-fotoquímica (re-emissão na forma de calor) (TAIZ & ZEIGER, 2004; MAXWELL & JONHSON, 2000).

Os pigmentos fotossintéticos são os principais pigmentos responsáveis pela captação da energia luminosa utilizada no processo de fotossíntese, constitui um dos principais fatores relacionados à eficiência fotossintética de plantas e conseqüentemente ao crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (RÊGO e POSSAMAI, 2004). A energia luminosa utilizada na fotossíntese é absorvida pelos pigmentos fotossintéticos (clorofila a e b e carotenóides). Quando uma luz branca, como a do sol, atinge as clorofilas, é absorvida nos comprimentos de onda correspondentes ao azul e vermelho. A luz verde não é absorvida e sim refletida, o que explica a coloração verde desses pigmentos (LICHTENTHALER, 1987).

Com a adaptação do tecido fotossintético ao escuro, cerca trinta minutos, a fase bioquímica da fotossíntese fica desativada, dessa forma, quando é aplicado um pulso de luz saturante, as moléculas de clorofila se excitam, porém os aceptores de elétrons não estão aptos para recebê-lo. Assim, essa energia é dissipada em forma de fluorescência e de calor (LARCHER e CERNUSCA, 1985).

A fluorescência pode ser medida por um fluorímetro. Esse aparelho fornece várias medidas, entre elas a máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), que é um bom indicador do dano fotoinibitório quando as plantas estão sob efeito de estresse, como frio (BAKER et al., 1983) e seca (ÖGREN E ÖQUIST, 1985).

A adição dos polímeros hidrorretentores ao solo contribui para germinação de sementes, desenvolvimento do sistema radicular, crescimento e desenvolvimento das plantas, redução das perdas de água de irrigação por percolação e melhoria na aeração e drenagem do solo, além de redução das perdas de nutrientes por lixiviação (CÂMARA *et al.*, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2002).

Os polímeros super absorventes podem ser utilizados como condicionadores sintéticos de solo, pois são capazes de absorver um volume até 500 vezes o seu peso. Quando incorporado ao solo podem alterar as características de retenção de água. Os polímeros hidrorretentores podem ser derivados do amido ou do petróleo, que são mais frequentemente utilizados e denominados de poli(acrilamida) ou PAM (GASCUE et al. 2006; SANTANA et al. 2007).

Santoni et al. (2008), relataram que os polímeros super absorventes (Hidrogéis) são formados por redes poliméricas tridimensionais de alto peso molecular e com caráter hidrófilo, capazes de absorver grandes quantidades de água ou fluidos biológicos. Com relação à aparência, são granulares e brancos, formando gel transparente quando hidratado.

Em diversos estudos com polímeros sintéticos, na agricultura (por exemplo: na produção de mudas em casa de vegetação, em horticultura, na cultura do eucalipto, no plantio de gramíneas para produção de sementes e entre outras), observou-se aumento de produtividade, diminuição na frequência de irrigação, otimização no crescimento das plantas, diminuição da taxa de infiltração da água no solo e melhor retenção hídrica com maior disponibilidade para as plantas (MORAES, 2001; AZEVEDO et al. 2002; CALDERÓN et al. 2007; PREVEDELLO; LOYOLA, 2007; SILVA et al. 2008 a; SILVA et al. 2008 b).

MATERIAL E MÉTODOS

Foi avaliado a eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) com auxílio do fluorômetro. Todas as medidas foram realizadas no período da manhã e início do período da tarde, entre às 11h00min e as 13h00min, sempre em dias sem nuvens.

As características de fluorescência foram medidas em folhas intactas usando um fluorômetro modelo (**PAR-FluorPen FP 100-MAX-LM**), que é usado para estimar o grau de fotoinibição induzida pela seca.

Para a realização das leituras foi utilizada a quarta folha expandida de cada muda pré-brotada. Os parâmetros fisiológicos foram medidos três vezes durante o presente estudo, aos 30, 45 e 60 dias do início dos tratamentos com o hidrogel agrícola.

Durante cada data de medição, quatro mudas foram adaptadas à sombra durante 30 minutos, utilizando grampos de folha antes das medições de fluorescência (Figura 1). O parâmetro relação F_v/F_m foi determinado seguindo os procedimentos de Maxwell e Johnson (2000), e usados para quantificar o grau de fotoinibição induzido pela seca.

Figura 1: Mudanças pré-brotadas de cana-de-açúcar adaptadas à sombra para análise de fluorescência



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Índice SPAD foi medido usando-se um clorofilômetro SPAD-502 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EUA) e usando-se a média de três leituras na folha +1.

O índice SPAD corresponde à quantidade de clorofila na folha, porém é uma medida indireta, pois mede a intensidade de cor verde, que é correlacionada com o teor de clorofila. O teor de clorofila foliar foi estimado de forma não destrutivo, registrou-se a média de quatro medições efetuadas em três pontos distintos da mesma folha, nas cinco dosagens de tratamento com o hidrogel agrícola.

Procedimentos Estatísticos

Foi considerado o Delineamento Fatorial, com cinco tratamentos, dosagens do polímero hidrorretentor - (Fator A), três cultivares - (Fator B) com cinco repetições (mudas em copos), sendo

Melo, B. L.;

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

as médias comparadas pelo Teste Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). Também foi aplicada a análise de regressão ($\alpha = 0,05$) a fim de verificar a dosagem ideal do polímero para cada parâmetro (BANZATTO; KRONKA, 1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas e representações gráficas 1, 2 e 3, as médias da Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) observadas durante todo o período do experimento com as doses do hidrogel agrícola utilizado, não foram menores que 0,701, valor que se encontra entre 0,70 e 0,85, intervalo que Silva et al. (2013) descrevem como sendo de plantas que estão com o aparelho fotossintético sem danos. Esse comportamento provavelmente ocorreu devido às condições de temperatura e luminosidade nos dias da avaliação.

TABELA 1: Resultados estatísticos para variável Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 30 dias após os tratamentos (DAT), nos cultivares e tratamentos utilizados

DOSE	Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 30 (DAT)			
	IAC 911099	IAC SP 955000	CTC 9002	MÉDIA
0	0,71 Ca	0,71 Ca	0,70 Ba	0,71 C
5	0,69 Cb	0,82 Aa	0,81 Aa	0,78 B
10	0,70 Cb	0,79 Ba	0,80 Aa	0,77 B
20	0,75 Bb	0,79 Ba	0,80 Aa	0,78 B
40	0,82 Aa	0,78 Bb	0,81 Aa	0,80 A
MÉDIA	0,73 b	0,78 a	0,79 a	
C.V. (%)	3			

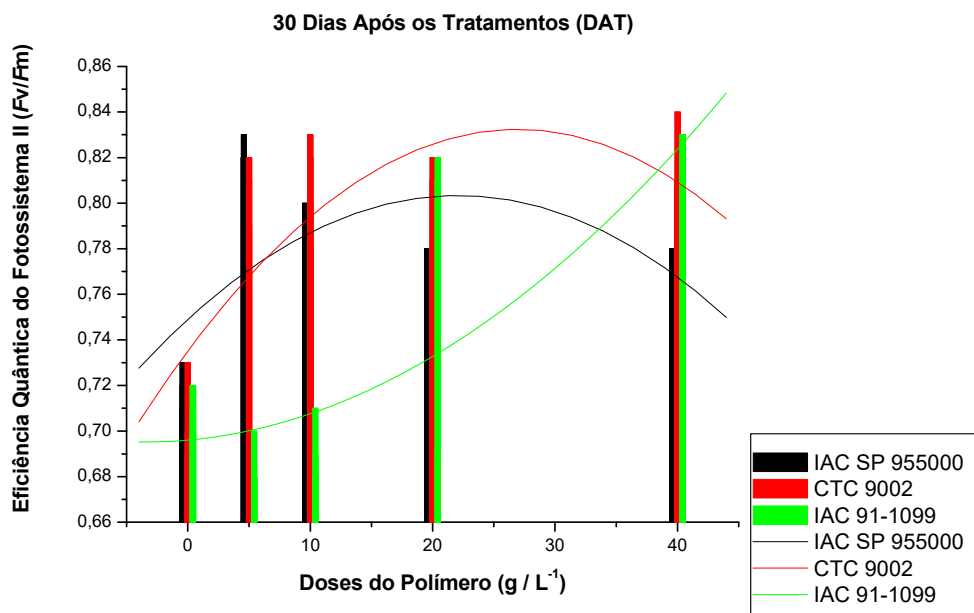
Letras maiúsculas diferença na coluna e letras minúsculas diferença na linha ($p < 0,05$), para teste de contraste entre médias Scott-Knott.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Melo, B. L.;

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

Gráfico 1: Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 30 (DAT) em relação as doses do hidrogel agrícola



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2: Resultados estatísticos para variável Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 45 dias após os tratamentos (DAT), nos cultivares e tratamentos utilizados

DOSE	Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 45 (DAT)			
	IAC 911099	IAC SP 955000	CTC 9002	MÉDIA
0	0,72 Cb	0,77 Aa	0,79 Aa	0,75 B
5	0,74 Cb	0,78 Aa	0,78 Aa	0,77 B
10	0,80 Ba	0,77 Ab	0,78 Ab	0,78 A
20	0,84 Aa	0,74 Bc	0,77 Ab	0,79 A
40	0,84 Aa	0,74 Bc	0,77 Ab	0,79 A
MÉDIA	0,80 a	0,75 c	0,78 b	
C.V. (%)	1,96			

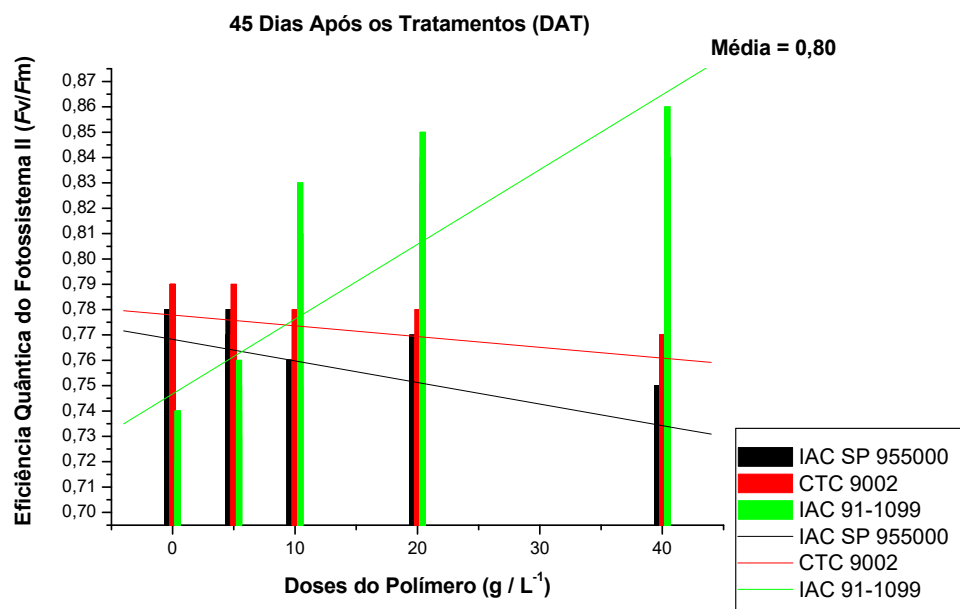
Letras maiúsculas diferença na coluna e letras minúsculas diferença na linha ($p < 0,05$), para teste de contraste entre médias Scott-Knott.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Melo, B. L.;

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

Gráfico 2: Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 45 (DAT) em relação as doses do hidrogel agrícola



Fonte: Elaborado pelo autor.

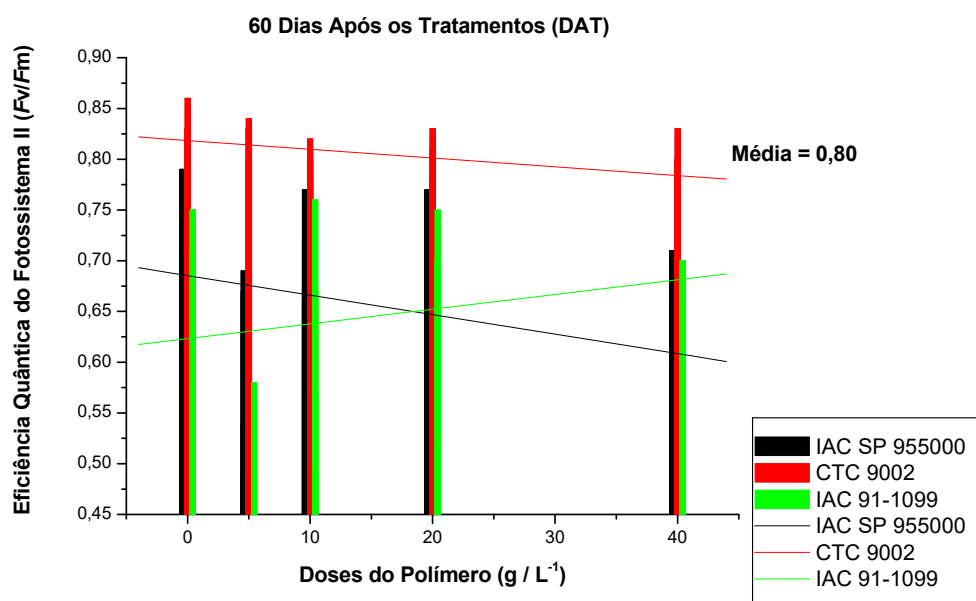
Tabela 3: Resultados estatísticos para variável Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 60 dias após os tratamentos (DAT), nos cultivares e tratamentos utilizados

DOSE	Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 60 (DAT)			
	IAC 911099	IAC SP 955000	CTC 9002	MÉDIA
0	0,70 Ab	0,74 Ab	0,83 Aa	0,76 A
5	0,55 Ab	0,60 Ab	0,82 Aa	0,66 A
10	0,62 Ab	0,69 Ab	0,80 Aa	0,70 A
20	0,67 Aa	0,64 Aa	0,76 Aa	0,69 A
40	0,69 Ab	0,62 Ab	0,80 Aa	0,70 A
MÉDIA	0,64 b	0,66 b	0,80 a	
C.V. (%)	11,29			

Letras maiúsculas diferença na coluna e letras minúsculas diferença na linha ($p < 0,05$), para teste de contraste entre médias Scott-Knott.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3: Eficiência Quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 60 (DAT) em relação as doses do hidrogel agrícola



Fonte: Elaborado pelo autor.

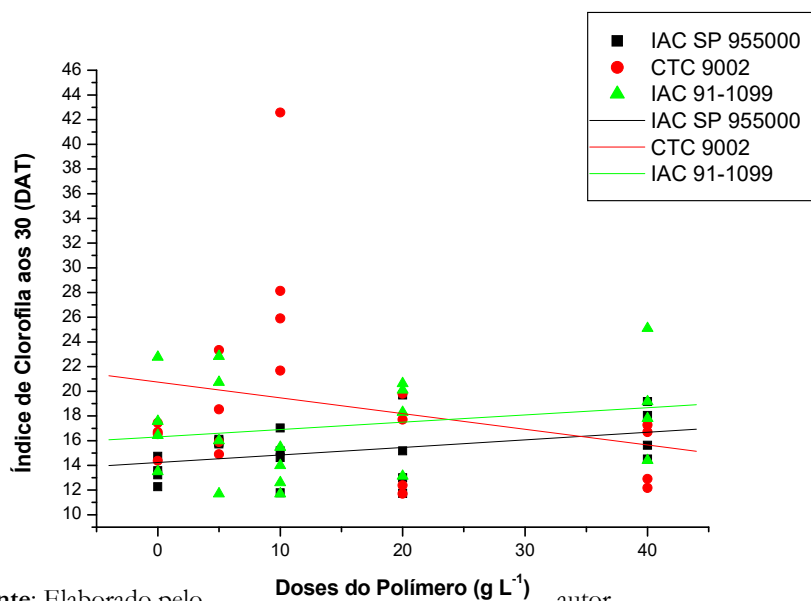
As médias descritas nas tabelas e representações gráficas 1, 2 e 3, são resultados que estão de acordo com Silva et al. (2012) que constataram valores inferiores a 40 de índice SPAD em genótipos de cana-de-açúcar. Para Silva et al. (2007) leituras inferiores a 40 de índice SPAD indicam o início da deficiência de clorofila em cultivares de cana-de-açúcar, o que afeta o processo fotossintético. De acordo com Silva et al. (2012), esse parâmetro é considerado um bom indicador de distúrbios causados nas plantas para seleção de genótipos tolerante a seca.

Tabela 4: Resultados estatísticos para variável Índice de Clorofila aos 30 dias após os tratamentos (DAT), nos cultivares e tratamentos utilizados

DOSE	ÍNDICE DE CLOROFILA AOS 30 (DAT)			
	IAC 911099	IAC SP 955000	CTC 9002	MÉDIA
0	15,33 Aa	14,12 Aa	14,62 Ba	14,69 C
5	24,77 Aa	16,03 Ab	19,17 Bb	19,99 B
10	19,27 Ab	15,16 Ab	35,63 Aa	23,35 A
20	20,48 Aa	16,27 Aa	19,02 Ba	18,60 B
40	19,40 Aa	14,81 Aa	14,13 Ba	16,11 C
MÉDIA	19,85 a	15,28 b	20,51 a	
C.V. (%)	40,09			

Letras maiúsculas diferença na coluna e letras minúsculas diferença na linha ($p < 0,05$), para teste de contraste entre médias Scott-Knott. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

Gráfico 4: Índice de Clorofila aos 30 (DAT) em relação as doses do hidrogel agrícola



Fonte: Elaborado pelo autor.

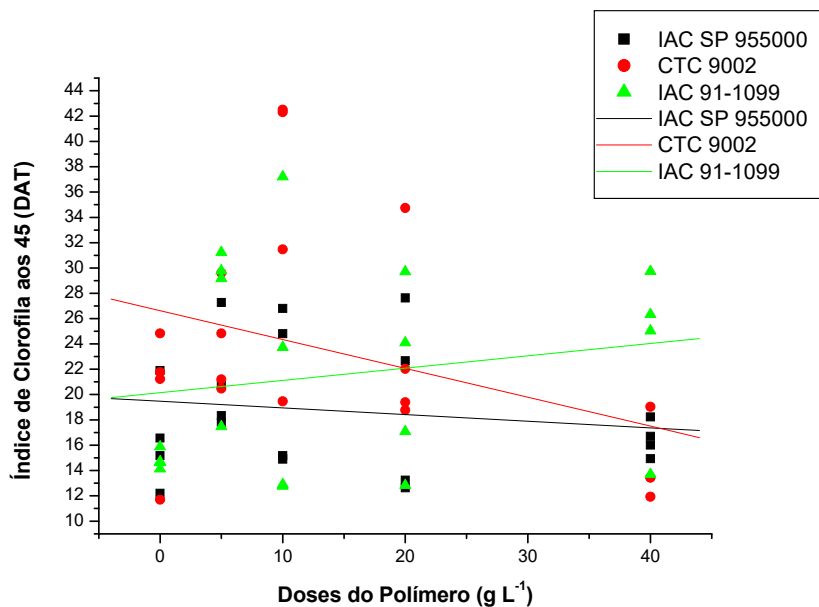
Tabela 5: Resultados estatísticos para variável Índice de Clorofila aos 45 dias após os tratamentos (DAT), nos cultivares e tratamentos utilizados

DOSE	ÍNDICE DE CLOROFILA AOS 45 (DAT)			
	IAC 911099	IAC SP 955000	CTC 9002	MÉDIA
0	17,34 Aa	15,30 Aa	16,60 Ca	16,41 B
5	25,53 Aa	20,19 Aa	24,78 Ba	23,50 A
10	20,50 Ab	19,57 Ab	32,82 Aa	24,30 A
20	21,16 Aa	18,07 Aa	20,82 Ca	20,01 B
40	23,56 Aa	17,12 Ab	14,84 Cb	18,50 B
MÉDIA	21,62 a	18,05 b	21,97 a	
C.V. (%)	35,75			

Letras maiúsculas diferença na coluna e letras minúsculas diferença na linha ($p < 0,05$), para teste de contraste entre médias Scott-Knott.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5: Índice de Clorofila aos 45 (DAT) em relação as doses do hidrogel agrícola



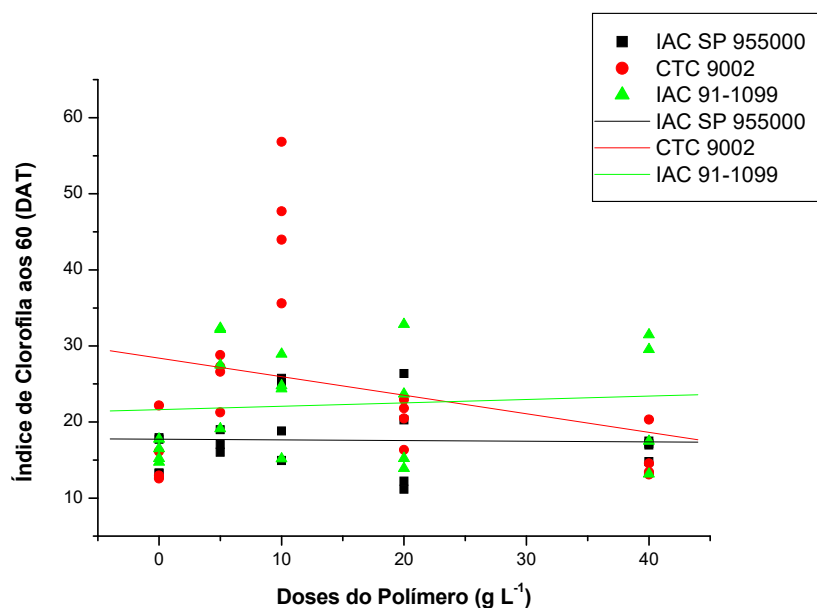
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6: Resultados estatísticos para variável Índice de Clorofila aos 60 dias após os tratamentos (DAT), nos cultivares e tratamentos utilizados.

DOSE	ÍNDICE DE CLOROFILA AOS 60 (DAT)			
	IAC 911099	IAC SP 955000	CTC 9002	MÉDIA
0	15,78 Aa	16,04 Aa	20,88 Ba	17,57 B
5	22,21 Aa	17,99 Aa	24,23 Ba	21,48 B
10	18,63 Ab	21,44 Ab	41,07 Aa	27,05 A
20	18,74 Aa	17,11 Aa	19,67 Ba	18,50 B
40	22,77 Aa	17,98 Ab	15,61 Bb	18,79 B
MÉDIA	19,63 b	18,11 b	24,29 a	
C.V. (%)	35,26			

Letras maiúsculas diferença na coluna e letras minúsculas diferença na linha ($p < 0,05$), para teste de contraste entre médias Scott-Knott.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÃO

Através dos parâmetros fisiológicos analisados, pode-se observar que o polímero hidrorretentor incorporado ao substrato agrícola promoveu um maior número de perfilho nas mudas e permitiu um crescimento vegetativo mais rápido e com economia de água.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; SANGOI, L.; ZANARDI, O. Z.; MIQUELOTO, A.; SCHWEITZER, C. Quantificação de clorofilas em folhas de milho através de métodos ópticos não destrutivos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 9, n. 1, p. 39-50, 2010.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.

ARUNYANARK, A.; JOGLOY, S.; VORASOOT, N.; AKKASAENG, C.; KESMALA T.; PATANOTHAI, A. Stability of relationship between chlorophyll density and soil plant analysis development chlorophyll meter readings in peanut across different drought stress conditions. *Asian Journal of Plant Science*, Nova York, v. 8, n. 2, p. 102-110, 2009.

Melo, B. L.;

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A.; TAS, P. S. L., FRIZZONE, J. A. Níveis de polímero superabsorvente, frequência de irrigação e crescimento de mudas de café. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 5. p. 1239 - 1243, 2002.

BAKER, N. R.; EAST, T. M.; LONG, S. P. Chilling damage to photosynthesis in young Zea Mays. *Journal Experimental Botany*, Oxford, v. 34, n. 2, p. 139-189, 1983.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1992.

BARBIERI, V. *Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (Saccharum spp.)*. 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

CALDERÓN, M. et al. Diseño de una asignatura sobre la ciencia de los polímeros. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Madrid, v. 8, n. 1, 2007.

CÂMARA, G. R.; REIS, D. F.; ARAÚJO, G. L.; CAZOTTI, M. M.; DONATELLI JUNIOR, E. J. Avaliação do desenvolvimento do cafeeiro *Conilon robusta* tropical mediante uso de polímeros hidrorretentores e diferentes turnos de rega. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 7, n. 13; p. 135 - 146, 2011.

COTTHEM, W. V. *O papel de Terracottem como um absorvente universal*. Bélgica: Ghent, 1998.

DUSI, D. M. *Efeito da adição do polímero hidrorretentor na eficiência da adubação nitrogenada no crescimento de Brachiaria decumbens cv. Basilisk, em dois diferentes substratos*. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GÁBORCÍK, N. Relationship between contents of Chlorophyll (*a+b*) (SPAD values) and nitrogen of some temperature grasses. *Photosynthetica*, Slovakia, v. 41, n. 2, p. 285-287, 2003.

GASCUE, B. R. de. et al. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Madrid, v. 7, n. 3, p. 199-210, 2006.

JABEEN, F.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. *Pakistan Journal of Botany*, Islamabad, v. 40, n. 6, p. 2329-2343, 2008.

JANGPROMMA, N.; SONGSRI, P.; THAMMASIRIRAK, S.; JAISIL, P. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a spad chlorophyll meter across different water stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, Nova York, v. 9, n. 6, p. 368-374, 2010.

LARCHER, W.; CERNUSCA, A. Mikrocomputergesteuerte mobile Anlage zum fluorometrischen Nachweis Von Photosynthesestörungen. *Bericht der Oesterreichische Akademie der Wissenschaften*, Vienna, v. 194, p. 45, 1985.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RIMA, 2000. P. 531.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology*, Londres, v. 148, p. 350-382, 1987.

MARQUES, P. A. A.; BASTOS, R. O. Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava, v. 3, n. 2, p. 53 - 57, 2010.

Melo, B. L.;

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

MAXWELL C.; JOHNSON, G.M. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 51, p. 659-668, 2000.

MINOLTA CAMERA C., Ltda. Manual for chlorophyll meter SPAD 502. Osaka, Minolta, *Radiometric Instruments divisions*. 1989. 22p.

MORAES, O.; BOTREL, T. A.; DIAS, C. T. S. Efeito do uso de polímero hidrorretentor no solo sobre intervalo de irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). *Engenharia Rural*, Piracicaba, v. 12, p. 73 - 80, 2001.

OGREN, E.; OQUIST, G. Effect of drought on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition susceptibility in intact willow leaves. *Planta*, Berlin, v. 166, n. 3, p. 380-388, 1985.

PREVEDELLO, C. L.; LOYOLA, J. M. T. Efeito de polímeros hidrorretentores na infiltração da água no Solo. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 313-317, 2007.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. *Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas de Jequitibá-Rosa (Cariniana legalis)*. Colombo: EMBRAPA, 2004. (Comunicado Técnico, 128).

RODRIGUES, J.D. *Fisiologia da cana-de-açúcar*. UNESP, Instituto de Biociências. 1995. 99 p. Disponível em: <http://www.residenciaagronomica.ufpr.br/bibliografia/MATURAD.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

RONG-HUA, L. I.; PEI-POL, G. U. O.; BAUMZ, M.; GRANDO, S.; CECCARELLI, S. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, Oxford, v. 5, n. 10, p. 551-557, 2006.

SANTANA, B. H. et al. Efecto del hidrogel sobre el rendimiento de semilla en tres cultivares de *Brachiaria spp* en el valle de Iguala, gro., México. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*, Málaga, v. 8, n. 9, 2007.

SANTONI, N. et al. Caracterización de Hidrogeles de quitosano entrecruzados covalentemente con Genipina. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Madrid, v. 9, n. 3, p. 326-330, 2008.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters to detect differences in drought tolerance among sugarcane genotypes. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 26; 2007, Durban. *Proceedings...* Durban: ISSCT, p. 541-547, 2007.

SILVA, M. de A. et al. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. *Scientia Agraria*, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008a.

SILVA, M. de A. et al. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. *Revista Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 3, p. 655-661, 2008b.

SILVA, M. I. *Embriogênese somática indireta de duas variedades RB de cana-de-açúcar*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo – AL, 86p, 2012.

SILVA, M. de A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G. da; SANTOS, C. M. dos; SHARMA, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, First View, doi: 10.1017/S0021859612000834, 2013.

Melo, B. L.;

Influência do Hidrogel Agrícola em Relação aos Parâmetros Fotossintéticos em Mudanças de Cana-de-açúcar

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W. do; HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 4. ed., Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 4. ed., Porto Alegre: Artmed, 2009, 820p.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.

XU, W.; ROSENOW D. T.; NGUYEN, H. T. Stay green trait in grain sorghum: Relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration. *Plant Breeding*, Berlin, v. 119, n. 4, p. 365-367, 2000.

1 MELO, Bruno de Lima. Biólogo; Especialista em Avaliação do Ensino e da Aprendizagem; Especialista em Tutoria em Ensino a Distância (EAD) e Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, todos pela Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE). Possui experiência nas áreas de Genética e Biotecnologia Vegetal, Agroecologia, Sustentabilidade na Produção de Alimentos (Agricultura Sustentável e Segurança Alimentar), Meio Ambiente, Microbiologia e Higiene de Alimentos, Ecogastronomia e Docência no Ensino Superior. Atuando principalmente nos seguintes temas: Técnicas de cultivo in vitro e manipulação de células e tecidos vegetais; Manutenção de cultivos celulares in vitro de cultivares de cana-de-açúcar; Avaliação de novas composições de meio de cultura contendo substâncias antioxidantes e Biotécnicas aplicadas ao aumento da produção vegetal através do sistema denominado de Mudanças Pré-Brotadas bruno_melo_blm@hotmail.com

Cultivo *in vitro* de sorgo

Alves, Rita de Cássia Malho
Nascimento, Daniela Defavari do

Resumo

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é um dos principais cereais plantados no mundo, destinado tanto à alimentação humana quanto de animais. O Sorgo é considerado resistente para a regeneração de plantas e transformação genética. Um dos fatores que influencia diretamente é a quantidade excessiva de compostos fenólicos, que podem causar oxidação e, portanto, possível perda do material vegetal. Existem vários fatores que influenciam na cultura de tecidos do sorgo, são eles: o genótipo, período de coleta do explante e a composição do meio de cultura. Contudo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a multiplicação *in vitro* de explantes de sorgo em meio de cultura de MS e o uso de reguladores vegetais, visando obtenção de brotos desenvolvidos e com enraizamento para produção de mudas saudáveis e selecionadas. Para a realização do projeto foram utilizadas diferentes concentrações de reguladores vegetais, sendo: T1: controle MS sem fitorreguladores, T2: MS + 2 mg L⁻¹ de 2,4-D, T3: 2 mg L⁻¹ de 2,4-D e apenas metade das concentrações de sais e vitaminas da formulação MS, T4: MS + 2 mg L⁻¹ de TDZ, e T5: 2 mg L⁻¹ de TDZ e apenas metade das concentrações de sais e vitaminas da formulação MS. Os explantes inoculados em meio contendo 2,4-D, mostraram resultado satisfatório no final do trabalho. Já os explantes no tratamento contendo TDZ, inicialmente levaram ao desenvolvimento de calos, porém rapidamente evoluíram para oxidação. Assim, 2,4-D parece ser mais favorável no cultivo *in vitro* de sorgo que TDZ.

Palavras-chave: Sorgo, cultivo *in vitro*, reguladores vegetais.

Abstract

Sorghum (Sorghum bicolor) is one of the world's leading grain crops, intended for both human and animal consumption. Sorghum is considered resistant to plant regeneration and genetic transformation. One of the factors that directly influences is the excessive amount of phenolic compounds, which can cause oxidation and, therefore, possible loss of plant material. There are several factors that influence the tissue culture of sorghum, they are: the genotype, the explant period and the composition of the culture medium. However, the objective of this work was to evaluate the *in vitro* multiplication of sorghum explants in MS medium and the use of plant regulators, aiming to obtain developed and rooted seedlings for the production of healthy and selected seedlings. In order to carry out the project, different concentrations of plant regulators were used: T1: control MS with no phyto regulator added, T2: MS + 2 mg L⁻¹ 2,4-D, T3: 2 mg L⁻¹ 2,4-D and only half the salt and vitamin concentration of MS formulation, T4: MS + 2 mg L⁻¹ TDZ, and T5: 2 mg L⁻¹ TDZ and only half the salt and vitamin concentration of MS formulation. The explants inoculated in medium containing 2,4-D, showed a satisfactory result at the end of the work. On the other hand, the explants in the treatment containing TDZ, in the beginning, had the development of calluses, but evolved to oxidation soon. By this way, 2,4-D seems to be better for sorghum *in vitro* than TDZ.

Key-words: Sorghum, *in vitro* culture, plant regulators.

Resumen

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es uno de los principales cereales plantados en el mundo, destinado a la alimentación humana y animal. El sorgo se considera resistente a la regeneración de las plantas y a la transformación genética. Uno de los factores que influye directamente es la cantidad excesiva de compuestos

fenólicos, que pueden causar oxidación y, por lo tanto, la posible pérdida de material vegetal. Existen varios factores que influyen en el cultivo de tejido de sorgo, a saber: genotipo, período de recolección de explantes y composición del medio de cultivo. Sin embargo, el objetivo de este trabajo fue evaluar la multiplicación in vitro de los explantes de sorgo en medio de cultivo de MS y el uso de reguladores de plantas, con el objetivo de obtener brotes desarrollados y enraizados para producir plántulas sanas y seleccionadas. Para la realización del proyecto se utilizaron diferentes concentraciones de reguladores de plantas: T1: MS sin reguladores, T2: MS + 2 mg L^{-1} 2,4-D, T3: 2 mg L^{-1} 2,4-D y solo la mitad de las concentraciones de sal y vitaminas de la formulación de MS, T4: MS + 2 mg L^{-1} de TDZ, y T5: 2 mg L^{-1} de TDZ y solo la mitad de las concentraciones de sal y vitaminas de la formulación de MS. Los explantes inoculados en medio que contenía 2,4-D mostraron un resultado satisfactorio al final del trabajo. Los explantes en el tratamiento que contenía TDZ, al principio, desarrollaron callos, pero evolucionaron rápidamente en oxidación. Por lo tanto, el 2,4-D parece ser más favorable en el cultivo de sorgo in vitro que el TDZ.

Palabras clave: sorgo, cultivo in vitro, reguladores de plantas.

INTRODUÇÃO

A biotecnologia de plantas tem colaborado para a área produtiva, de diversas formas, dentre elas os estudos para a propagação clonal de plantas livres de contaminação (TORRES et al, 1998).

O procedimento de cultura de tecidos é utilizado para a replicação de espécies de difícil propagação. Exemplos de espécies, seriam, abacaxi, morango, citrus, batata entre outros (FERREIRA et al, 1998). Existem algumas técnicas específicas dentro da cultura de tecidos, um exemplo é Micropropagação. A Micropropagação é um método de propagação vegetativa que apresenta vantagens em sua utilização, como possibilidades de se obter várias plantas a partir de um único explante inicial, independentemente de sazonalidade, a reprodução do genótipo da planta-mãe, e geralmente tem como finalidade durante a multiplicação, a propagação vegetativa de espécies difíceis de serem propagadas por outros métodos (ERIG; SCHUCH, 2005).

De acordo com Mantell et al. (1994), no cultivo *in vitro* pode-se esperar diversas respostas em relação ao explante, devido ao estado fisiológico, bioquímico e de desenvolvimento.

Para alcançar o desenvolvimento do tecido na cultura *in vitro* é preciso considerar três fatores: o genótipo (espécie, cultivar ou variedade a ser utilizada), a fonte de explante (raiz, caule, folha, meristema, entre outros) e a condição da cultura (meio de cultura, temperatura e o frasco a ser utilizado) (ANDRADE, 2000).

Portanto, o cultivo de tecidos tem como definição um conjunto de técnicas onde é possível a cultura de órgãos, tecidos, células e protoplastos em condições de assepsia, empregando meios nutritivos. Essas técnicas são aplicadas para a obtenção de plantas livres de patógenos, propagação massiva de plantas, conservação de germoplasma, e melhora por mutagênese *in vitro* (PIZA; PINHO, 2002).

Porém, o gênero *Sorghum* é considerado recalcitrante para a regeneração de plantas e transformação genética (RAGHUWANSHI; BIRCH, 2010). Um dos fatores que influencia diretamente é a produção excessiva de compostos fenólicos, que causam a oxidação e conseqüentemente a possível perda do material vegetal (NGUYEN et al., 2007). A fim de reduzir a produção dos compostos fenólicos são utilizados agentes antioxidantes (NGUYEN et al., 2007). Muitos fatores influenciam na cultura de tecidos do sorgo, entre eles estão: o genótipo, a idade do explante e a composição do meio de cultura (INDRA; KRISHNAVENI, 2009).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil a cultura do sorgo é uma das que mais cresce, tendo importância estratégica, no abastecimento de grãos e forragem (RODRIGUES et al., 2008).

De acordo com Schimidt (1987), existem quatro tipos de sorgo: o granífero, sacarino, o forrageiro e o vassoura. O sorgo granífero é mais consumido na África e Ásia como farinha para complementar a dieta, no entanto nos países mais desenvolvidos esse tipo de farinha é utilizado para substituir o milho na alimentação animal (bovinos, suínos e aves). O mesmo pode ser aproveitado na produção de álcool, amido, cera, cerveja, óleo entre outros. Já o sorgo sacarino contém um valor elevado de açúcar em seus colmos, assim podendo ser utilizado na área de biocombustíveis. O sorgo forrageiro é o mais utilizado entre os produtores brasileiros decorrente a sua alta produtividade, qualidade para a fabricação de ração animal e versatilidade, também podendo ser utilizado para a produção de feno. O sorgo vassoura é utilizado para a produção de vassouras.

Considerado uma das alternativas para a alimentação animal, a cultura do sorgo forrageiro, tem papel importante nas principais regiões, onde estão concentrados os maiores rebanhos do Brasil (ALVARENGA et al., 2007).

Tabosa et al, (1987), descreve o sorgo como uma planta típica de clima quente com atributos xerófilas, além de não possuir muita exigência nutricional. É tolerante ao déficit hídrico e a inundações, podendo ser cultivado em locais próximos a rios (ROONEY et al., 2007).

O cultivo de sorgo, também apresenta algumas limitações como: falta de tradição da cultura, lento estabelecimento inicial da lavoura, existência de poucos herbicidas seletivos para sorgo, sensibilidade ao frio, susceptibilidade a ataque de pássaros e possibilidade de acamamento principalmente em cultivares de porte alto (MIRANDA et al., 2007).

Em contrapartida aos outros cereais, o sorgo não necessita tanto de água para se desenvolver, porém, seu período mais crítico à falta de água é o florescimento. Segundo Santos et al. (1996), a planta de sorgo consegue adaptar-se a vários ambientes, principalmente a condições hídricas desfavoráveis e, portanto, é possível que o cultivo seja apto para se desenvolver em regiões em que a distribuição de chuvas é irregular.

De acordo com Diniz (2010), o sorgo é sensível a baixas temperaturas por ser de origem tropical. A temperatura adequada para sementeira está por volta de 33-34°C. Quando a temperatura passa de 38°C ou cai para abaixo de 16°C, a produtividade diminui. As baixas temperaturas podem causar redução de folhas, perfilhamento, menor altura, acúmulo de matéria seca e atraso na data de floração. Isto acontece por causa da redução da síntese de clorofila, especialmente nas folhas que se formam primeiro na planta jovem, e conseqüentemente a redução da fotossíntese.

De acordo com a Embrapa (2010) as principais doenças que afetam economicamente a produção do Sorgo no Brasil, são a podridão das sementes e doenças que podem afetar a germinação e o desenvolvimento inicial.

METODOLOGIA

Para realizar a assepsia, as sementes foram lavadas com detergente neutro durante cinco minutos e transferidas para recipiente com água destilada autoclavada. Após a lavagem, as sementes foram levadas para câmara de fluxo laminar para realizar a assepsia com solução de hipoclorito de sódio comercial (3:1) por 60 minutos, seguida de lavagem em solução de etanol 70% (v/v) por 5 minutos. Posteriormente, foram enxaguadas em água autoclavada e inoculadas nos meios de cultura.

Estabelecimento *in vitro*

Os tratamentos foram baseados em ensaios pilotos (HOSAKA, 2014) para o cultivo *in vitro* de sorgo, e com isso foram realizados os seguintes tratamentos: T1 – MS conforme sugerido por Murashige; Skoog (1962); T2 – MS + 2 mg L⁻¹ de 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético); T3 – 50% dos sais do meio MS + 2 mg L⁻¹ de 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético); T4 - MS + 2 mg L⁻¹ de TDZ (*Thidiazuron*); T5 - 50% dos sais do meio MS + 2 mg L⁻¹ de TDZ (*Thidiazuron*). Todos os tratamentos foram suplementados com sacarose (30 g L⁻¹) e agente solidificante *phytagel* (2,4 g L⁻¹). O pH foi aferido para 5,7±1 antes da autoclavagem (esterilização) a 120°C e 1 Kg f cm⁻¹ por quinze minutos.

A incubação foi realizada em sala climatizada de crescimento com temperatura 25 °C, sob fotoperíodo de 16 horas de luz, como mostra a figura 2.

Variáveis avaliadas

Os explantes foram avaliados a cada 30 dias, contados da data de inoculação, período esse que compreende a fase de estabelecimento da cultura. As variáveis avaliadas foram: porcentagem de embriões de sorgo sobreviventes e porcentagem de gemas apicais e embriões crescidos, determinado através da avaliação visual do aparecimento de folhas, gemas laterais e calos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sementes foram inoculadas em meio MS sem adição de fitorreguladores, visando evitar que as concentrações destes nos tratamentos (T2, T3, T4 e T5) pudessem interferir na germinação. Assim, as sementes foram germinadas em meio MS (T1) e posteriormente, as plantas germinadas *in vitro* foram usadas como fonte de explantes (caules e raízes) para inoculação em todos os tratamentos (T1 a T5).

O tratamento 1 apresentou grande porcentagem de oxidação, embora alguns explantes tenham se desenvolvido mesmo oxidados. Os explantes que se desenvolveram, apresentaram aspectos favoráveis (coloração, formato do caule) como mostra a figura 1A. De início o tratamento 2 não mostrava um bom resultado, no entanto, alguns meses depois houve desenvolvimento de calos. Todos os calos desenvolvidos nesse tratamento apresentaram aspecto denso e coloração clara (Figura 1B). Em contrapartida ao tratamento 2, o T3 apresentou uma porcentagem menor no desenvolvimento de calos, e uma maior porcentagem de oxidação, embora mesmo depois de oxidado apresentou crescimento de folhas nas extremidades e calos (Figura 1C).

De maneira geral, foi possível perceber que os explantes tendem a se desenvolver nos tratamentos T2 e T3, porém, devido à presença do 2,4-D, parecem tender a oxidar e morrer. Santos et al., 2005, quando avaliava o cultivo in vitro de *Salix* (*Salix humboldtiana* Willd), observou que o 2,4-D, possivelmente, causava o efeito tóxico no desenvolvimento da planta. Bravo (2005) e González (2002), mencionam que a oxidação das plantas, deve-se a formação de compostos fenólicos, que por consequência sofrem oxidação por algumas enzimas, o tipo e idade do explante.

No tratamento 4 houve uma grande porcentagem de oxidação. Também apresentou crescimento nas laterais e parte área com coloração verde, mesmo depois de oxidados. Não se observou o desenvolvimento de calos, mas apresentou crescimento embora desuniforme. No tratamento 5 também houve grande porcentagem de oxidação e morte de explantes, que desenvolveram parte área e crescimento desuniformes no caule (Figura 1D).

Figura 1. (A) explante (raiz) inoculado no T1, apresentou várias brotações de um mesmo explantes. (B) Explante (raízes) inoculado no tratamento 2, foi observado crescimento de calo, também apresentava deformidade no crescimento. (C) A Raiz inoculada em T3 também apresentou oxidação e formação de calos. (D) Explante inoculado no tratamento 5, nota-se crescimento com deformidades.



Fonte: Autora, 2019.

De início, o tratamento em que foi adicionado $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ TDZ e com metade da concentração da formulação de sais e vitaminas de MS (T5), mostrou resultados mais satisfatórios em comparação aos outros tratamentos, pois os explantes que foram inoculados em TDZ apresentaram maior formação de calos e menos oxidação, que os explantes inoculados em 2,4-D. O efeito do TDZ no alongamento dos brotos é pela sua alta atividade e estabilidade nos tecidos (HUETTEMAN; PREECE, 1993). Soares et al. (2011), relatou menor formação de brotos com a utilização do TDZ, isso deve-se ao fato dessa citocinina ser mais ativa biologicamente do que as outras. Costa et al. (2012), utilizou diferentes concentrações de TDZ ($0,01 \text{ mg L}^{-1}$; $0,02 \text{ mg L}^{-1}$; $0,03 \text{ mg L}^{-1}$; $0,04 \text{ mg L}^{-1}$; $0,05 \text{ mg L}^{-1}$), e não observou aumento positivo significativamente para os cultivares avaliados. No entanto, ao longo do desenvolvimento do trabalho, o 2,4-D foi mostrando-se mais eficaz, apresentando maior formação de calos, em comparação aos tratamentos contendo TDZ.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das principais dificuldades no cultivo in vitro do sorgo neste trabalho foi a contaminação, mesmo com todos os cuidados com assepsia dos explantes.

Os explantes inoculados em meio contendo 2,4-D, apresentaram resultados satisfatórios no final do trabalho. Já os explantes no tratamento contendo TDZ, de início, havia o desenvolvimento de calos, porém, rapidamente evoluíram para oxidação.

Apesar dos tratamentos com 2,4-D também apresentarem oxidação fenólica, não houve inviabilidade na formação de calos para T2 e T3 (T2 – MS + 2 mg L⁻¹ de 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético); T3 – 50% dos sais do meio MS + 2 mg L⁻¹ de 2,4-D).

Visando micropropagação, o uso de explante de raiz inoculado em meio MS (sem fitorreguladores) se mostrou a melhor opção, apresentando grande quantidade de brotações laterais.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M. RAMALHO, J. H.; GARCIA, J. C.; CASTRO, A. D. N. *Sistema de Integração Lavoura-Pecuária: o modelo Implantado na Embrapa Milho e Sorgo*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 93)

ANDRADE, S.R.M. de. Princípios da cultura de tecidos vegetais. EMBRAPA, 2012. 14p. CID, L.P.B. A Propagação in vitro de plantas. O que é isso? *Revista Biotecnologia Ciência & desenvolvimento*. V. 2, n. 25. 2000. 6p.

BRAVO, C.D.V. *Controle genético e histogênese na regeneração de progênies de Eucalyptus grandis*. 2005. 80 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

COSTA Leozina de Carvalho da; LEMOS Oriel Filgueira de; SILVA Ariane Souza da; SANTOS Lana Roberta Reis dos. *Efeito do TDZ (thidiazuron) na indução de gemas em duas cultivares de pimenta-do-reino*. 16º Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA. Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA. 2012.

DINIZ, G. M. M. *Produção de Sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) Aspectos Gerais*. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2010.

EMBRAPA Milho e Sorgo. Edição 15/04/2010. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/noticias/mostranoticia.php?codigo=593>. Acessado em 14/10/2018.

ERIG, A. C.; SCHUCH, M. W. Estabelecimento *in vitro* de mirtilo a partir de segmentos nodais. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 6, n. 1/2, p. 91-96, 2005.

FERREIRA, M. A.; CALDAS L. S.; PEREIRA E. A. Aplicações da cultura de tecidos no melhoramento genético de plantas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO J. A. Cultura de tecidos e transformação genética de plantas. Brasília: *Embrapa SPI: Embrapa CNPH*. v. 1, p. 21-43, 1998.

GONZÁLEZ, E. R.; ANDRADE, A.; BERTOLO, A. L.; LACERDA, G. C.; CARNEIRO, R. T.; DEFÁVARI, V. A. P.; LABATE, M. T. V.; LABATE, C. A. Production of transgenic

Eucalyptus grandis x E. urophylla using the sonification-assisted Agrobacterium transformation (SAAT) system. *Functional Plant Biology*, Collingwood, v. 29, p. 97-102, 2002.

HOSAKA, G. K. *Estabelecimento de protocolo de cultura de tecidos de Sorghum bicolor*. Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014. 74 p.

HUETTEMAN, C. A.; PREECE, J. E. Thidiazuron: a potent cytokinin for woody plant tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v. 33, n. 2, p. 105-19, 1993.

INDRA, A. P.; KRISHNAVENI, S. Effect of hormones, explants and genotypes in *in vitro* culturing of sorghum. *Journal of Biochemical Technology*, Mumbai, v. 1, n. 4, p. 96–103, 2009.

INDRA, A.P.; KRISHNAVENI, S. Effect of hormones, explants and genotypes in *in vitro* culturing of sorghum. *Journal of Biochemical Technology*, Mumbai, v. 1, n. 4, p. 96–103, 2009.

MANTELL, S. H.; MATTHEWS, J. A.; MACKEE, R. A. Princípios de biotecnologia em plantas: uma introdução à engenharia genética em plantas. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto: *Revista Brasileira de Genética*, 1994. 344 p.

MIRANDA, J. E. C.; PEREIRA, J. R.; *Tipos de Sorgo para Silagem* -Embrapa Gado de Leite, Artigo técnico Outubro de 2001-Disponível em: <http://www.centraldapecuaria.com.br/>. Acesso em: 20 setembro 2018.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

NGUYEN, T.-V.; THANH THU, T.; CLAEYS, M.; ANGENON, G. Agrobacterium mediated transformation of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using an improved *in vitro* regeneration system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, Dordrecht, v. 91, n. 2, p. 155–164, 2007.

PIZA, I. M. de T. PINHO, R. S. Protocolo de micropropagação da mandioca. In: CAGNON, J. R.; CEREDA, M. P.; PANTAROTTO, S. In: *CULTURA de tuberosas amiláceas latino-americanas*. Campinas: Fundação Cargill, 2002. (Série cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas, 2).

RAGHUWANSHI, A.; BIRCH, R.G. Genetic transformation of sweet sorghum. *Plant Cell Reports*, Berlin, v. 29, n. 9, p. 997–1005, 2010.

RODRIGUES, J. A. S. R.; Santos, F. G.; Shaffert, R. E.; Ferreira, A S.; Casela, C. R.; Pitta, G. V. E. *BRS 610* – híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008, 3p. Comunicado Técnico, 102.

ROONEY, W. L.; BLUMENTHAL, J.; BEAN, B.; MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Chichester, v. 1, n. 2, p. 147–157, 2007.

SANTOS, F. G.; COSTA, E. F.; RODRIGUES, J. A. S.; LEITE, C. E. P.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação do comportamento de genótipos de sorgo para resistência à seca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. *Resumos...* Londrina: IAPAR, 1996. p. 32.

SCHIMIDT, A.A.P. *Sorgo*. São Paulo: Ícone, 1987. 63 p.

SOARES, F. P; PAIVA, R.; ALVARENGA, A. A.; NERY, F. C; VARGAS, D. P; SILVA, D. R. G. Taxa de multiplicação e efeito residual de diferentes fontes de citocinina no cultivo *in vitro* de *Hancornia speciosa*. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 35, n. 1, p. 152-157, jan./fev., 2011.

TABOSA, J. N.; LIMA, G. S.; LIRA, M. A.; TAVARES FILHO, J. J.; BRITO, A. R. M. B. Programa de melhoramento de sorgo e milho em Pernambuco. In: QUEIRÓZ, M.A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. *Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.

TORRES A. C; CALDAS L. S.; BUZZO J. A. (Eds). *Cultura de Tecidos e Transformação Genética de Plantas*. v. 1. e 2. Brasília, Embrapa, 864p. 1998.

1 ALVES, Rita de Cássia Malho. É Tecnóloga em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”

2 NASCIMENTO, Daniela Defavari do. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade de São Paulo (1997), graduação em Licenciatura Em Ciências Agrárias pela ESALQ/USP (1998), mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela ESALQ/USP (2000) e doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela ESALQ/USP (2005). Atualmente cursa MBA em Agronegócios pelo PECEGE/ESALQ/USP. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Bioquímica e Biologia Molecular, atuando principalmente nos seguintes temas: cultura de tecidos, micropropagação de plantas, clonagem gênica, transformação genética de plantas (Tabaco, Arabidopsis, Eucalipto e cana-de-açúcar), análises moleculares, DNA e RNA. Seleção e identificação molecular de: bactérias envolvidas na produção de biogás; e de leveduras para produção de cervejas artesanais.

Energy and Mechanical Characterization of Briquettes Made from Waste

Silva, Diego Aleixo da
Carvalho, Natália Rodrigues de
Alesi, Letícia Sant'Anna
Varanda, Luciano Donizeti
Belini, Gabriela Bertoni
Caraschi, José Cláudio
Pádua, Franciane Andrade de
Yamaji, Fabio Minoru

Abstract

The biomass briquettes can produce a higher quality solid biofuel than the residual biomass material. The objective of this work was to evaluate the use of paraffin as a binder in the sorghum briquettes formation. Three treatments were used: (T1) 100% sorghum + without heating; (T2) 96% sorghum + 4% paraffin + without heating and (T3) 96% sorghum + 4% paraffin + heating. Some biomass characteristics were observed such as: moisture content, bulk density and energy characteristics (fixed carbon, volatile, ashes and high heating value). The mechanical characteristics (expansion, maximum strength at the moment of rupture and friability) were also evaluated. The high heating value of the biomass without and with paraffin were 4446 kcal.kg⁻¹ and 7.144,96 kcal.kg⁻¹, respectively. T3 provided better results with a size stabilization after 6 hours, a mechanical resistance of 0.75 MPa and a friability index of 0.96%. All treatments were classified as very poorly friable materials. The briquetting process improved the biomass density and decreased the moisture content minimizing transport and storage costs.

Keywords: biomass, binder, biofuel, compaction.

Resumo

Os briquetes de biomassa podem produzir um biocombustível sólido de qualidade superior ao material de biomassa residual. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de parafina como ligante na formação de briquetes de sorgo. Foram utilizados três tratamentos: (T1) 100% sorgo + sem aquecimento; (T2) 96% sorgo + 4% parafina + sem aquecimento e (T3) 96% sorgo + 4% parafina + aquecimento. Algumas características da biomassa foram observadas, tais como: teor de umidade, densidade aparente e características de energia (carbono fixo, volátil, cinzas e poder calorífico superior). As características mecânicas (expansão, resistência máxima no momento da ruptura e friabilidade) também foram avaliadas. O poder calorífico superior (PCS) da biomassa sem e com parafina foi de 4446 kcal.kg⁻¹ e 7.144,96 kcal.kg⁻¹, respectivamente. O tratamento T3 apresentou melhores resultados com estabilização dimensional em 6 horas após a briquetagem, resistência mecânica de 0,75 MPa e índice de friabilidade de 0,96%. Todos os tratamentos foram classificados como materiais muito pouco friáveis. O processo de briquetagem aumentou a densidade do combustível (briquetes) e diminuiu o teor de umidade, minimizando os custos de transporte e armazenamento.

Palavras-chave: biomassa, biocombustível, aglutinante, compactação.

Resumen

Las briquetas de biomasa pueden producir un biocombustible sólido de mayor calidad que el material de biomasa residual. El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de parafina como aglutinante en la formación de briquetas de sorgo. Se utilizaron tres tratamientos: (T1) 100% sorgo + sin calentamiento; (T2) 96% sorgo

+ 4 parafina + sin calentamiento y (T3) 100% sorgo + 4% parafina + calentamiento. Se observaron algunas características de la biomasa, tales como: contenido de humedad, densidad aparente y características de energía (carbono fijo, volátil, cenizas y poder calorífico superior). También se evaluaron las características mecánicas (expansión, resistencia máxima en el momento de la ruptura y friabilidad). El poder calorífico superior de la biomasa sin y con parafina fue de 4446 kcal.kg⁻¹ y 7.144,96 kcal.kg⁻¹, respectivamente. El tratamiento (T3) proporcionó mejores resultados con una estabilización de tamaño después de 6 horas de la compactación, una resistencia mecánica de 0,75 MPa y un índice de friabilidad de 0,96%. Todos los tratamientos se clasificaron como materiales muy poco friables. El proceso de fabricación de briquetas mejoró la densidad del combustible (briquetas) y disminuyó el contenido de humedad minimizando los costos de transporte y almacenamiento.

Palabras clave: biomasa, biocombustible, aglutinante, compactación.

INTRODUCTION

The use of biomass used for energy source supply represented about 10% of global annual primary energy consumption (GOLDEMBERG, 2017). Climatic instability, caused by global warming, already causes large variations in hydroelectric reserves. This may affect the energy security in hydroelectric dependent countries, such as in Brazil.

An alternative would be the generation of thermoelectric energy from biomass. This is a reality in sugar-alcohol industries taking advantage of the residual sugar cane bagasse to generate their own energy (SOUZA-SANTOS & CHAVES, 2012). In Brazil, there are 457 thermoelectric based on solids residual lignocellulosic (PEDROSO et al., 2018).

Residual biomass from agricultural, forestry or industrial sources is an alternative energy source for firewood and coal (DIAS JÚNIOR., 2016). Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) is a grain-filled grass. In the USA, South America and Australia, it is used in animal nutrition. In many countries, cereals can be used in human food, such as baking and biscuit production (QUEIROZ et al., 2009).

In Brazil, studies on the use of sorghum as a biofuel focus on the use of grains. The rest of the plant, which constitutes the largest mass, is discarded. Briquetting could provide the reuse of the same. The material compaction can produce a higher quality solid biofuel than the residual biomass material (DIAS JÚNIOR et al., 2016; HANSTED et al., 2016).

The presence of extractives in the sorghum residual biomass may interfere in the compaction (NAKASHIMA et al., 2017; OBERNBERGER & TREK, 2004). The extraction of these substances can result in the improvement of the physical qualities of the briquettes. Briquettes have lower expansion and higher mechanical resistance when extracting impurities and sugars from biomass residues. However, this procedure may incur costs in the briquetting process.

A binder can be used to improve the particles adhesion process. Briquettes produced from charcoal fines need a binder to be formed (Fernandez, 2018; Oliveira, 2013), because the moisture content is not enough to provide chemical interactions, such as hydrogen bonds.

Paraffin is a derivative of petroleum which often precipitates in the extraction pipes, harming its extraction. Thus, a residue is generated on the oil platforms (LAZAR et al., 1999). Because it is an oil derivative, it increases the calorific value. This characteristic is a positive factor for the fuel quality. Oliveira (2013) studied the use of paraffin as a binder in the production of coal fines briquettes. The result was the formation of a solid fuel with better energetic and mechanical characteristics.

In order to add a higher commercial value to the sorghum residual biomass, a briquetting study was carried out using the paraffin as a binder.

1 MATERIALS AND METHODS

The residual biomass of *Sorghum bicolor* was collected in Dracena. The geographic coordinates correspond to a latitude of 21° 28 '57 "S, longitude of 51° 31' 58" W, altitude of 421 meters and an area of 489.3 Km². The grains were benefited for the production of biofuel and the unused biomass was used for the study.

The experiment consisted of three treatments. The first treatment (T1) consisted of briquetting the biomass (100% sorghum) without paraffin. The second treatment (T2) consisted of briquetting the biomass (96% sorghum) mixed with 4.0% paraffin, without heating. The third treatment (T3) had 96% sorghum + 4.0% of paraffin and heating of 60 ° C. The statistical design was entirely randomized.

The volatile content, ashes content and fixed carbon content of the sorghum residual biomass were analyzed according to NAKASHIMA et al. (2017). The result was obtained by the difference of the initial mass and dry mass of each sample subjected to a temperature of approximately 103°C.

The biomass was subjected to pressing with a moisture content in the range from 10 to 12%. The press used was Marconi MA 098 and a stainless steel mold with 3.50 cm in diameter and 16 cm in height. The mass used to make each briquette was 20 g, which was compacted at a pressure of 61.48 kgf cm⁻² for 30 seconds. A total of 10 briquettes were prepared.

The evaluation of the expansion of the briquettes was done longitudinally and transversally, the means were made in different stages (1, 3, 6, 12, 24, 72 and 96 hours) after the compaction. The heights and diameter of each briquette were observed.

After seven days from the briquettes production, the diametral compression traction test, according to Nakashima et al. (2017), and the briquettes longitudinal measurement were performed, using the universal test machine EMIC DL30000N. Five replicates were used and the results were obtained directly by the Tesc software version 3.04.

The friability index was performed with a friabilometer of 30 revolutions per minute (rpm) for 10 minutes. The friability was calculated from the mass of the remaining sample after the separation of broken particles.

2 RESULTS AND DISCUSSION

The combustion process depends on the chemical composition of the material. The immediate analysis of the sorghum material (table 1) provides ashes, volatile and fixed carbon content. The ashes represent the residues which damage the boiler. Volatiles can contribute to the material ignition by releasing flammable gaseous compounds at the beginning of the combustion. Fixed carbon is a variable that is associated with the high heating value of the fuel and determines the time of the material burning (DEMIRBAS, 2009).

Table 1. Data obtained from the immediate analysis and calorific value for each biomass

Material	Ashes (%)	Volatiles (%)	Fixed carbon (%)	High Heating Value (kcal.kg ⁻¹)
Sorghum	3.63(±0.24)	80.36(±0.42)	16.01(±0.55)	4,446.00
SPar 4.0*	2.61(±0.35)	85.82(±0.40)	11.57(±0.47)	7,144.96

* Sorghum with 4.0% of the paraffin

The volatile content was very close to those found by Nakashima et al. (2014) when working with residues of sugarcane bagasse, corn straw, elephant grass and garden pruning. And higher values to the ashes when compared to corn straw and sugarcane bagasse (Nakashima et al., 2014) and lower when compared to Leucaena (HANSTED et al., 2016).

According to Nakashima et al. (2017) the fixed carbon content for lignocellulosic materials ranges from 11% to 27%. The residual biomass of sorghum exhibited results within the literary range.

The mechanical analysis can be observed in table 2. The stability reflects in the accommodation of the fibers inside the briquettes. This variable can be measured as the expansion stabilizes. After stabilization, the solid fuel maintains a uniform size, as it is not affected to relative humidity variations (SILVA et al., 2015, NAKASHIMA et al., 2014, OLIVEIRA, 2013).

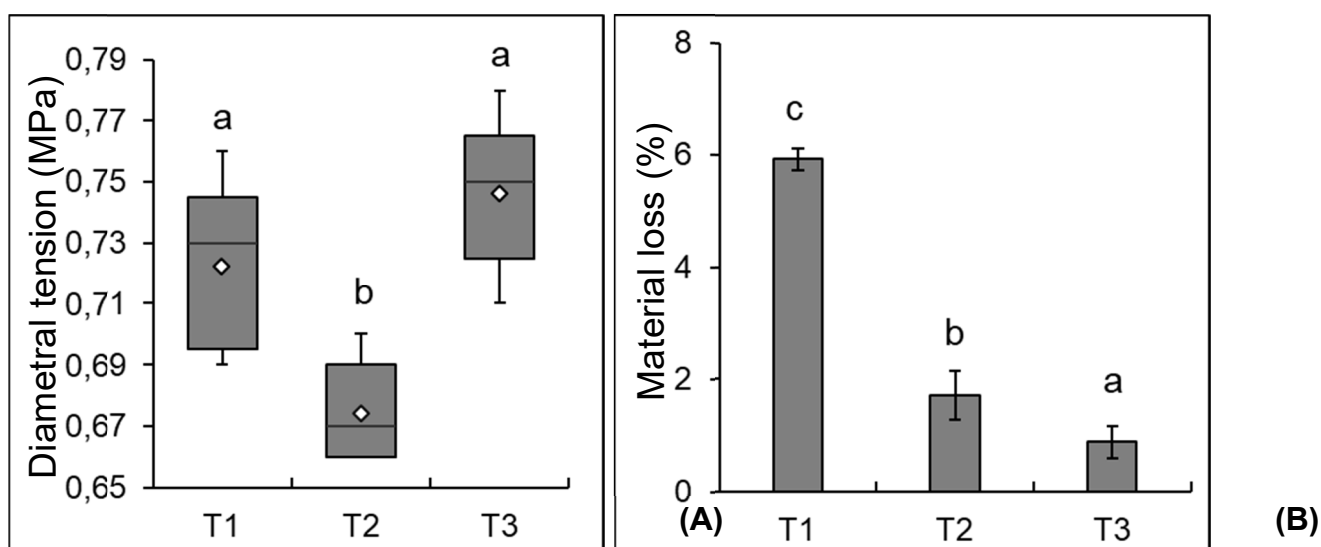
Table 2. Summary of the mechanical results: stability, mechanical strength e friability. Different letters imply significant difference among the treatments (significance level of 0.05%)

Treatment	Stability (hours)	Mechanical strength (MPa)	Friability (%)
T1	72	0.72 a	5.90 c
T2	12	0.67 b	1.79 b
T3	06	0.75 a	0.87 a

Treatment 3 provided a shorter stability time. Thus, the use of paraffin with temperature provides a saving of six hours in relation to T2 and two and a half days in relation to T3. All treatments showed differences among them for the stability response, at a 5% level of significance by the Tuckey test.

Regarding the briquettes resistance, the best response was for T3 (figure 1A). Only T2 presented statistical difference for the diametral tension response. Thus, the best product resistance was evidenced by T1 and T3. This result is important to gauge the maximum stacking height that the material can withstand without deformation that would endanger its quality (HANSTED et al., 2016; SILVA et al., 2015; NAKASHIMA et al., 2014; NAKASHIMA et al., 2017; OLIVEIRA, 2013).

Figure 1 – Maximum tensions (A) and tumbling test (B) for each treatment of the briquettes. Different letters imply significant difference among the treatments (significance level of 5%)



The material friability was evidenced by the tumbling test (Figure 1B). The more compact the material the less particles are released (NAKASHIMA et al., 2017; TABARES et al., 2000). All treatments presented statistical differences among them. It was observed that the use of a binder allowed the formation of a material of lower friability (T2 and T3), that is, a more compact material. This feature is important for briquettes handling and transportation (NARITA et al., 2018; SILVA et al., 2015; KARUNANITHY et al., 2012; TABARES et al., 2000).

CONCLUSION

The paraffin provided differences to the briquettes mechanical properties. The treatment T3 (Paraffin + heating) produced the best briquettes (stability and mechanical properties). The use of paraffin as a binder may be an alternative for improving the briquettes quality.

REFERENCES

- DEMIRBAS, A. Biorefineries: current activities and future developments. *Energy Conversion and Management*, 2009; 50(11): 2782-2801.
- DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; CARVALHO, A. M.; BENÍCIO E. L.; BRITO J. O. Produção de briquetes de moinha de carvão vegetal e resíduos lignocelulósicos visando uso bioenergético. *Scientia Forestalis*, 2016; 44(01): 453-462.
- FERNANDEZ, B. O.; DA RÓZ, A.L.; GONÇALVES, B.F.; NAKASHIMA, G. T.; YAMAJI, F. M. The Quality of Sugarcane Briquettes Produced with Cornstarch Binder. *Rev. Virtual Quim* 2018; 10(01): 142-154.
- GOLDEMBERG J. Current and Prospects in the Use of Biomass for Energy Generation. *Rev. Virtual Quim*, 2017; 9(01): 15-28.
- HANSTED, A. L. S.; NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H.; YAMAJI, F. M. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. *Fuel*, 2016; 184(01): 180–184.
- KARUNANITHY, C.; WANG, Y.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; PUGALENDHI, S. Physiochemical Characterization of Briquettes Made from Different Feedstocks. *Biotechnology Research International*, 2012; 2012(01): 12 p.
- LAZAR, I.; VOICU, A.; NICOLESCU, C.; MUCENICA, D.; DOBROTA, S.; PETRISOR, I. G.; STEFANESCU, M.; SANDULESCU, L. The use of naturally occurring selectively isolated bacteria for inhibiting paraffin deposition. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1999; 22(01): 161-169.
- NAKASHIMA, G. T.; ADHMAN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Lignocellulosic Materials: Characterization and Production of Briquettes. *Revista Virtual de Química*, 2017; 9(01): 150-162.
- NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; SILVA, D. A.; CHRISOSTOSMO, W.; YAMAJI, F. M. Use of vegetable waste for the production of briquettes. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 2014; (34): 22–29.
- NARITA, D. K.; NAKASHIMA, G. T.; DA RÓZ, A. L.; PIRES, A. A. F.; YAMAJI, F. M. Use of *Schizolobium parahyba* for energy purposes. *Ciência Florestal*, 2018; 28(01): 758-764.

Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 64-72, jan./jun. 2020.

Silva, D. A.; Carvalho, N. R.; Alesi, L.S; Varanda, L. D.; Belini, G. B.; Caraschi, J. C.; Pádua, F. A. de Yamaji, F. M;

Energy and Mechanical Characterization of Briquettes Made from Waste

OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. *Biomass & Bioenergy*, 2004; 27(01): 653-669.

OLIVEIRA, R. R. L. *Molding of Fine Briquets of Charcoal Agglomerated with Paraffin*: Characterization of Some Properties [dissertação]. Sorocaba: Campus Sorocaba, Federal University of São Carlos, 2013.

PEDROSO, L. L. A.; SILVA, F. F. da; MELO, A. M.; JUNIOR, M. E.; SHIMOYA, A. Current and future demands for biomass and renewable energy in Brazil and worldwide. *Brazilian Journal of Development*, 2018; 4(01): 1980-1996.

QUEIROZ, V. A. V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C. W. P.; MARTINO, H. S. D. The sorghum in the food of people. *Circular Técnica – EMBRAPA*, 2009; 1(133): 19 p.

SILVA, D. A.; NAKASHIMA, G. T.; BARROS, J. L.; DA ROZ, A. L.; YAMAJI, F. M. Characterization of biomasses for briquetting. *Floresta*, 2015; 45(04): 713-722.

SOUZA-SANTOS, M. L.; CHAVEZ, J. V. Preliminary studies on advanced power generation based on combined cycle using a single high-pressure fluidized bed boiler and consuming sugar-cane bagasse. *Fuel*, 2012; 95(01): 221-225.

TABARES, J. L. M.; ORTIZ, L.; GRANADA, E. VIAR, F. P. Feasibility study of energy use for densificated lignocellulosic material (briquettes). *Fuel*, 2000; 79(01): 1229-1237.

1 SILVA, Diego Aleixo da. Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de São Carlos (2014). Mestre pelo Programa de Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis (PPGPUR) pela UFSCar (2019). Atualmente é doutorando no PPGPUR e bolsista CAPES. A linha de pesquisa é voltada para biomassa e bioenergia. diegoaleixo.florestal@gmail.com

2 CARVALHO, Natália Rodrigues de. Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de São Carlos (2019), curso-tecnico-profissionalizante em Administração pela ETE Fernando Prestes (2013) e ensino-medio-segundo-graupela ETE Fernando Prestes (2013). Atualmente é Estudante Bolsista de Mestrado da Universidade Federal de São Carlos. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Biomassa e bioenergia. Atuando principalmente nos seguintes temas: biomassa, Bioenergia, Engenharia Florestal, Recursos Renováveis. n.carvalho084@gmail.com

3 ALESI, Letícia Sant'Anna. E-mail: diegoaleixo.florestal@gmail.com

4 VARANDA, Luciano Donizeti. Atualmente é Pesquisador Industrial no Instituto Senai de Inovação - Biomassa. Desenvolveu seu estágio pós-doutoral na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - Campus de Sorocaba, no Departamento de Ciências Ambientais (DCA), na área de Biomassa e Bioenergia (2017 a 2020). Doutor (2016) e Mestre (2012) em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (USP). Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira (2010) pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Na graduação estagiou na empresa Maringá S.A. Cimento e Ferro-Liga, atuando no planejamento da produção de carvão vegetal para fins industriais. Têm experiência nos seguintes temas: desenvolvimento, caracterização e aplicação de materiais, materiais compósitos, compósitos lignocelulósicos, propriedades físicas e mecânicas da madeira e seus derivados, aproveitamento de resíduos florestais e agroindustriais, energia e sustentabilidade, biomassas, biochar, briquetes, combustíveis sólidos e bioenergia. lu.varanda@hotmail.com

5 BELINI, Gabriela Bertoni. gabibelini@hotmail.com

6 CARASCHI, José Cláudio. J. caraschi@unesp.br

7 PÁDUA, Franciane Andrade de. franciane@ufscar.br

8 YAMAJI, Fabio Minoru. Concluiu o doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná em 2004. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de São Carlos. Líder do Grupo de Pesquisa BIOMASSA E BIOENERGIA. Trabalha na área de recursos florestais, com ênfase em energia da biomassa e resíduos da madeira. Em suas atividades profissionais interagiu com colaboradores nacionais e internacionais, principalmente com a Universidade de Nagoya (Japão). Participou de dois cursos de especialização no Japão pela JICA. Os termos mais frequentes na contextualização da produção científica e tecnológica são: biomassa, bioenergia, briquetes, pellets, biocombustível sólido, resíduos agroflorestais. fmyamaji@ufscar.br

Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras

Yoshinaga, Fabiana
Santos, Ariane da Silva
Moura, Bruno Fernandes Santana de
Bortoleto, Gisele Gonçalves

Resumo

O aumento da utilização de energias renováveis é um desafio crescente a cada ano, devido às altas emissões dos gases de efeito estufa, provenientes principalmente de derivados do petróleo. Neste cenário, o querosene é um combustível fóssil que pode ser substituído pelo bioquerosene, uma alternativa mais sustentável, feito a partir de biomassa, com propriedades físicas, químicas e eficiência energética semelhantes ao do querosene de origem fóssil. O presente estudo é uma pesquisa bibliográfica que visa discutir o cenário atual e as perspectivas futuras da produção de bioquerosene no Brasil, apresentando o panorama da matriz energética nacional e as oportunidades dos diversos materiais utilizados para produção de bioquerosene. A utilização do bioquerosene se mostrou uma opção viável no país, com possibilidade de alta redução na emissão de carbono, porém, essa substituição só será possível se houver vontade política, pesquisas e investimentos no setor.

Palavras-chave: biocombustíveis; bioquerosene; sustentabilidade; matriz energética.

Abstract

The increase in the use of renewable energies is a growing challenge each year, due to the high emissions of greenhouse gases, mainly from oil products. In this scenario, kerosene is a fossil fuel that can be replaced by biokerosene, a more sustainable alternative, made from biomass, with physical, chemical and energy efficiency properties similar to that of kerosene of fossil origin. The present study is a bibliographic research that aims to discuss the current scenario and the future perspectives of the production of biokerosene in Brazil, presenting the panorama of the national energy matrix and the opportunities of the different materials used for the production of biokerosene. The use of biokerosene proved to be a viable option in the country, with the possibility of a high reduction in carbon emissions, however, this replacement will only be possible if there is political will, research and investments in the sector.

Keywords: biofuels; biokerosene; sustainability; energy matrix.

Resumen

El aumento en el uso de energías renovables es un desafío creciente cada año, debido a las altas emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de productos derivados del petróleo. En este escenario, el kerosene es un combustible fósil que puede ser reemplazado por biokerosene, una alternativa más sostenible, hecha de biomasa, con propiedades físicas, químicas y de eficiencia energética similares a las del queroseno de origen fósil. El presente estudio es una investigación bibliográfica que tiene como objetivo discutir el escenario actual y las perspectivas futuras de la producción de biokerosene en Brasil, presentando el panorama de la matriz energética nacional y las oportunidades de los diferentes materiales utilizados para

la producción de biokerosene. El uso de biokerosene demostró ser una opción viable en el país, con la posibilidad de una alta reducción en las emisiones de carbono, sin embargo, este reemplazo solo será posible si hay voluntad política, investigación e inversiones en el sector.

Palabras-clave: biocombustibles bioqueroseno; sostenibilidad; matriz energética.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento de novos hábitos proporcionados pelas tecnologias modernas provocam um aumento na demanda energética, hoje muito dependente de fontes fósseis como petróleo e carvão. A combustão dos combustíveis fósseis é responsável por enormes emissões de CO₂ (gás carbônico) na atmosfera, o qual retém grande parte do calor que deveria ser emitido para o espaço, aumentando a temperatura do planeta. Outros poluentes também são emitidos durante a combustão dos derivados de petróleo, como o dióxido de enxofre (SO₂), precursor do trióxido de enxofre (SO₃) e do H₂SO₄, causadores da chuva ácida; do monóxido de carbono (CO) e dos óxidos de nitrogênio (NO_x), que são gases tóxicos e que formam o chamado “smog fotoquímico” (OLIVEIRA, SERRA e OLIVEIRA, 2014).

Para conter esse aquecimento global, diversos países vêm adotando limites para emissão dos gases causadores do efeito estufa, visando a diminuição da emissão desses poluentes no ambiente, em consonância com o Protocolo de Quioto, assinado em 1997 e mais recentemente com o Acordo de Paris, assinado em 2015.

Essa redução passa certamente por uma mudança na matriz energética de cada país, com a redução na utilização dos derivados de petróleo. Os derivados de petróleo representam cerca de 80% da matriz energética mundial. No Brasil a matriz é mais diversificada e sustentável, 45,3% da energia provém de fontes renováveis como hidrelétrica e biomassa (MOTA e MONTEIRO, 2013).

A diversificação da matriz energética brasileira é resultado do clima e relevo favoráveis à produção das mais diversas fontes de energias renováveis. Importante lembrar que o país foi pioneiro na utilização do etanol como combustível automotivo, e desde a década de 1970 tem adotado diversos programas para regularizar e incentivar o uso de biocombustíveis no país, como o Proálcool, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e mais recentemente com a Política Nacional de Biocombustíveis, o RenovaBio.

Com relação ao bioquerosene, o Projeto de Lei N° 9321/2017, que prevê a criação do Programa Nacional do Bioquerosene, ainda tramita no Congresso, já tendo um parecer de aprovação pela Comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados. O texto estabelece o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas que não concorram com a produção de alimentos, visando à sustentabilidade da aviação brasileira, através de recursos e incentivos fiscais (BRASIL, 2019).

Para inserção no Programa Nacional do Bioquerosene é importante que haja compatibilidade do bioquerosene com as tecnologias de propulsão atuais, sem que seja necessário alterar motores, aeronaves e a infraestrutura existentes, além de não comprometer a segurança do

sistema de aviação.

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo é discutir o cenário atual e as perspectivas futuras da produção de bioquerosene no Brasil. Especificamente, apresentar o panorama da matriz energética nacional e as oportunidades dos diversos materiais utilizados para produção de fontes renováveis de bioquerosene.

Para isso, a metodologia empregada foi a pesquisa bibliográfica utilizando livros, sites e artigos científicos relacionados ao tema, tornando possível a compreensão e a formulação de reflexões importantes a respeito do assunto, dada a sua relevante importância.

DESENVOLVIMENTO

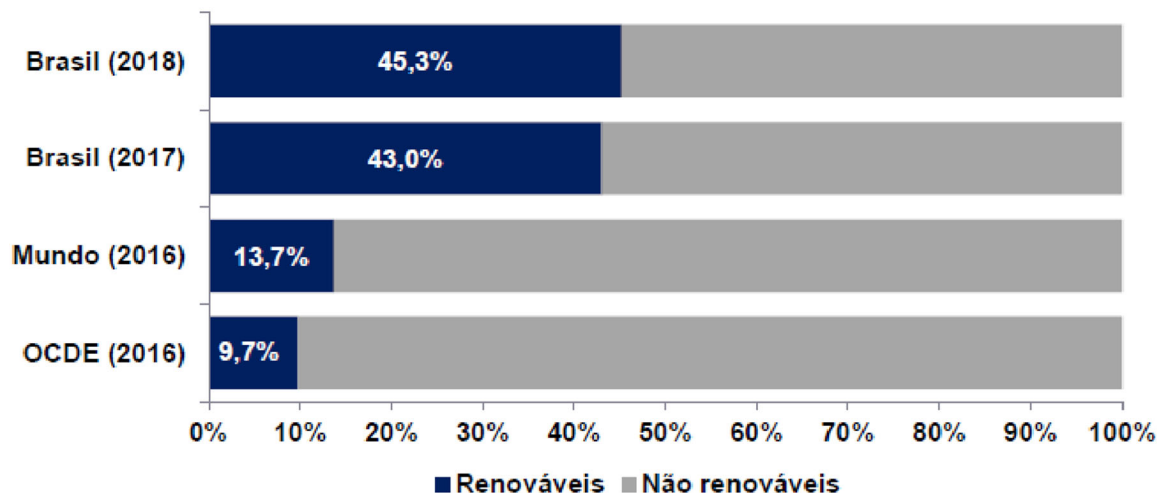
A Matriz Energética Nacional

A produção de energia é essencial para o desenvolvimento de um país, estando o consumo desta energia relacionado com índices como expectativa de vida, mortalidade infantil e analfabetismo (GOLDEMBERG, 1998). As fontes de energia são utilizadas para aquecimento de residências, como combustíveis nos meios de transporte em geral, no aquecimento de caldeiras nas indústrias, e em muitas outras atividades do dia a dia da população.

O padrão de produção e consumo de energia tem impacto direto no meio ambiente. Enquanto a energia proveniente de fontes renováveis em geral produz baixos impactos no ambiente, a queima de combustíveis de origem fóssil para geração de energia é um dos maiores responsáveis pelas emissões de poluentes na atmosfera, causando o efeito estufa e as mudanças climáticas, colocando em risco os suprimentos do planeta (WWF, 2019).

Infelizmente, atualmente a maior parte da energia consumida no mundo é proveniente de fontes fósseis e não renováveis, tendo as energias renováveis ainda pouco espaço na matriz energética mundial. A figura 1 apresenta uma comparação da participação de energias renováveis na matriz energética no Brasil e no mundo.

Figura 1: Participação de Renováveis na matriz energética.



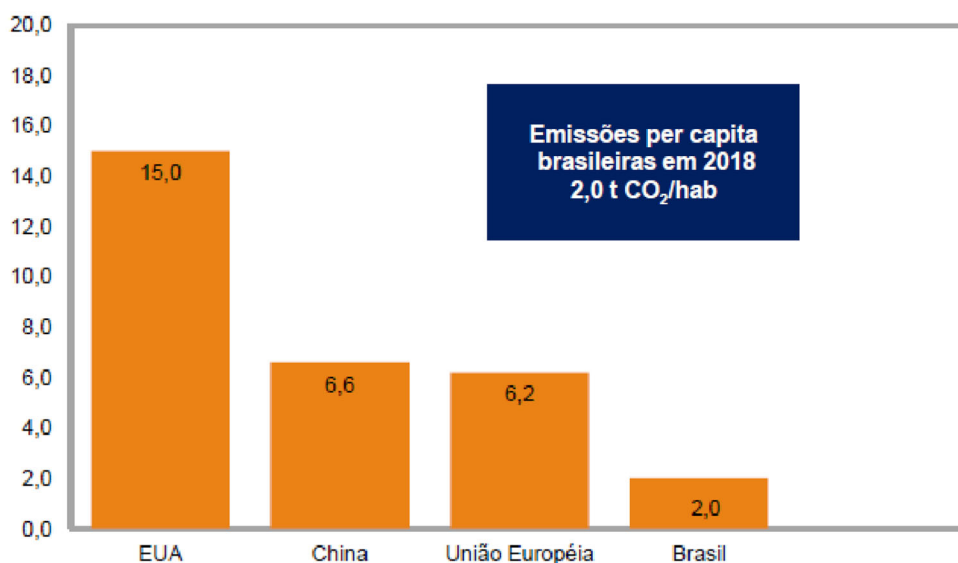
Fonte: EPE (2019).

Como se vê, no Brasil as energias renováveis estão ocupando um espaço considerável, correspondendo a 45,3% da matriz energética, bem diferente do resto do mundo ou dos países membros da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), nos quais as energias renováveis respondem por 13,7% e 9,7% respectivamente.

Foi o desenvolvimento econômico do Brasil nas últimas décadas que provocou um processo de mudanças na sua estrutura econômica e de produção de energia. Em 2006, o país inverteu a balança de importação de petróleo, e modificou a composição das fontes de fornecimento, aumentando a produção de biocombustíveis e outras energias renováveis, postando-se entre as nações pioneiras na geração de energia a partir das fontes alternativas, sustentáveis e com menores impactos ambientais frente às tradicionais (BRONZATTI e IAROSINSKI, 2008).

Devido à essa parcela considerável de energia proveniente de fontes renováveis, no Brasil as emissões de CO₂ são bem menores quando comparadas a outros países (figura 2). O Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional referente ao ano de 2018 (EPE, 2019) mostra que cada brasileiro emite em média, quase oito vezes menos do que um americano e pelo menos três vezes menos do que um chinês ou um europeu.

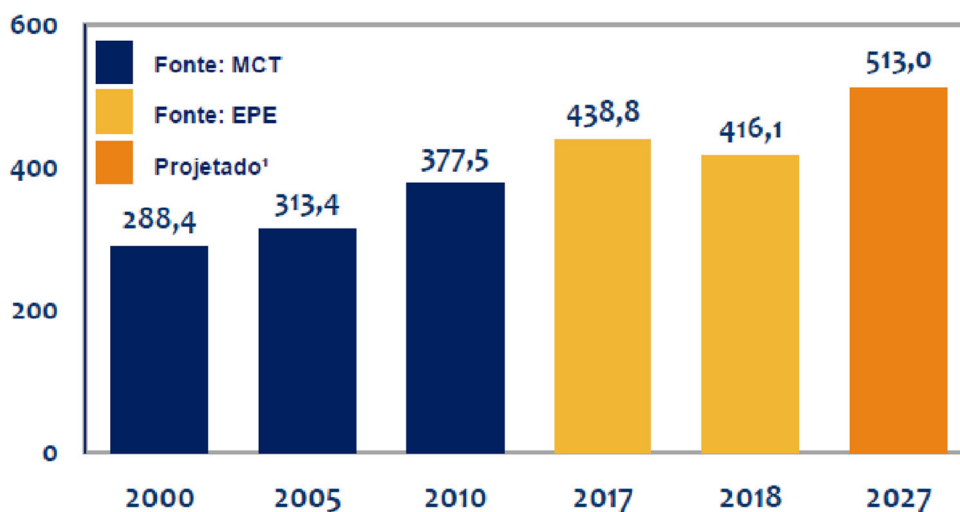
Figura 2: Emissões de CO₂ per capita (2016), em t CO₂/hab.



Fonte: EPE (2019).

As emissões de CO₂ no Brasil em 2018 tiveram uma queda de cerca de 5,2% em comparação com 2017, como observado na figura 3. Essa redução se deve principalmente ao aumento na produção de energia hídrica e eólica, bem como pelo aumento na utilização de biocombustíveis no setor de transportes, setor que mais utiliza combustíveis fósseis e consequentemente emite maior quantidade de gás carbônico na atmosfera.

Figura 3: Evolução das emissões de CO₂ no Brasil (evolução das emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira em MtCO₂ – eq).

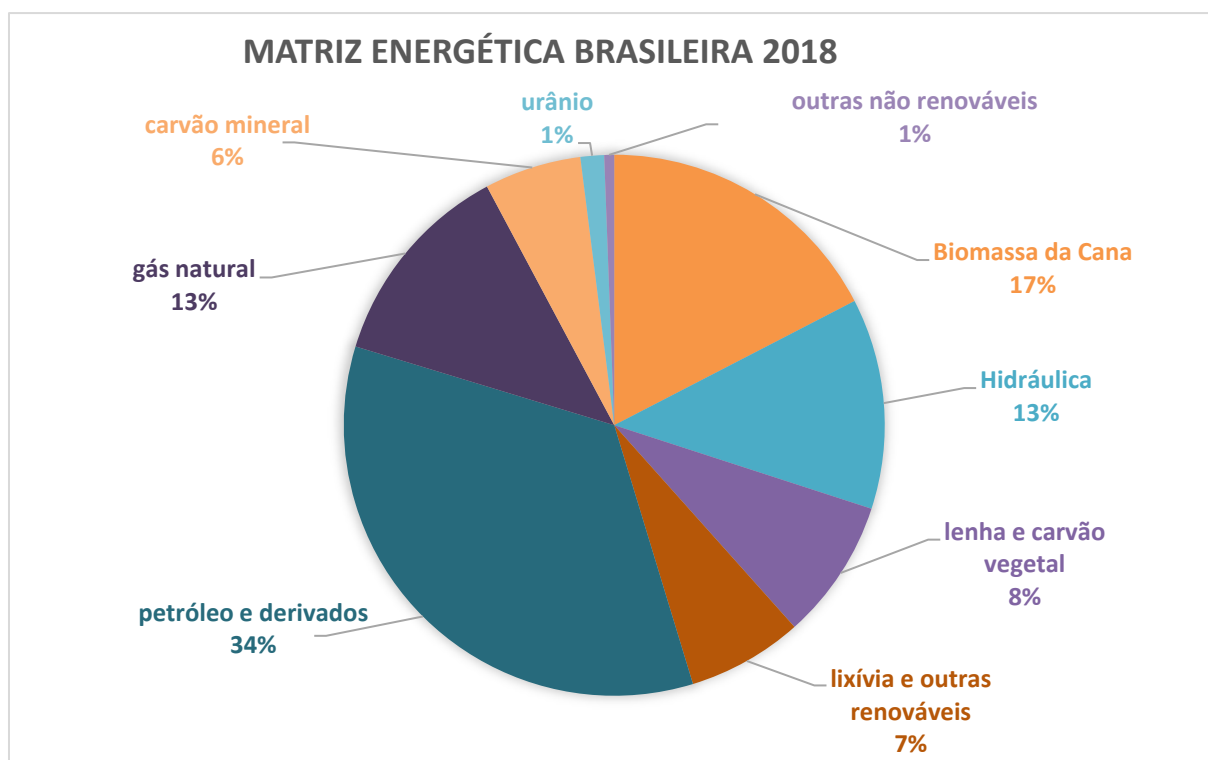


Fonte: EPE (2019). ¹ Valor projetado segundo Plano Decenal de Expansão de Energia 2027.

Considerando os dados do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional referente ao

ano de 2018 (EPE, 2019) foi possível construir um gráfico representando a composição da matriz energética brasileira para o ano citado (figura 4). Nessa matriz é possível observar a grande diversificação das fontes de energia no Brasil, mas ainda com um certo grau de dependência dos combustíveis de origem fóssil.

Figura 4: Matriz energética brasileira 2018



Fonte: EPE (2019), adaptado pelo autor.

Com a descoberta do pré sal houve um grande aumento nas reservas de petróleo brasileiras. No fim de 2018, as reservas totais de petróleo do Brasil foram contabilizadas em 24,3 bilhões de barris. Com isso, o país ocupou em 2018 a 15ª posição no ranking mundial de países com as maiores reservas provadas de petróleo. Cerca de 90% das reservas brasileiras se encontram na faixa litorânea em alto mar, o restante está localizado em campos terrestres no interior do continente (ANP, 2019).

O querosene, um dos derivados de petróleo, representou 1,3% da energia consumida no Brasil em 2018 (EPE, 2019). Como combustível de aeronaves, o querosene de aviação respondeu por 4% do consumo de energia do setor de transportes no país, correspondendo a 3.387 mil tep (tonelada equivalente de petróleo) de consumo no ano de 2018.

Com relação ao gás natural, as reservas totais brasileiras somam 570 bilhões de m³, e o estado do Rio de Janeiro responde por mais de 60% dessas reservas. No ranking mundial o país se encontra na 32ª colocação entre as maiores reservas provadas do mundo (ANP, 2019).

Além dos combustíveis fósseis, o Brasil produz uma grande quantidade de eletricidade através de usinas hidrelétricas. Em 2018, cerca de 66,6% da energia elétrica no país foi proveniente de usinas hidrelétricas, 8,5% de biomassa, 7,6% de usinas eólicas, 0,5% de usinas solares, 2,5% de usinas nucleares, 8,6% de gás natural, 2,4% de petróleo e derivados e 3,2% de carvão e derivados (EPE, 2019).

O Brasil também possui um grande potencial de exploração de urânio tendo a sétima maior reserva do mundo. Atualmente o governo brasileiro estuda formas de expandir a produção de energia nuclear, mas essa expansão envolve altos investimentos financeiros, além de riscos ambientais e à população, dividindo opiniões e dificultando o processo.

Em relação à energia eólica, o Brasil foi o oitavo maior gerador do mundo (ZAPAROLLI, 2019). Em 2018 gerou 48,5TWh, um aumento de 14,4% em relação ao ano anterior, e atingiu uma capacidade instalada de 14,4GW. Já a energia solar fotovoltaica, foram gerados 3,5TWh, um aumento de 316,1% quando comparado a 2017, com uma capacidade instalada de 1,8GW (EPE, 2019). Tanto a energia solar quanto a eólica ainda possuem um grande potencial a ser aproveitado, mas o alto custo inicial para a construção de plantas demanda estímulos governamentais, como incentivos fiscais e financiamentos subsidiados, dificultando a sua implantação.

A biomassa é uma das fontes de energia que mais tem crescido no país e no mundo, com utilização tanto na queima direta ou transformada em biocombustíveis (etanol, biodiesel e bioquerosene de aviação), em substituição aos derivados de petróleo. Em 2018, os derivados da cana (bagaço e etanol) responderam por cerca de 17% da oferta interna de energia do país. A lenha e o carvão vegetal responderam por aproximadamente 8% da energia do produzida (EPE, 2019).

É importante ressaltar que o Brasil tem grande potencial para aumentar a participação de renováveis em sua matriz energética uma vez que possui clima e relevo favoráveis a produção dessas fontes de energia. O mercado consumidor dessas energias tende a aumentar em todo o mundo em um futuro próximo, devido às legislações ambientais que obrigam o uso de biocombustíveis em meios de transporte, e à necessidade do cumprimento das metas assumidas no Acordo de Paris. Para atender essa demanda mundial, a produção no Brasil depende muito de políticas públicas favoráveis, seja concedendo incentivos fiscais à iniciativa privada, facilitando empréstimos ou criando projetos governamentais que favoreçam a ampliação do setor.

Os Biocombustíveis

É inegável a importância da energia para o ser humano, seja para a realização das suas atividades econômicas, para o desenvolvimento de novas tecnologias ou simplesmente para a sua

sobrevivência. No entanto, a maior parte da energia consumida no planeta é proveniente da queima de combustíveis fósseis, principalmente petróleo, gás natural e carvão. Em 2018, cerca de 53% da energia utilizada no Brasil foi proveniente de combustíveis fósseis, e no restante do mundo o consumo foi de aproximadamente 80% (MME, 2019).

Uma vez que esse tipo de energia não é renovável, inevitavelmente se esgotará no futuro, tornando necessário a busca por novas fontes de energia, renováveis, como hidráulica, eólica ou biomassa, essa última podendo ser tanto para a queima direta como convertida em biocombustíveis (etanol, biodiesel, bioquerosene de aviação) (OLIVEIRA, SERRA e OLIVEIRA, 2014).

Os biocombustíveis são combustíveis produzidos a partir de matéria orgânica com alto valor estratégico, tanto na questão econômica, como em aspectos energéticos, de impacto ambiental e até de segurança alimentar.

Em termos de biocombustíveis, o etanol já é uma alternativa consolidada, principalmente devido a difusão dos veículos com motores flexfuel, que trabalham tanto com álcool como com gasolina. Com relação às matérias-primas para produção do etanol, a fabricação a partir da cana-de-açúcar é mais vantajosa, visto que o próprio bagaço pode ser utilizado para cogeração de energia elétrica para manutenção do funcionamento da usina. Já na produção a partir de outras culturas como milho ou beterraba os resíduos provenientes da colheita são utilizados em sua maioria para fertilização do solo e, portanto, há um gasto energético para o funcionamento da usina (MANOCHIO, 2014).

Com relação ao biodiesel, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que prevê a adição do biodiesel ao diesel mineral tem elevado o consumo desse biocombustível no país, de 2017 para 2018 o aumento foi de mais de 25% (EPE, 2019). Atualmente a porcentagem de biodiesel no diesel está em 10% (B10), mas o Conselho Nacional de Política Energética já estabeleceu um cronograma para um aumento gradual, chegando em 15% até 2023 (CNPE, 2018). Com relação à produção, o biodiesel pode ser obtido de diversas fontes, como óleos vegetais virgens ou utilizados, e gorduras animais. No Brasil, a produção a partir do óleo de soja ainda é soberana, mas outros materiais como gordura bovina, de porco e até de frango têm sido utilizados (BORTOLETO et al., 2017).

Já o biogás tem a sua produção aumentando a cada ano, se mostrando como uma alternativa viável, principalmente para o setor agropecuário, por reduzir a quantidade de efluentes, a emissão de gases na atmosfera e a contaminação do solo. Uma das principais vantagens deste biocombustível é a proximidade entre a produção e a fonte de consumo, diminuindo as perdas na transmissão e distribuição de energia. O biogás pode ser convertido em energia térmica ou elétrica e a sua aplicação pode ser adaptada à demanda local. Também pode ser convertido em biometano

para utilização em automóveis, caminhões e máquinas agrícolas. Apesar de ter uma participação muito baixa na matriz energética brasileira, cerca de 1%, a capacidade instalada de biogás para geração elétrica cresceu mais de 100% entre 2013 e 2018 (FERNANDES e MARIANI, 2019).

O bioquerosene de aviação pode ser produzido a partir de óleos vegetais e matérias açucaradas. Atualmente a produção desse biocombustível no Brasil ainda é muito pequena e a um custo muito alto, o que inviabiliza o uso nas aeronaves no mercado nacional. Mas se o Brasil conseguir superar este problema do custo o mercado será muito promissor. Isso porque diversas empresas de aviação do mundo todo assumiram compromissos junto à Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) visando conter o aumento da temperatura do planeta. Com o RenovaBio a expectativa é que os produtores se sintam incentivados a aumentar a produção deste biocombustível (RIBEIRO, 2019).

O Bioquerosene

O querosene, obtido do fracionamento do petróleo, tem como principal utilização o setor de transporte aéreo, como combustível na aviação civil e militar. Na indústria é muito utilizado como solvente, como agente de extração e na fabricação de outras substâncias. Também é utilizado em tintas, adesivos e na lavagem de peças metálicas, na mineração e na pelotização. No setor residencial é utilizado na iluminação e em produtos de limpeza.

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2018 (EPE, 2019), em termos de consumo, em 2018 foram consumidos $4.127 \times 10^3 \text{ m}^3$ de querosene no país, dos quais $4.125 \times 10^3 \text{ m}^3$ correspondem a utilização energética (sendo $4.121 \times 10^3 \text{ m}^3$ de combustível para aeronaves e os demais para aquecimento e iluminação) e somente $2 \times 10^3 \text{ m}^3$ tiveram utilização não energética do produto (outras utilizações que não a queima, como solvente, agente de extração, etc).

Diante desse grande consumo, o bioquerosene se mostra um importante substituto para o querosene, uma vez que apresenta o mesmo desempenho como combustível e as suas emissões são compensadas durante a sua produção.

O bioquerosene pode ser obtido a partir de diversas matérias-primas, como açúcares, amido, óleos, biomassa e materiais residuais. Algumas das plantas aptas a serem utilizadas são a cana-de-açúcar, soja, eucalipto, pinhão manso, babaçu e mamona. O ideal para a produção é que a matéria-prima esteja disponível em escala produtiva, sem ameaçar a biodiversidade ou interferir nos ecossistemas naturais, além de não requerer grandes quantidades de insumos agrícolas e não concorrer com o setor de alimentos.

Com o processo produtivo a matéria-prima resulta em hidrocarbonetos semelhantes aos

contidos no combustível fóssil. Com isso, o combustível produzido também gera CO₂ durante a queima, porém o dano é reduzido durante o ciclo produtivo, visto que em geral a matéria-prima empregada provém de plantas que absorvem o gás carbônico e assim compensam o carbono que é emitido para a atmosfera durante a queima (BETIOLO, ROCHA e MACHADO, 2009).

Sob o ponto de vista ambiental, econômico e social, o óleo de palma (*Elaeis guineensis*) é o que apresenta maior potencial para o Brasil, podendo ser produzido em larga escala para atender tanto ao mercado interno como externo.

Os processos produtivos mais utilizados são os processos químicos, através de transesterificação de oleaginosas vegetais e gorduras animais; bioquímicos, com a utilização de leveduras ou bactérias modificadas que metabolizam açúcares produzindo hidrocarbonetos; e termoquímicos, através de craqueamento catalítico ou gaseificação e síntese catalítica (BONASSA et al., 2014).

O processo químico envolve a transesterificação de óleos vegetais, gorduras animais ou de óleos residuais, utilizando-se um álcool, em geral metanol ou etanol, e catalisadores ácidos ou básicos, formando biodiesel. Na destilação do biodiesel são separadas duas frações, a mais leve corresponde ao bioquerosene e a mais pesada ao biodiesel. Essa é usualmente a rota mais utilizada, mas devido a necessidade de baixo teor de água na matéria-prima, bem como baixa acidez, etapas como filtração, extração líquido-líquido, branqueamento e desacidificação, acabam sendo necessárias, aumentando o custo do processo (CORRÊA et al., 2014).

Os processos bioquímicos envolvem a conversão de açúcares (carboidratos) em hidrocarbonetos através de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* geneticamente modificadas. Os microorganismos consomem o açúcar e produzem isoprenoides ao invés de etanol. Os isoprenoides passam então por um processo de hidrogenação formando bioquerosene (NASTARI, 2017).

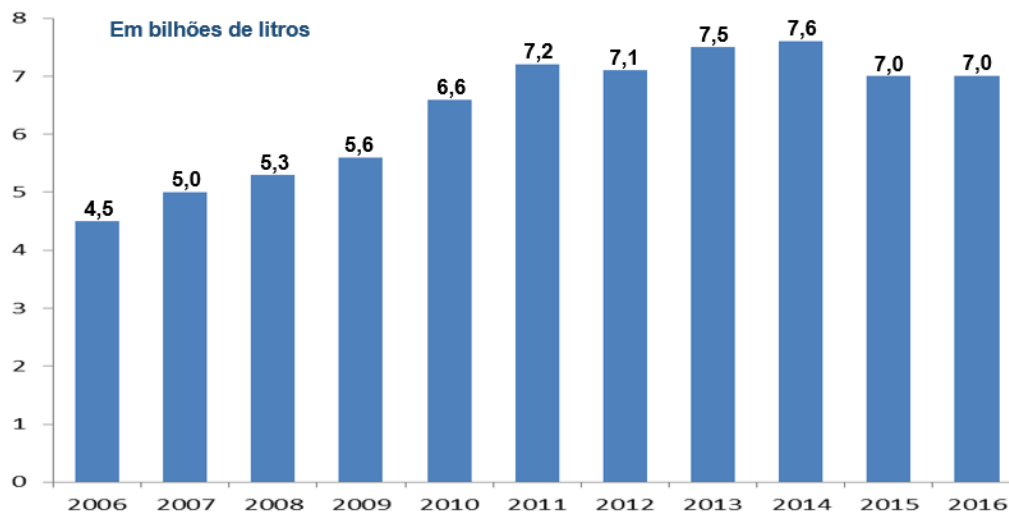
Na produção por craqueamento ocorre a decomposição térmica do óleo vegetal utilizando-se hidrogênio como catalisador. Após a retirada dos produtos oxigenados, o bioquerosene pode ser obtido por destilação, em frações semelhantes ao querosene de aviação.

As Oportunidades Surgidas para o Bioquerosene

A aviação é, sem dúvida, de suma importância para o sistema econômico de qualquer país, o que tem favorecido o aumento na frota de aviões a cada ano, e com ele o impacto ambiental causado por essa modalidade de transporte. Os poluentes emitidos pelo setor de aviação são lançados diretamente na alta atmosfera criando uma espécie de cobertura ao redor da terra, que retém o calor que seria dissipado no espaço sideral.

Atualmente, cerca de 2% das emissões de CO₂ são devidas ao setor de aviação, e se nada for feito, até 2050 com a intensificação do tráfego aéreo o setor será responsável por cerca de 22% das emissões. A figura 5 apresenta o crescimento do consumo e demanda de querosene pela indústria da aviação no Brasil ao longo dos anos, acredita-se que esse consumo crescerá de 3 a 4 vezes até 2040, em comparação com os níveis de 2010. (SOARES e CENAMO, 2018).

Figura 5: Consumo de querosene pela aviação ao longo dos anos no Brasil



Fonte: Felix (2017), adaptado pelo autor.

Segundo Gomes, Faria e Dallemole (2010) cada m³ de querosene de aviação consumido equivale a emissão de 2,52371262 toneladas de CO₂. Considerando que em 2018 foram consumidos no Brasil 4.121 x10³ m³ de querosene de aviação, se apenas 20% desse querosene tivesse sido trocado por bioquerosene, seria o equivalente a uma redução na emissão de aproximadamente 2,08 x10⁶ ton de CO₂. Se a troca por bioquerosene chegar a 50% essa redução pode ser ainda maior, chegando a 5,20 x 10⁶ ton de CO₂.

Com o novo acordo climático global (Acordo de Paris), estabelecido em 2015, as nações foram convidadas a criar metas próprias, compatíveis com suas capacidades para reduzir as emissões dos gases causadores do efeito estufa. O setor de aviação foi o primeiro a criar metas próprias para a mitigação das mudanças do clima, com o estabelecimento pela Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) do Esquema de Compensação e Redução para a Aviação Internacional, o CORSIA.

A meta é atingir o Crescimento Neutro em Carbono (CNG) a partir de 2020 e reduzir em 50% as emissões líquidas de CO₂ sobre níveis de 2005 até 2050. Para isso, as medidas de mitigação incluem o desenvolvimento de tecnologias e novos padrões para as aeronaves, melhoria no controle de tráfego aéreo e das operações em solo para economia de combustível, estabelecimento

de mecanismos de mercado e compensações de emissões e o uso de biocombustíveis na aviação civil internacional.

O CORSIA será implementado em três etapas, as duas primeiras (entre 2021-2023 e depois entre 2024-2026) contam com a adesão voluntária de países e companhias aéreas e a última etapa, a partir de 2027 com metas e medidas que serão obrigatórias para todos os países, com exceções de países pouco desenvolvidos e que não atinjam um percentual mínimo de contribuição das emissões totais no setor (SOARES e CENAMO, 2018).

Assim, percebe-se que a indústria aeronáutica já está em busca de diversas melhorias, principalmente através do desenvolvimento de tecnologias que visem aumentar o desempenho ambiental de seus produtos e serviços, buscando soluções para que seja mantido o crescimento sustentável, visando assim garantir condições adequadas para as gerações futuras (BETIOLO, ROCHA E MACHADO, 2009).

Importante ressaltar que as aeronaves modernas já são altamente eficientes, de forma que as melhorias tecnológicas tendem a ser apenas incrementais, de forma que o uso de biocombustíveis se apresenta como uma solução mais eficiente para atingir o crescimento neutro de carbono (ROITMAN, 2018).

A criação de regulamentações, já é um passo importante, pois reconhece a capacidade dos biocombustíveis em contribuir para o alcance das metas de descarbonização. Nesse contexto, o bioquerosene surge como uma ótima alternativa para as empresas aéreas, que têm investido em pesquisas e testes, os quais mostraram a sua eficiência positiva tanto em seu rendimento como combustível como em relação a redução das emissões de dióxido de carbono (BEM, 2016).

No Brasil, os primeiros passos já foram dados, com a Resolução nº496 de 28 de novembro de 2018 que regulamenta o monitoramento, o reporte e a verificação de dados de emissão de CO₂ relativos ao transporte aéreo internacional e com a portaria nº4005 de 26 de dezembro de 2018 que estabelece os procedimentos para monitoramento e fornecimento dos dados de emissão de CO₂ pelos operadores aéreos nacionais relativos ao transporte aéreo internacional.

Para o Brasil o CORSIA é, sem dúvida, uma grande oportunidade para aumentar a produção de bioquerosene e explorar esse crescente mercado. Atualmente o país já conta com uma planta certificada para produção do biocombustível em Brotas, interior de São Paulo, além de outras plantas industriais que podem, com algumas adaptações se tornarem produtoras de bioquerosene (CEISE, 2019). Porém a adesão ao CORSIA pelo país ainda não foi concretizada, devendo ocorrer somente na fase obrigatória, dificultando os avanços e os investimentos no setor de bioquerosene de aviação. Espera-se que o RenovaBio venha mudar essa situação, alavancando a produção e comercialização deste biocombustível no país.

O PROGRAMA RENOVABIO

No final de 2015, na 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) foi elaborado um acordo mundial visando fortalecer a resposta global à ameaça da mudança climática e reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos das emissões de gases de efeito estufa. A partir desse acordo cada país se comprometeu a apresentar a sua contribuição, dentro das suas próprias capacidades, para redução das emissões dos gases causadores do efeito estufa.

Para atingir os objetivos desse acordo, em setembro de 2016 o Brasil formalizou a Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), tornando as metas oficiais. Na NDC o país se comprometeu em reduzir as emissões dos gases de efeito estufa, estabelecendo uma redução de 37% em relação aos índices de 2005 até o ano de 2025, e de 43% até 2030. Para que esses índices sejam alcançados, o Brasil se comprometeu a alcançar uma participação de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética até 2030, com 18% da matriz energética correspondendo a participação de bioenergia, além de restaurar e florestar 12 milhões de hectares de florestas (MMA, 2019).

Nesse contexto, em 2017 o Ministério de Minas e Energia lançou o RenovaBio, uma política nacional de biocombustíveis com o objetivo principal de promover a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética, a fim de alcançar o cumprimento dos compromissos assumidos no Acordo de Paris.

O RenovaBio conta com metas de descarbonização, definidas para um período de dez anos, as quais se desdobram em metas individuais compulsórias anuais para os distribuidores de combustíveis fósseis. Cada produtor e importador credenciado receberá uma nota, inversamente proporcional à intensidade de carbono do biocombustível produzido. Essas notas serão convertidas em unidades de CBIOS (Créditos de Descarbonização), as quais poderão ser comercializadas na bolsa de valores, e as distribuidoras de combustíveis fósseis poderão adquiri-las para alcançar as metas individuais compulsórias (EPE, 2017).

Além do benefício direto do aumento na produção e comercialização de biocombustíveis no país, com consequente diminuição nas emissões de carbono, a política do RenovaBio tende a estimular os produtores de biocombustíveis a adotarem práticas mais sustentáveis para buscarem notas mais altas de certificações, que se traduzirá em mais créditos para comercialização. Essa nota maior pode ser obtida, por exemplo, aproveitando-se ao máximo os resíduos gerados para cogeração de energia, reduzindo assim os custos operacionais do próprio produtor, fortalecendo o setor. Com isso espera-se que o país diminua a importação de combustíveis e assim possa gerar

mais postos de trabalho.

Desafios Técnicos e Econômicos

Para que a expansão do setor de bioquerosene aconteça será necessário superar diversos desafios, sem deixar de atender os pilares fundamentais da sustentabilidade: ambiental, econômico e social.

O combustível gerado para ser adequado à aviação deve ser *drop-in*, ou seja, deve ser compatível e miscível com o combustível tradicional, sem ensejar a troca ou adaptação dos motores já em uso ou adaptações nas aeronaves, além de atender à todas as especificações técnicas. Vale ressaltar que cada aeronave tem uma vida útil de 35 a 50 anos e o valor de produção de cada aeronave é muito elevado, de forma que se torna inviável a substituição de toda a frota para utilização do biocombustível, o que justifica a necessidade da compatibilidade do bioquerosene produzido com os motores atualmente utilizados (AIAB, 2012).

Outro ponto a ser considerado é que atualmente existem poucos processos para a produção do bioquerosene (GUTERRES, 2019), sendo necessários investimentos na pesquisa de matérias-primas adequadas e no desenvolvimento de novas rotas tecnológica, termoquímica ou bioquímica.

Além disso, as matérias-primas para produção devem ser sustentáveis, sendo necessário inclusive a criação da sua cadeia de suprimentos, o que demanda altos custos e investimentos, principalmente no estágio inicial de desenvolvimento da indústria.

Há que se considerar ainda que os combustíveis podem representar mais de 21% dos custos operacionais das companhias aéreas e, portanto, se o custo do bioquerosene for demasiadamente elevado impactará diretamente nos resultados financeiros das companhias (ROITMAN, 2018). No Brasil a carga tributária no bioquerosene é maior que a do querosene de origem fóssil, tornando a sua produção pouco atrativa. Assim é imprescindível que sejam estabelecidas políticas públicas que favoreçam a produção e incentivem o produtor a optar pela produção de bioquerosene.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo abordar o cenário atual e as perspectivas para o futuro da produção de bioquerosene no Brasil. No cenário atual, com as crescentes preocupações mundiais a respeito do clima, o CORSIA e o RenovaBio são excelentes oportunidade para o país explorar o seu setor agrícola e se tornar um dos maiores produtores de bioquerosene para aviação no mundo. A diversidade climática do país permite a obtenção das mais variadas matérias-primas vegetais

renováveis, e seu setor agrícola com grandes reservas de terras permitem planejar a demanda dos biocombustíveis para o futuro.

Vários fatores indicam que o bioquerosene é uma alternativa viável, pois trata-se de um processo muito mais limpo, que gera poucos resíduos, não agride o solo, e que apresenta compensação de carbono durante o processo produtivo. Se considerarmos os dados de consumo no Brasil de 2018, a simples troca de 20% do querosene de aviação por bioquerosene, por exemplo, pode gerar o equivalente a uma redução na emissão de aproximadamente $2,08 \times 10^6$ ton. de CO₂.

Além disso, o querosene, por ser de origem fóssil, tende a ter seus preços elevados conforme as reservas de petróleo forem se esgotando, provocando aumento nas passagens aéreas bem como nos produtos importados, evidenciando mais uma necessidade da utilização do bioquerosene.

No entanto, esse biocombustível só se tornará esse substituto se forem realizadas várias pesquisas e investimentos. Nesse ponto o Brasil ainda tem muito que avançar, há necessidade de muitos recursos para alavancar a indústria nacional no setor. O RenovaBio tem tudo para facilitar esse desenvolvimento, mas ainda falta vontade política para aderir ao CORSIA na fase voluntária, para aprovar uma política específica do bioquerosene, bem como incentivos fiscais para tornar o bioquerosene mais atrativo. Além disso, sem reais investimentos em pesquisa o país estará fadado a ficar apenas observando o resto do mundo avançar na produção do bioquerosene.

REFERÊNCIAS

AIAB. ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS AEROESPACIAIS DO BRASIL. Inserção do Brasil nos biocombustíveis aeronáuticos. *Parcerias Estratégicas*, v. 16, n. 32, p. 59-64, 2012.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2019*. [2019]. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5237-anuario-estatistico-2019#Se%C3%A7%C3%A3o%204>. Acesso em: 25 jul. 2019.

BEM, A. A. P. C. *Uso de energia sustentável na aviação*. 2016. 23 f. Monografia (Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul Virtual, Palhoça, 2016.

BETIOLO, C. R.; ROCHA, G. C.; MACHADO, P. R de C. Iniciativas da aviação para redução das emissões de CO₂. *Simpósio de Transporte Aéreo*, v. 8, n. 2009, p. 401-409, 2009.

BONASSA, G. et al. Bioquerosene: Um Estudo de Caso. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, p. 97-106, 2014.

BORTOLETO, G. G. Bona. Produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos de frango. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, ano 7, n. 2, p. 77-97, jul/dez. 2017.

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. PL9321/2017. Estabelece o Programa Nacional do

Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 73-91, jan./jun. 2020.

Yoshinaga, F.; Santos, A. S.; Moura, B. F. S.; Bortoleto, G. G.;

Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras

Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2165988>. Acesso em 22 de julho de 2019.

BRONZATTI, F. L.; IAROSZINSKI NETO, A. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v. 28, p. 13-16, 2008.

CEISE. CENTRO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Combustível renovável ganha espaço na aviação nacional*. 06 de julho de 2017. Disponível em: <http://www.ceisebr.com/conteudo/combustivel-renovavel-ganha-espaco-na-aviacao-nacional-qqtqkn.html>. Acesso em 22 jul. 2019.

CNPE. CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. Resolução n. 16 de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n.15, 8 nov. 2018. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/11/2018&jornal=515&pagina=2&totalArquivos=181>. Acesso em 26 jul. 2019.

CORRÊA, O. A. et al. Estudo da Produção de Bioquerosene via Craqueamento Térmico Catalítico de Material Lipídico de Caixas de Gordura do RU-UFPA. In: *Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Florianópolis. 2014.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, RenovaBio: Biocombustíveis 2030. *Nota Técnica: Sustentabilidade*. Rio de Janeiro, fev. 2017.

_____. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, Balanço Energético Nacional 2019. *Relatório Síntese/ Ano Base 2018*. Rio de Janeiro, maio/2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em 23 jul. 2019.

FÉLIX, M. Bioquerosene e oportunidades. Painel Biocombustíveis na Aviação: Solução de Baixo Carbono. *Ethanol Summit*, 2017.

FERNANDES, G.; MARIANI, L. O alto potencial de produção e uso fará do biogás a próxima fronteira da energia renovável no Brasil? *Boletim Energético*. FGV *Energia*. p. 4-11, mar. 2019.

GOLDEMBERG, J. Dossiê Recursos Naturais - Energia e desenvolvimento. *Estudos Avançados*. vol.12, n. 33, pp.7-15, 1998.

GOMES, V. M.; FARIA, A. M. M.; DALLEMOLE, D. Estimativa de gás carbônico derivado do consumo de combustíveis no Brasil e Mato Grosso entre 2000 e 2008: identificando contenção de externalidades negativas e tendências de ajustamento a uma economia de baixo carbono. *V ENANPPAS ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS*, Florianópolis, 2010. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT7-468-640-20100903161203.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2020.

GUTERRES, G. *Embrapa apresenta pesquisas com matérias-primas para a produção de bioquerosene no Brasil*. 04 jun. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/busca-de-noticias/-/noticia/43857499/embrapa-apresenta-pesquisas-com-materias-primas-para-a-producao-de-bioquerosene-no-brasil>. Acesso em 29 jul. 2019.

MANOCHIO, C. *Produção de bioetanol de cana de açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos*. 2014. 35 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Acordo de Paris*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 28 mai. 2019.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Oferta e Demanda de Energia. Instalações energéticas. Energia no mundo. *Resenha Energética Brasileira*. Exercício 2018. mai. 2019. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasilera+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2019+v2.pdf/66a837a8-4164-4b37-be4a-59a5ad270c50?version=1.0>. Acesso em: 26 jul. 2019.

MOTA, C. J. A.; MONTEIRO, R. S. Química e sustentabilidade: novas fronteiras em biocombustíveis. *Química Nova*, v. 36, n. 10, p. 1483-1490, 2013.

NASTARI, P. M. Oportunidade de novas diretrizes no setor. *AgroANALYSIS*, v. 37, n. 2, p. 24-25, 2017.

OLIVEIRA, L. M.; SERRA, J. C. V.; OLIVEIRA, K. B. M. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. *Geoambiente On-line*, n. 22, 2014.

RIBEIRO, G. Brasil é apenas um espectador no avanço dos biocombustíveis para aviões. *Gazeta do Povo*. 27 mar. 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/brasil-e- apenas-um-espectador-no-avanco-dos-biocombustiveis-para-avioes-1u4ee5hd6dx6x5s6a4brzc1oe/>. Acesso em 26 jul. 2019.

ROITMAN, T. *Perspectivas e propostas de inserção de bioquerosene de aviação no transporte aéreo de passageiros no Brasil*. 2018. 158 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

SOARES, P.; CENAMO, M. C. *Esquema de redução de emissões da Aviação Civil Internacional (CORSLA/ICO): desafios e oportunidades*. São Paulo: IDESAM, 2018.

WWF. WORLD WIDE FUND FOR NATURE. *As mudanças climáticas*. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/. Acesso: 16 jul. 2019.

ZAPAROLLI, D. Ventos promissores a caminho. *Pesquisa Fapesp*, n. 275, p. 78-83, jan. 2019.

1 YOSHINAGA, Fabiana. fyoshinaga@gmail.com Bacharel em Química pela Universidade Estadual de Campinas (2001) e Mestre em Química pela Universidade Estadual de Campinas (2003). Experiência nas áreas: ressonância magnética nuclear (RMN), infravermelho (IV), cromatografia gasosa (CG), cálculos teóricos, análise conformacional, recuperação melhorada de petróleo (EOR), biocombustíveis e metodologias ativas de aprendizagem. Atualmente sou Diretora Acadêmica na Fatec de Itatiba.

2 SANTOS, Ariane da Silva. ariiane.dsantos@gmail.com. Tecnóloga em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

3 MOURA, Bruno Fernandes Santana de. budico_st@hotmail.com. Tecnólogo em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

4 BORTOLETO, Gisele Gonçalves. gisele.bortoleto@fatec.sp.gov.br Bacharel em Química pelo IQ-UNICAMP (2001), licenciada em Química pela Faculdade de Educação da UNICAMP (2003), mestre em Química Analítica pelo IQ-UNICAMP (2003) e doutora em Ciências pelo IQ-UNICAMP (2007), realizou pós doutoramento no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA-USP (2007-2008). É professora dos cursos de Alimentos e de Biocombustíveis da FATEC Piracicaba - Centro Paula Souza desde 2008 e coordena o curso de Tecnologia em Biocombustíveis. Atualmente é membro do Conselho Técnico do Parque Tecnológico de Piracicaba, membro do Conselho Municipal de Educação e Representante de Curso do Conselho Regional de Química.

Consumo de eletricidade e PIB: uma análise em dados em painel para o Brasil no período de 2002 a 2015

Barbosa, Paulo André M.
Profeta, Graciela Aparecida
Santos, Vladimir Faria dos

Resumo

Estudos que abordam o consumo de energia como um fator preponderante para explicar os processos de desenvolvimento e crescimento socioeconômico vêm ganhando espaço na literatura ao longo dos últimos anos. A eletricidade, por exemplo, é muitas vezes referida como um importante insumo de infraestrutura econômica dado seu impacto direto sobre a produção dos meios de subsistência. O Brasil, devido às suas proporções continentais, apresenta um cenário de grande heterogeneidade socioeconômica entre suas regiões geográficas, característica essa que pode se refletir em variações significativas na relação entre o consumo de energia elétrica e o crescimento econômico de uma localidade para outra. Desse modo, partindo de uma estrutura de produção agregada neoclássica de um setor, esse estudo buscou analisar a relação entre as diferentes classes de consumo de energia elétrica (residencial, comercial, industrial e outros) e o Produto Interno Bruto (PIB) real *per capita* a partir de dados referentes às cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) que compõe o território brasileiro por meio de uma abordagem de dados em painel. Os resultados mostraram que das quatro classes que compõe o consumo total de energia elétrica, apenas duas foram estatisticamente significativas em relação ao PIB *per capita*, sendo estas as classes comercial e residencial. A primeira apresentou uma relação positiva com PIB *per capita* que pode ser atribuída ao fato de que um aumento no consumo de energia do setor elétrico seja reflexo de um aumento da oferta de bens e serviços, já a segunda apresentou uma relação negativa, que pode ser interpretada pelo fato de que ao elevarem seu consumo de energia, as famílias estariam destinando uma parcela menor de sua renda para o consumo de bens e serviços produzidos por outros setores, ocasionando um impacto negativo no crescimento econômico.

Palavras-Chave: Energia Elétrica, PIB *per capita*, Dados em Painel, Brasil.

Abstract

Studies that approach energy consumption as a major factor to explain the processes of development and socioeconomic growth have been gaining space in the literature over the past few years. Electricity, for example, is often referred to as an important input for economic infrastructure, given its direct impact on livelihood production. Brazil, due to its continental proportions, presents a scenario of great socioeconomic heterogeneity between its geographic regions, a characteristic that can be reflected in significant variations in the relationship between the consumption of electricity and economic growth from one location to another. Thereby, starting from a neoclassical aggregated production structure of a sector, this study sought to analyze the relationship between the different classes of electricity consumption (residential, commercial, industrial and others) and the real Gross Domestic Product (GDP) per capita from data referring to the five geographic regions (North, Northeast, South, Midwest and Southeast) that make up the Brazilian territory through a panel data approach. The results showed that of the four classes that make up the total consumption of electricity, only two were statistically significant in relation to GDP per capita, these being the commercial and residential classes. The first presented a positive relationship with GDP per capita that

can be attributed to the fact that an increase in energy consumption in the electricity sector reflects an increase in the supply of goods and services, while the second presented a negative relationship, which can be interpreted by the fact that by raising their energy consumption, families would be allocating a smaller portion of their income to the consumption of goods and services produced by other sectors, causing a negative impact on economic growth.

Keywords: Electricity, GDP per capita, Panel data, Brazil.

Resumen

Los estudios que abordan el consumo de energía como un factor importante para explicar los procesos de desarrollo y crecimiento socioeconómico han ido ganando espacio en la literatura en los últimos años. La electricidad, por ejemplo, a menudo se conoce como un importante aporte de infraestructura económica dado su impacto directo en la producción de medios de vida. Brasil, debido a sus proporciones continentales, presenta un escenario de gran heterogeneidad socioeconómica entre sus regiones geográficas, una característica que puede reflejarse en variaciones significativas en la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico de un lugar a otro. Así, a partir de una estructura de producción agregada neoclásica de un sector, este estudio buscó analizar la relación entre las diferentes clases de consumo de electricidad (residencial, comercial, industrial y otros) y el Producto Interno Bruto (PIB) real per cápita a partir de datos que se refieren a las cinco regiones geográficas (Norte, Noreste, Sur, Medio Oeste y Sudeste) que conforman el territorio brasileño a través de un enfoque de panel de datos. Los resultados mostraron que de las cuatro clases que conforman el consumo total de electricidad, solo dos fueron estadísticamente significativas en relación con el PIB per cápita, siendo estas las clases comerciales y residenciales. El primero presentó una relación positiva con el PIB per cápita que puede atribuirse al hecho de que un aumento en el consumo de energía en el sector eléctrico refleja un aumento en la oferta de bienes y servicios, mientras que el segundo presentó una relación negativa, que puede ser interpretado por el hecho de que al aumentar su consumo de energía, las familias estarían asignando una porción más pequeña de sus ingresos al consumo de bienes y servicios producidos por otros sectores, causando un impacto negativo en el crecimiento económico.

Palabras clave: electricidad, PIB per cápita, datos del panel, Brasil.

INTRODUÇÃO

A importância do consumo de energia elétrica em países em desenvolvimento como o Brasil, tem sido vista ao longo dos últimos anos como um fator significativo, dado o importante papel que a energia desempenha como insumo de infraestrutura¹ vital para os processos de crescimento e desenvolvimento socioeconômico.

Na literatura econômica encontram-se, basicamente, duas vertentes que podem ser usadas para analisar a relação entre consumo de energia e crescimento econômico. A primeira descreve o papel da energia como sendo mínimo ou neutro em relação aos demais insumos de infraestrutura, o que decorre do fato de que o consumo de energia, em particular, a elétrica, não afeta o crescimento econômico, uma vez que a energia representa uma parcela muito pequena do produto interno bruto de um país. Nesse cenário, entende-se que, à medida que uma economia cresce, é provável que sua estrutura produtiva se concentre cada vez mais no setor de serviços que, em comparação ao setor industrial, não necessita de um uso muito intensivo de energia.

Para essa primeira vertente, a análise de causalidade consiste na abordagem mais comumente utilizada na literatura para determinar qual o papel da energia na sua relação com o crescimento econômico. Mehrara (2007), ao analisar um grupo de 11 países exportadores de petróleo, encontrou evidências de causalidade unidirecional do PIB real *per capita*² para o consumo de energia comercial *per capita*, ou seja, o consumo de energia apresentou pouco ou nenhum efeito sobre o crescimento econômico. Resultado semelhante também foi encontrado por Huang et al. (2008), ao estudar um apanhado de países com diferentes níveis de renda nacional a partir de uma abordagem de dados em painel dinâmico. Fernandes e Reddy (2020) investigaram a relação entre consumo de energia e crescimento econômico utilizando o teste de causalidade de Toda Yamamoto para alguns países da Ásia recém-industrializados. Seus resultados mostraram haver uma relação causal unidirecional do PIB para o consumo de energia em alguns países. Alsaedi e Tularam (2020), ao empregarem o teste de causalidade de Granger, encontraram uma relação de causalidade partindo do PIB para o consumo de eletricidade na Arábia Saudita.

Já a segunda vertente considera o consumo de energia como o principal meio para alcançar o crescimento econômico. Nesse cenário, espera-se que a energia desempenhe papel fundamental no alcance do progresso econômico, social e tecnológico, bem como complemente os insumos

¹ Entende-se por insumo de infraestrutura produtos e serviços como transporte, comunicação, saneamento, energia, entre outros (BRAMBILLA e MUELLER, 2004).

² PIB *per capita* corresponde ao PIB dividido pela quantidade de habitantes de um país ou região.

capital e trabalho no processo de produção, principalmente em países em desenvolvimento, como o caso do Brasil (GADELHA e CERQUEIRA, 2013).

Trabalhos como o de Xavier (2012), Gadelha e Cerqueira (2013) e Barbosa (2019) mostraram haver uma relação causal unidirecional do consumo de energia elétrica para o crescimento econômico, ao analisar o território brasileiro. O primeiro trabalho analisou a relação entre consumo de energia e a produção física industrial (utilizada pelo autor como *proxy* do crescimento econômico) na região Nordeste do Brasil. O segundo estudou a relação entre consumo de eletricidade e PIB real para a Região Sudeste. O terceiro investigou a relação entre o consumo de eletricidade e PIB real *per capita* no Brasil, entre os anos de 1952 a 2010. Os resultados sugerem que, no caso do Brasil, para haver crescimento econômico é necessário que antes haja uma oferta de energia elétrica suficiente para atender a demanda proveniente desse crescimento.

Para o cenário internacional merecem destaque outros trabalhos que também encontraram resultados que mostram uma relação de dependência do crescimento econômico em relação ao consumo de energia em diferentes países e regiões. Al-Mulali et al. (2019), ao investigarem o nexo causal entre crescimento e eletricidade nos países membros do Conselho de Cooperação do Golfo (CCG), descobriram que o consumo de eletricidade tem um efeito positivo sobre o PIB dos países membros no longo prazo. Thaker et al. (2019), ao examinarem a relação entre energia e crescimento na Malásia, constataram a presença de causalidade unidirecional de Granger indo do consumo de eletricidade ao PIB real, mas não vice-versa. Ali et al. (2020), ao analisarem a relação entre consumo de eletricidade e PIB *per capita*, constataram que o consumo de eletricidade leva ao crescimento econômico no Paquistão.

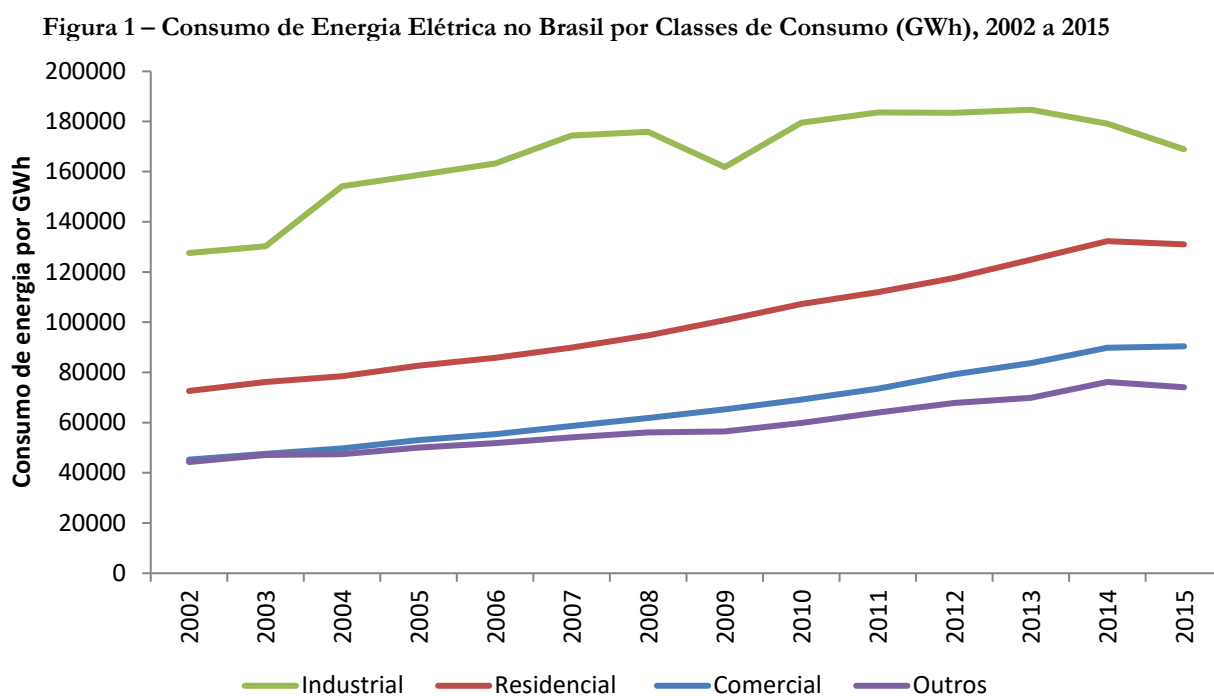
Devido às suas proporções continentais, o território brasileiro apresenta um cenário de grande heterogeneidade socioeconômica entre as regiões que o compõem. Essa característica pode refletir em variações na relação entre a energia elétrica e o crescimento econômico de uma localidade para a outra. Desse modo, tendo como base a segunda vertente apresentada - escolha alicerçada nos trabalhos de Xavier (2012), Gadelha e Cerqueira (2013) e Barbosa (2019) para o Brasil - e uma estrutura de produção agregada neoclássica de um setor, onde capital, trabalho e energia são tratados como insumos separados, esse estudo buscou determinar o impacto das diferentes classes de consumo de energia elétrica (residencial, comercial, industrial e outros³) sobre o Produto Interno Bruto (PIB) real *per capita* a partir de dados referentes às cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) que compõe o território brasileiro e, para tanto, usou-se de uma abordagem econométrica aplicada a dados em painel.

³ (Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio).

1. PIB E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E REGIÕES

De acordo com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2016, disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil contava, até 2015, com mais de 206 milhões de habitantes e cerca de 80 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica, das quais mais de 85% correspondiam a consumidores residenciais. O país apresentava também uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, onde a geração hidráulica se destacava por responder a 65,8% da oferta interna e mais de 60% da capacidade instalada.

Por sua vez, no período de 2002 a 2015, o consumo final de energia elétrica apresentou uma taxa média de crescimento de 4,30% ao ano, totalizando um aumento de 60,21% ao final de 2015. O elevado padrão de crescimento do consumo desse recurso energético no Brasil pode ser observado na Figura 1, que reproduz o comportamento das quatro classes de consumo analisadas nesse estudo: residencial, comercial, industrial e outros. Considerou-se o período de 2002 a 2015.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

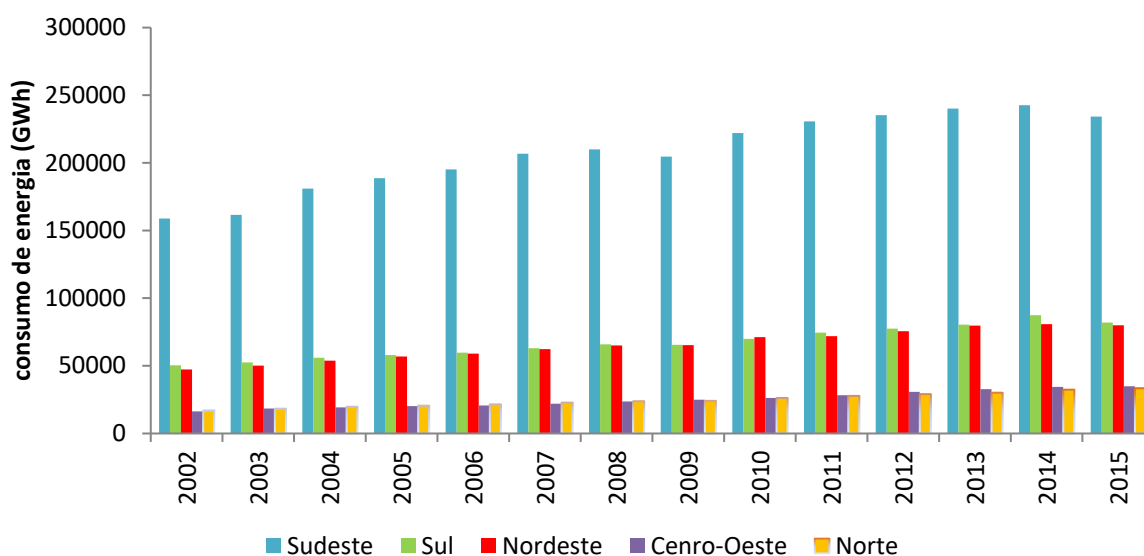
Ao analisar a Figura 1, pode-se observar que a classe comercial apresentou, do ano de 2002 para o ano de 2015, um crescimento no consumo de energia de aproximadamente 99,8%, seguida

da classe residencial com 80,3%, a industrial com 32,3% e outros com 67%. Ressalta-se também que a classe de consumo industrial apresentou o nível de consumo mais elevado das quatro, correspondendo a mais de 42% do consumo total acumulado do período, acompanhada pela classe residencial, responsável por 26%, e a classe comercial e outros por 17% e 15%, respectivamente.

Das cinco regiões geográficas que compõem o Brasil, a Região Sudeste se destaca em todos os segmentos do setor elétrico brasileiro, a saber: geração, consumo, transmissão e distribuição, além de ser a região mais desenvolvida em termos econômicos e sociais, concentrando pouco mais de 50% do PIB brasileiro no ano de 2015 (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2016).

A participação de cada região geográfica do Brasil, de 2002 a 2015, no consumo total de energia elétrica do país pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil por Região (GWh), 2002 a 2015



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

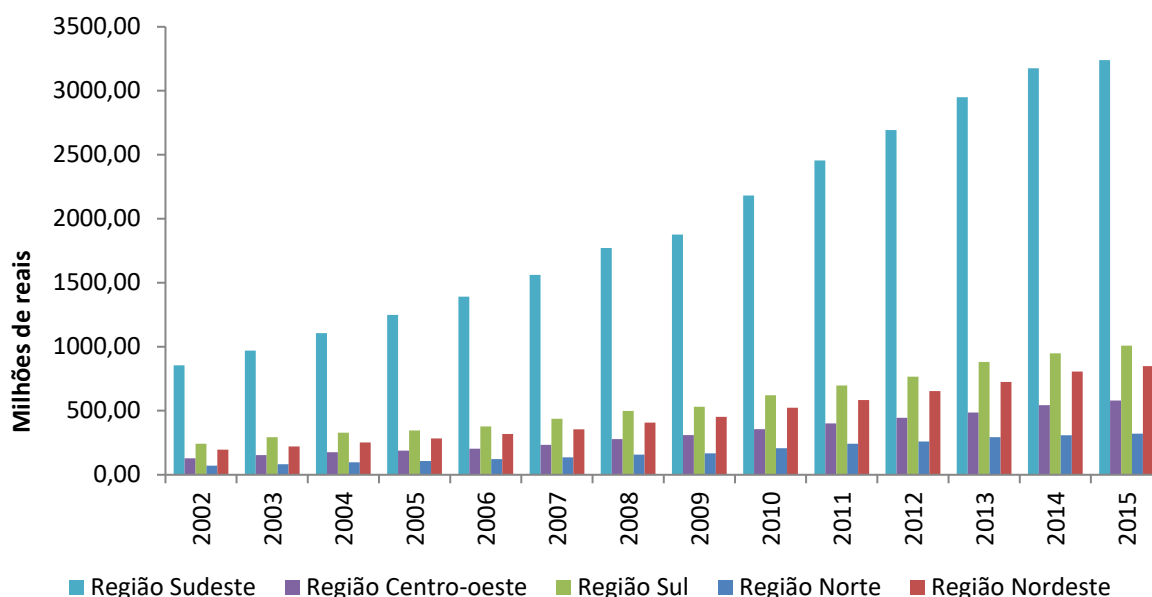
Conforme pode-se notar ao examinar a Figura 2, o Sudeste do Brasil é a principal região consumidora de energia do país, respondendo por pouco mais de 53% da carga do Sistema Integrado Nacional (SIN), no período de 2002 a 2015. Em se tratando das demais regiões, o Sul foi responsável por pouco mais de 17% do consumo total de energia, acompanhada do Nordeste com 16,8%, Centro-Oeste com 6,4% e a Região Norte com 6,3%.

Destaca-se, de acordo com dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2016, que mais da metade do PIB brasileiro advém do Sudeste e a relação dos cinco maiores PIBs do Brasil, que nunca mudou desde 2002, continua se concentrando entre

os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio grande do Sul e Paraná. A participação destes estados, em 2002, correspondia a 68,1% do PIB, e foi para 64,9% em 2015.

A distribuição do PIB real brasileiro entre suas regiões geográficas para o período analisado pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 – PIB real no Brasil por Região (R\$), 2002 a 2015



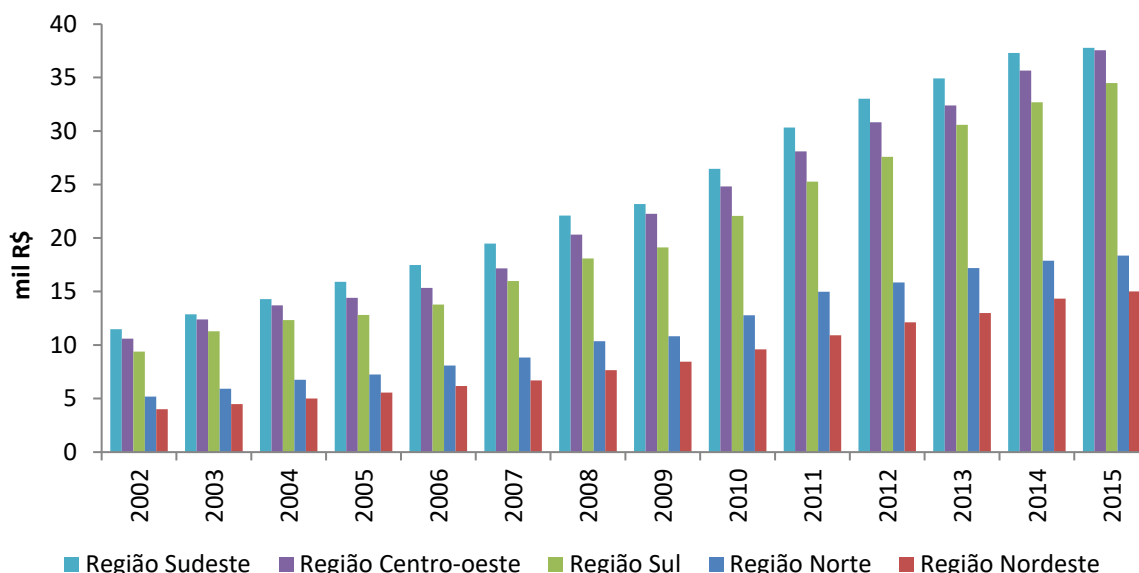
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

Conforme a Figura 3, notou-se que mesmo concentrando mais da metade do PIB brasileiro, a Região Sudeste vem perdendo participação ao longo dos anos. Em 2002, o Sudeste era responsável por 57,4% do PIB, reduzindo sua participação para 54% em 2015. Enquanto isso, embora a Região Norte tenha a menor participação no PIB brasileiro, foi a que apresentou maior crescimento no período analisado, seguido do Centro-Oeste e Nordeste. A participação do Norte, em 2002, foi de 4,7% para 5,4% em 2015. Os dados evidenciam uma desconcentração da economia, ainda que “tímida”, mas constante nos últimos anos.

Cabe destacar que a heterogeneidade do território brasileiro se estende para além das características econômicas, como a distribuição do PIB apresentada anteriormente. A distribuição da população entre as regiões também é bastante desigual. A Região Sudeste, por exemplo, além de concentrar a maior parcela do PIB também concentra a maior parcela da população, chegando a 41,9% em 2015, seguida pelo Nordeste com 27,7% e o Sul com 14,4%.

Para visualizar essa heterogeneidade entre as regiões que compõe o território brasileiro, principalmente no que se refere ao aspecto econômico, pode-se comparar a distribuição regional do PIB e do PIB *per capita*, de 2002 a 2015, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 – PIB *per capita* no Brasil por Região (R\$), 2002 a 2015



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

A partir da análise da Figura 4, pode-se observar que o Sudeste, em termos do PIB *per capita*, ainda é a região com a maior importância econômica, apresentando um valor médio para o período de 2002 a 2015 de aproximadamente R\$24 mil, seguida de perto pelas Regiões Centro-Oeste e Sul com R\$22 mil e R\$20 mil respectivamente. Já a Região Nordeste foi a que apresentou maior aumento no produto *per capita*, cerca de 276% no período analisado, seguida pela Região Sul, com 267%. Cabe ainda destacar que o Sudeste foi a região que menos cresceu entre 2002 e 2015, cerca de 229%. Ademais, salienta-se que o consumo de energia elétrica total por região e o PIB *per capita* do período 2002 a 2015 podem ser observados na Tabela 1A (Apêndice).

3. BASE TEÓRICA

Com o objetivo de investigar o impacto das diferentes classes de consumo de eletricidade sobre o PIB brasileiro, esse estudo se baseou em uma estrutura de produção agregada neoclássica de um setor.

Uma abordagem convencional dessa estrutura é considerar o produto, Y , sendo determinado pelo estoque de capital, K , e pelo estoque de mão de obra, L . Dentro dessa estrutura, entretanto, é possível incorporar outro insumo de fundamental importância, a energia. Assim, de acordo com Ghali e Sakka (2004) e Sari e Soytas (2007), a função de produção pode ser especificada da seguinte maneira, como exposto na Equação (1).

$$Y_t = f(K_t, L_t, E_t) \quad (1)$$

em que Y é o PIB real, K o estoque de capital, L o nível de emprego; E é o total de consumo de energia; e, o subscrito t denota o período tempo. Tomando a diferencial total de (1), obtém-se a seguinte expressão representada pela Equação (2).

$$\dot{Y}_t = a\dot{K}_t + b\dot{L}_t + c\dot{E}_t \quad (2)$$

em que o ponto a cima das variáveis significa que as mesmas estão na forma de taxa de crescimento. Os parâmetros a , b e c são as elasticidades do produto com respeito ao capital, trabalho e energia, respectivamente. Logo, por meio da Equação (1) e (2) é possível, então, estimar a participação do consumo de energia na determinação do PIB. Essa mesma abordagem também pode ser observada nos estudos de Pala (2020) e Churchill e Ivanovski (2020).

4. METODOLOGIA

O modelo econométrico utilizado nesse estudo é baseado na análise de Dados em Painel⁴, tendo em vista sua utilidade em pesquisas aplicadas que envolvem uma amostra que apresenta característica que podem ser diferentes ao longo do tempo e entre as unidades, como pode ser o caso das regiões do Brasil. Em outras palavras, tal estrutura exige uma combinação de dados de séries temporais com uma análise de seção cruzada.

Salienta-se que o uso de dados em painel apresenta diversas vantagens, pois permite examinar um número maior de observações com mais e melhores informações, suporta um maior número de variáveis, e os dados possuem menor multicolinearidade entre as variáveis explicativas, assim como maior eficiência na estimação. Diferentemente do modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), o modelo de dados em painel leva em consideração a existência dos problemas de autocorrelação e heterocedasticidade, tanto dentro, quanto entre os grupos, ou ambas as situações simultaneamente (CORREIA, 2014).

⁴ Para mais detalhes ver Gujarati (2011).

Contudo, cabe também destacar que a metodologia de dados em painel não esta isenta de problemas e pode apresentar limitações, como: problemas de cobertura - contabilização incompleta da população de interesse; tempo das series temporais curto - esta situação é típica em dados em micro painel, devido aos dados serem anuais e desta forma cobrirem um curto espaço de tempo para cada indivíduo; e a dependência de dados em *cross-section* - dados em painel a nível macro de países ou regiões com séries temporais longas que não contabilizam a dependência de *cross-country* podem levar a uma conclusão enganosa (LOPES, 2013).

4.1. Teste de Raiz Unitária

Por se tratar de uma análise que envolve dados agrupados ao longo do tempo, um primeiro e importante passo antes da estimação de um modelo de dados em painel é a realização do teste de raiz unitária, de forma a assegurar que todas as variáveis apresentem as mesmas propriedades ao longo do tempo, e que essas sejam estacionárias. Sendo assim, o teste de raiz unitária empregado nesse estudo foi o teste de Levin-Lin-Chu⁵ (LLC), cujo ponto de partida é a regressão dada por:

$$\Delta y_{it} = \phi y_{i,t-1} + z'_{it} \gamma_i + \sum_{j=1}^{p_i} \theta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + u_{it} \quad (3)$$

O teste LLC assume que o termo de erro é distribuído de forma independente através de painéis e segue um processo estacionário de modo que com muitas defasagens de Δy_{it} incluído no modelo acima, garantirá o termo de erro sendo um ruído branco⁶, e, portanto, implica em variância heterogênea entre painéis. A hipótese nula do teste considera que os painéis contem raiz unitária, enquanto a hipótese alternativa considera que os painéis são estacionários.

4.2. Especificação do Modelo

Para analisar de forma econométrica o impacto das diferentes classes de consumo de energia elétrica sobre o PIB real *per capita* do Brasil, foi utilizada uma série de tempo com dados anuais de janeiro de 2002 a dezembro de 2015. Desse modo, o painel se compôs de cinco ($i=5$) regiões geográficas para um período de 14 anos ($t=14$), contabilizando 70 observações ($N = iT$).

⁵ Para mais detalhes ver Levin, Lin e Chu (2002).

⁶ Uma série temporal yt é chamada de ruído branco se $\{yt\}$ for uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas com média zero e variância constante.

Assim, o modelo de regressão, via dados em painel, estimado nesse estudo está apresentado na Equação (4).

$$\text{LPIBPER}_{it} = \beta_0 + \beta_{1t} \text{LCECO}_{it} + \beta_{2t} \text{LCERE}_{it} + \beta_{3t} \text{LCEIN}_{it} + \beta_{4t} \text{LCEOU}_{it} + \varepsilon_{it}$$

(4)

em que: LPIBPER_{it} refere-se ao logaritmo do produto interno bruto (PIB) *per capita* de cada região (i) no período (t); LCECO_{it} corresponde ao logaritmo do consumo de energia comercial; LCERE_{it} denota o logaritmo do consumo de energia residencial; LCEIN_{it} diz respeito ao logaritmo do consumo de energia industrial; e LCEOU_{it} corresponde ao logaritmo do consumo de energia das demais (ou outras) classes de consumo. ε_{it} refere-se ao termo de erro estocástico para a região (i) no tempo (t) e os β'_s são os parâmetros a serem estimados.

Destaca-se que para estimação correta dos parâmetros da Equação (4) é necessário escolher o melhor modelo de dados em painel de acordo com suas suposições e a qualidade do ajustamento. Nesse estudo foram considerados e testados três modelos principais de dados em painel: modelo de Mínimos Quadrados Agrupados ou modelo “*Pool*”; modelo de Efeitos Fixos (EF); e o modelo de Efeitos Aleatórios (EA).

As principais características de cada modelo podem ser resumidas da seguinte forma: i) modelo “*Pool*” - a estimação é feita assumindo que a constante ou intercepto (β_0) é comum para todos os indivíduos, ou seja, assume-se que todos os elementos da amostra possuem comportamento idêntico, além de não considerar o efeito do tempo e nem o efeito individual de cada unidade; ii) modelo de Efeitos Fixos - a estimação é feita assumindo que a heterogeneidade dos indivíduos é captada na parte constante (β_0), que é diferente de indivíduo para indivíduo, o que permite detectar diferenças invariantes no tempo; e, iv) modelo de Efeitos Aleatórios - a estimação é feita introduzindo a heterogeneidade dos indivíduos no termo de erro (ε_{it}). Esse modelo considera a constante não como um parâmetro fixo, mas como um parâmetro aleatório não observável.

Para determinar qual dos três modelos é o mais adequado, existem três testes principais que podem ser aplicados: o teste de Chow (teste F restrito), cuja hipótese nula é de que o modelo “*Pool*” é o mais indicado enquanto a hipótese alternativa refere-se ao modelo EF como o mais consistente; o teste de Hausman, onde a rejeição da hipótese nula de que o modelo EA seja consistente, indica a existência de EF; e o teste LM de Breusch-Pagan, onde a rejeição da hipótese nula de que o

modelo "Pool" seja o mais apropriado, indica que a hipótese alternativa de um modelo EA é o mais adequado (GUJARATI, 2011).

4.3. Descrição das Variáveis e Fonte de Dados

Os dados utilizados para análise empírica correspondem a séries anuais do PIB real, população e consumo de eletricidade por classe (residencial, comercial, industrial e outros) para as cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) que compõe o Brasil, de janeiro de 2002 a dezembro de 2015. Os dados referentes ao PIB real (deflacionado de acordo com o IGP-DI) e a população foram coletados no *site* do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), enquanto os dados referentes ao consumo de eletricidade por classe foram coletados no *site* do Banco Central do Brasil.

A escolha do período analisado (2002 a 2015) se deve ao fato de ser um período de maior estabilidade econômico-financeira do Brasil e do setor energético, tendo em vista a consolidação do Plano Real e a reestruturação do setor energético ocorridos ao final dos anos 1990 e também por ser um período pré-crise político-econômica que teve início a partir 2015, e também devido à disponibilidade dos dados.

Cabe enfatizar que as variáveis foram trabalhadas em sua forma logarítmica. Logo, os coeficientes estimados retratam as elasticidades. Em tempo, para realização dos procedimentos e testes de dados em painel mencionados acima, utilizou-se o programa estatístico *Gretl*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como um primeiro passo antes da estimação dos modelos de dados em painel, foi realizado o teste Levin-Lin-Chu (LLC) de raiz unitária. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela (1).

Tabela 1 – Resultado do teste Levin-Lin-Chu (LLC) de raiz unitária

Variáveis	Em Nível		
	Sem constante	Com constante	Com constante e tendência
LPIBPER	-0,0077*	-0,3821 ^{NS}	-0,6219**
LCECO	-0,0076***	-0,0608 ^{NS}	-0,6450**
LCERE	-0,0075***	0,0876 ^{NS}	-0,1851 ^{NS}
LCEIN	-0,0151***	-0,1103 ^{NS}	-0,5528 ^{NS}
LCEOU	-0,0155***	-0,1752**	-0,9277*

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Nota 2: LPIBPER – Produto Interno Bruto per capita (forma log); LCECO – consumo de energia elétrica comercial (forma log); LCERE – consumo de energia elétrica residencial (forma log); LCEIN – consumo de energia elétrica industrial (forma log); LCEOU – consumo de energia elétrica outras classes (forma log).

Conforme resultados do teste LLC apresentados na Tabela (1), pode-se observar que ao nível de significância de 10%, todas as variáveis se mostraram estacionárias em nível ao se desconsiderar a constante na equação do teste. Assim, as estimações podem ser realizadas por MQO, EF ou EA.

De forma a escolher o melhor modelo de dados em painel de acordo com suas suposições e a qualidade do ajustamento, o próximo passo foi a estimação dos três principais modelos de dados em painel apresentados anteriormente. Os resultados obtidos a partir dos modelos de MQO, Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA) foram apresentados de forma resumida na Tabela (2).

Tabela 2 – Resumo das estimativas de MQO, Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA) para a relação entre PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade para as regiões do Brasil, no período de 2002 a 2015

Variável dependente: LPIPER	MQO	Efeitos fixos	Efeitos Aleatórios
Constante	4,4444***	-11,0356***	-10,9490***
LCECO	4,1516***	2,1752***	2,1923***
LCERE	-2,4642***	-0,4742**	-0,4863***
LCEIN	-0,6518***	-0,0178 ^{NS}	-0,0265 ^{NS}
LCEOU	-1,0342***	-0,1469 ^{NS}	-0,1512 ^{NS}
R ²	0,7961	-	-
R ² Ajustado	0,7836	-	-
R ² Por Dentro	-	0,9839	-
R ² LSDV	-	0,9919	-
Teste F	63,4529***	935,0352***	-
Teste LM BP	-	-	Prob> $\chi^2 = 0,0023$
Teste Hausman	-	-	Prob> $\chi^2 = 0,4089$
Nº de Regiões	5	5	5
Nº de Observações	70	70	70

Nota 1: (NS), (*), (**), (***) refere-se a não significativo e à significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Nota 2: LPIBPER – Produto Interno Bruto per capita (forma log); LCECO – consumo de energia elétrica comercial (forma log); LCERE – consumo de energia elétrica residencial (forma log); LCEIN – consumo de energia elétrica industrial (forma log); LCEOUE – consumo de energia elétrica outras classes (forma log).

De acordo com os resultados da Tabela (2), observou-se que os três modelos apresentaram bom ajustamento, dado a significância estatística apresentada pela maioria dos coeficientes estimados e os valores do teste F e do R². Contudo, para escolher qual dos modelos melhor se adequa à realidade do estudo, avaliou-se, via teste LM e de Hausman, qual o melhor modelo a ser utilizado para estimar as relações entre o PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade.

Os resultados obtidos para o teste LM e de Hausman podem ser observados de forma mais detalhada na Tabela 2A (Apêndice) e apontaram que o modelo EA é preferível ao modelo MQO e que entre os modelos EA e EF, o modelo EA se mostrou o mais adequado. Dessa forma, o estimador de Efeitos Aleatórios (EA) foi o escolhido para realizar as análises acerca da relação entre as variáveis supracitadas. Os resultados estimados podem ser observados na Tabela (3).

Tabela 3 - Estimativa de Efeitos Aleatórios para a relação entre PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade para as regiões do Brasil, no período de 2002 a 2015

Variável dependente: LPIPER	Coefficiente	Erro-Padrão	P> z
Constante	-10,9490***	0,9181	0,00
LCECO	2,1923***	0,2181	0,00
LCERE	-0,4863***	0,1837	0,00
LCEIN	-0,0265 ^{NS}	0,0786	0,74
LCEOUE	-0,1512 ^{NS}	0,1796	0,40

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Nota 1: (NS), (*), (**), (***) refere-se a não significativo e à significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Nota 2: LPIBPER – Produto Interno Bruto per capita (forma log); LCECO – consumo de energia elétrica comercial (forma log); LCERE – consumo de energia elétrica residencial (forma log); LCEIN – consumo de energia elétrica industrial (forma log); LCEOUE – consumo de energia elétrica outras classes (forma log).

Os resultados da Tabela (3) permitem observar que apenas as classes de consumo de energia elétrica comercial e residencial se mostraram significativas. O consumo comercial demonstra ter impacto positivo sobre o PIB *per capita*, onde um aumento de 1% no consumo de eletricidade dentro dessa classe leva a um aumento no PIB *per capita* de 2,19%, *ceteris paribus*. Já o consumo residencial apresentou um impacto negativo sobre o PIB *per capita*, onde um aumento de 1% no consumo de eletricidade dentro dessa classe leva a uma redução do PIB *per capita* de 0,49%, *ceteris paribus*.

Apesar de corresponder ao maior montante de energia elétrica consumida no período, a classe de consumo industrial não se mostrou significativa em relação ao PIB *per capita* nem mesmo ao nível de 10% de significância estatística, o que pode ser interpretado como um reflexo da participação decrescente do setor industrial no PIB brasileiro nos últimos anos, como destacado pelo relatório publicado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 2017. Esse resultado vai contra ao encontrado por Brambilla e Mueller (2004) em seu estudo sobre o impacto da energia elétrica no crescimento econômico do Brasil para o período de 1966-2001. Os autores mostraram que os preços das tarifas médias de energia e o consumo de energia elétrica do setor industrial têm impacto positivo sobre o crescimento econômico do país.

Em tempo, salienta-se que os resultados do presente artigo também mostraram uma não significância estatística da classe de consumo classificada como outros, o que pode ser atribuído ao baixo nível de consumo apresentado por essa classe e a baixa contribuição para o PIB dos setores por ela representados, quais sejam: Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio).

CONCLUSÃO

Esse estudo teve como propósito determinar o impacto das diferentes classes de consumo de energia elétrica (residencial, comercial, industrial e outros) sobre o PIB real *per capita*, a partir de dados referentes às cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) brasileiras, no período de 2002 a 2015.

Os resultados permitem concluir que das quatro classes que compõe o consumo total de energia elétrica, apenas duas foram estatisticamente significativas em relação ao PIB *per capita*, as classes comercial e residencial. O impacto positivo da classe comercial sobre o PIB *per capita* pode ser atribuído ao fato de que um aumento no consumo de energia do setor elétrico seja reflexo de um aumento da oferta de bens e serviços, o que influenciaria positivamente o crescimento da economia.

Já o impacto negativo sobre o PIB *per capita* apresentado pela classe residencial, pode ser interpretado pelo fato de que ao elevarem seu consumo de energia, as famílias estariam destinando uma parcela menor de sua renda para o consumo de bens e serviços produzidos por outros setores, ocasionando um impacto negativo no crescimento econômico.

No que tange à não significância estatística da classe de consumo industrial em relação ao PIB *per capita* pode ser atribuída à redução da participação do setor industrial na formação do produto nacional durante o período analisado. Quanto à classe de consumo resumida como outros (Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio), a pesar do aumento de 67% no período analisado, esta não apresentou nenhum impacto significativo sobre o PIB *per capita*, o que pode ser atribuído ao fato de que os setores representados por ela são inexpressivos quanto ao montante consumido de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ALI, S.; ZHANG, J.; AZEEM, A.; MAHMOOD, A. "Impact of Electricity Consumption on Economic Growth: An Application of Vector Error Correction Model and Artificial Neural Networks. *The Journal of Developing Areas*. v. 54, n. 4, p. 89-104, 2020.
- AL-MULALI, U.; TANG, C. F.; TAN, B. W.; OZTURK, I. The nexus of electricity consumption and economic growth in Gulf Cooperation Council economies: evidence from non-stationary panel data methods. *Geosystem Engineering*. v. 22 (1), p. 40-47, 2019.
- ALSAEDI, Y. H.; TULARAM, G. A. The relationship between electricity consumption, peak load and GDP in Saudi Arabia: A VAR analysis. *Mathematics and Computers in Simulation*. v. 175, p. 164-178, 2020.
- BARBOSA, P. A. M. *Relação Entre Consumo de Energia Elétrica e Crescimento Econômico na Região Sudeste do Brasil para o Período de 1995 a 2017*. Dissertação (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2019.
- BRAMBILLA, P. H. M.; MUELLER, B. M. P. Impacto da energia elétrica no crescimento econômico. UNOPAR Cient., *Ciênc. Juríd. Empres.*, Londrina, v. 5, p. 33-45, mar. 2004.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *A Indústria em Números*. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/7/a-industria-em-numeros/#a-industria-em-numeros-dezembro-2017%20>. Acesso em 20 de novembro de 2018.
- CORREIA, E. A. *Relação Entre Arrecadação do ICMS e o Crescimento Econômico para o Brasil no Período de Janeiro de 2000 a Dezembro de 2010*. Dissertação (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.
- CHURCHILL, S. A.; IVANOVSKI, K. Electricity consumption and economic growth across Australian states and territories. *Applied Economics*. v. 52, p. 866-878, 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) E MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Anuário estatístico de energia elétrica 2017*. Rio de Janeiro: EPE e MME, 2017.

Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 92-110, jan./jun. 2020.

Barbosa, P. A.; Profeta, G. A.; Santos, V. F.;

Consumo de eletricidade e PIB: uma análise em dados em painel para o Brasil no período de 2002 a 2015

FERNANDES, K.; REDDY, Y. V. Energy Consumption and Economic Growth in Newly Industrialised Countries of Asia. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 10(4), p. 384-391, 2020.

GADELHA, S. R. B.; CERQUEIRA, R. M. G. Consumo de eletricidade e crescimento econômico no Brasil, 1952-2010: uma análise de causalidade. *Texto para Discussão*, n. 016, Tesouro Nacional, 2013.

GHALI, K. H.; EL-SAKKA, M. I. T. Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. *Energy Economics*. v. 26, p. 225-238, 2004.

GUJARATI, D.N. *Econometria Básica*. Editora AMGM. 5. edição. 2011.

HUANG, B. N., HWANG, M. J., YANG, C. W. Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach. *Ecological Economics*. V. 67, p. 41–54, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

LEVIN, A., LIN, C. F., CHU, J. Unit root in panel data: Asymptotic and finite-sample Properties, *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24, 2002.

LOPES, S. P. S. *Energia e Crescimento Econômico: Análise Painel de Países Asiáticos*. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

MEHRARA, M. Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries. *Energy Policy*. V. 35, 2939–2945, 2007.

PALA, A. Energy and economic growth in G20 countries: Panel cointegration analysis, *Economics and Business Letters*, 9(2), p. 56-72, 2020.

SARI, R.; SOYTAS, U. The growth of income and energy consumption in six developing countries. *Energy Policy*. v. 35, p. 889-898, 2007.

SISTEMA GERENCIADOR DE SÉRIES TEMPORAIS DO BANCO CENTRAL – SGS, BACEN. Disponível em <https://www3.bcb.gov.br>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

SCHMIDT, C. A. J. LIMA, M. A. M. A Demanda por energia elétrica no Brasil. *RBE*. Rio de Janeiro. 58(1): 67-99. Jan/Mar 2004.

THAKER, M. A. M. T.; THAKER, H. M. T.; AMIN, M. F.; Pitchay, A. A. Electricity Consumption and Economic Growth: A Revisit Study of Their Causality in Malaysia. *Etikonomi: Jurnal Ekonomi*. V. 18 (1), p. 1 – 12, 2019.

XAVIER, C. A. *Relação entre consumo de energia elétrica e crescimento econômico no Nordeste brasileiro*. 86f. Dissertação (Mestrado em Administração e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2012.

Tabela 1 A – PIB *per capita* e consumo de energia total por região em GWh, 2002 a 2015

	Regiões					
	Norte	Nordeste	Sul	Centro-Oeste	Sudeste	Total
PIB <i>per capita</i> médio (R\$)	11442,20	8775,59	20387,12	22533,34	24039,22	-
Consumo Comercial	46132	134883	156034	71878	513494	922421
Consumo Residencial	79276	246815	228061	108606	743442	1406200
Consumo Industrial	176015	377710	388771	92977	1289465	2324938
Outros*	45671	159713	169699	79209	364740	819032
Consumo Total	347094	919121	942565	352670	2911141	5472591

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Nota 1: (*) refere-se as demais classes de consumo (Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio)

Tabela 2A - Testes LM de Breusch-Pagan e Hausman para a relação entre PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade para as regiões do Brasil, no período de 2002 a 2015

	Hausman	LM Breusch-Pagan
Teste χ^2	3,9786	9,2747
p-valor	0,4089	0,0023

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

1 BARBOSA, Paulo André M. E-mail: pauloandremanhaesbarbosa@gmail.com

2 PROFETA, Graciela Aparecida. Professora Adjunto III do Curso de Ciências Econômicas da Universidade federal Fluminense- Polo de Campos dos Goytacazes. Possui Mestrado e Doutorado em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa. Graduou-se em Gestão do Agronegócio pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Atua no curso de Graduação em Ciências Econômicas desde dezembro de 2012. Foi coordenadora do curso e presidente do Colegiado de curso e do Núcleo Estruturante Docente (NDE) de abril de 2014 a abril de 2017. Foi diretora financeira da TEC Campos de junho de 2019 a janeiro de 2020. É integrante do Núcleo de Estudos em Economia Aplicada, como pesquisadora. Atua nas áreas da Econometria/Estatística e Microeconomia com ênfase em Organização Industrial e Estudos Industriais e estudos aplicados ao desenvolvimento regional. Atualmente compõe a equipe do Departamento de Estudos Econômicos (DEE) do CADE. E-mail: graciela_profeta@yahoo.com.br

3 SANTOS, Vladimir Faria dos. E-mail: vladimirfaria@gmail.com

Determinação de álcoois em bebidas comerciais por cromatografia gasosa e amostragem por *headspace*

Gomes, Winston Pinheiro Claro
Yoshinaga, Fabiana
Bortoleto, Gisele Gonçalves

Resumo

Em 2018, a Organização Mundial da Saúde apresentou como 6,4 litros a estimativa de consumo mundial *per capita* de álcool puro, enquanto que no Brasil, já em 2016, este valor foi de 7,8 litros, ou seja, acima da média mundial. Diante desse cenário de alto consumo de álcool no país, o controle analítico de bebidas alcoólicas é de supra importância, tanto para se manter um padrão de qualidade do produto, como para garantir um alimento seguro para população. A técnica de cromatografia é uma das mais indicadas para análises de misturas complexas, como é o caso das bebidas alcoólicas, devido a sua eficiência na separação, identificação e determinação de compostos químicos. Para a quantificação de componentes voláteis e termicamente estáveis, ainda pode ser empregada a amostragem automática por *headspace*, onde não há necessidade de se utilizar solvente para extração dos analitos ou realizar tratamento prévio da amostra. Desta forma, este trabalho teve como objetivo a análise de diferentes bebidas comerciais para avaliação do teor alcoólico declarado nos rótulos e verificação da presença de metanol como contaminante, por cromatografia gasosa e amostragem por *headspace*. Por meio dos resultados obtidos foi possível constatar que uma etapa de descarbonatação prévia se fez necessária para a análise da cerveja, considerando o alto teor de CO₂ presente nessas amostras. Com relação as concentrações de metanol e etanol presentes nas bebidas, é importante destacar que o vinho, uísque e aguardente de cana-de-açúcar ficaram fora do limite tolerado pela legislação para o teor de metanol. Quanto ao teor de etanol, todas as amostras se apresentaram conformes, tanto quanto aos valores declarados nos rótulos, quanto aos valores estabelecidos pela legislação.

Palavras-chave: Cromatografia gasosa. Bebidas alcoólicas. Análise de álcoois.

Abstract

In 2018, the World Health Organization presented the estimated global consumption per capita of pure alcohol as 6.4 liters, while in Brazil, in 2016, this value was 7.8 liters, that is, above the world average. Given this scenario of high alcohol consumption in the country, analytical control of alcoholic beverages is of paramount importance, both to maintain a standard of product quality and to guarantee a safe food for the population. The chromatography technique is widely used for analysis of complex mixtures, as is the case of alcoholic beverages, due to its efficiency in the separation, identification and determination of chemical compounds. For the quantification of volatile and thermally stable components, automatic headspace sampling can still be used, where there is no need to use solvent to extract the analytes or perform previous sample treatment. Thus, this work aimed to analyze different commercial drinks to assess the alcohol content declared on the labels and to verify the presence of methanol as a contaminant, by gas chromatography and headspace sampling. Through the results obtained it was possible to verify that a previous decarbonation step was necessary for the analysis of beer, considering the high CO₂ content present in these samples. Regarding the concentrations of methanol and ethanol present in beverages, it is important to note that wine, whiskey and sugar cane spirit were outside the limit tolerated by the legislation for methanol content. As for the ethanol content, all samples were found to be in compliance with the values stated on the labels and with the values established by legislation.

Keywords: Gas chromatography. Alcoholic beverages. Analysis of alcohols.

Resumen

En 2018, una Organización Mundial de la Salud mostró un consumo mundial estimado de 6,4 litros de alcohol puro, mientras que en Brasil, en 2016, este valor fue de 7,8 litros, es decir, por encima del promedio mundial. Dado este escenario de alto consumo de alcohol en el país, el control analítico de las bebidas alcohólicas es de suma importancia, tanto para mantener un estándar de calidad del producto como para garantizar un alimento seguro para la población. Una técnica de cromatografía es ampliamente utilizada para el análisis de mezclas complejas, como es el caso de las bebidas alcohólicas, debido a su eficiencia en la selección, identificación y determinación de compuestos químicos. Para la cuantificación de componentes volátiles y térmicamente estables, todavía se puede usar para el muestreo automático por espacio en cabeza, donde no es necesario usar el solvente para analitos o realizar un tratamiento experimental de la muestra. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo analizar diferentes bebidas comerciales para evaluar el contenido de alcohol declarado en las etiquetas y verificar la presencia de metanol como contaminante, mediante cromatografía de gases y muestreo de espacio en cabeza. A través de los resultados obtenidos, fue posible verificar que era necesario un paso previo de descarbonización para el análisis de la cerveza, considerando el contenido máximo de CO₂ presente en estas cantidades. Con respecto a la selección de metanol y etanol presente en las bebidas, es importante resaltar que el vino, el whisky y el alcohol de caña de azúcar permanecen fuera del límite tolerado por la legislación para el contenido de metanol. En cuanto al contenido de etanol, todas las muestras mostradas cumplen con los valores declarados en las etiquetas y con los valores indicados por la legislación.

Palabras claves: Cromatografía de gases. Bebidas alcohólicas. Análisis de alcoholes.

INTRODUÇÃO

As bebidas alcoólicas são produzidas a partir do processo fermentativo alcoólico, onde a levedura a partir de um corpo orgânico faz a conversão para álcool etílico, dióxido de carbono e liberação de calor. No caso das bebidas destiladas, estas passarão ainda pelo processo de destilação, para que se chegue no produto final desejado concentrado (TORTORA, FUNKE, CASE, 2000; SOARES, 2006).

Em 2018, a Organização Mundial da Saúde apresentou como 6,4 litros a estimativa de consumo mundial *per capita* de álcool puro, enquanto que no Brasil, já em 2016, este valor foi de 7,8 litros, ou seja, acima da média mundial (WHO, 2018). Diante desse cenário de alto consumo de álcool no país, o controle analítico de bebidas alcoólicas é de supra importância, tanto para se manter um padrão de qualidade do produto, como para se garantir a segurança alimentar da população. No caso do Brasil, ainda deve se considerar que bebidas destiladas, vinhos e cervejas representam 99% do consumo dos brasileiros.

Dentre as mais diversas técnicas de análise química, a cromatografia é uma poderosa ferramenta e ocupa um lugar de destaque devido à eficiência com que efetua separação, identificação e determinação dos componentes químicos em misturas complexas. O mecanismo envolvido na separação irá depender do tipo de fase móvel e estacionária que está sendo utilizado (CECCHI, 2003; COLLINS, BRAGA, BONATO, 2006; SKOOG et al., 2017). Compostos voláteis e termicamente estáveis podem ser quantificados pela cromatografia gasosa (do inglês, *Gas Chromatography - GC*) e, em caso de analitos que não são voláteis e termicamente estáveis existe a possibilidade de utilizar a derivatização, para promover essas características, o que nem sempre é viável, mas é uma alternativa (CECCHI, 2003; COLLINS, BRAGA, BONATO, 2006; SKOOG et al., 2017).

Um procedimento de extração de compostos voláteis muito utilizado na cromatografia gasosa é a amostragem por *headspace*, no qual os analitos estarão distribuídos entre a fase gasosa e a fase condensada, com ajustes das condições operacionais para que a fase gasosa seja favorecida. Essa metodologia é muito utilizada para análises de amostras complexas, que não podem ser injetadas diretamente na coluna, como é o caso de certas bebidas alcoólicas. Além disso, é um procedimento que não necessita de solventes para realizar a extração (CRUWYS *et al.*, 2002; KOLB & ETTRE, 1997; NASCIMENTO et al., 2018).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo a análise de diferentes bebidas comerciais, a saber, cerveja, aguardente de cana-de-açúcar, uísque, tequila, rum, vinho e vodca, quanto ao teor de etanol, como teor alcoólico declarado nos rótulos e a presença de metanol como contaminante.

1 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no laboratório de Cromatografia, da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Deputado Roque Trevisan”, na cidade de Piracicaba/SP.

1.1 Amostras

As amostras analisadas foram bebidas comerciais adquiridas no mercado local, as quais estão apresentadas na Tabela 1, juntamente com os teores alcoólicos informados nos rótulos.

Tabela 1 – Amostras de diferentes bebidas e seus teores alcoólicos

Amostra	Etanol (% (v/v))
Cerveja	4,6
Vinho Fino Tinto	10,0
Rum	40,0
Tequila	38,0
Uísque	40,0
Aguardente de cana-de-açúcar	38,0
Vodca	37,5

Fonte: Autores.

1.2 Instrumental

As determinações do teor de etanol e metanol foram realizadas no cromatógrafo gasoso, marca *PerkinElmer*, modelo Clarus 600, com detector de ionização de chama (*flame ionization detector* - FID). Utilizou-se uma coluna capilar *PerkinElmer* modelo Elite-WAX com dimensões de 30 m x 0,25 mm x 0,5 µm. O gás de arraste utilizado foi nitrogênio a uma vazão de 1,20 mL min⁻¹, do hidrogênio foi 45 mL min⁻¹ e do ar sintético foi 450 mL min⁻¹, todos com alto grau de pureza (99,999%). O volume de injeção da amostra foi de 300 µL a uma velocidade de 250 µL s⁻¹, empregando-se o “split” de 1:18. A temperatura do forno foi de 100 °C por 5 minutos. A temperatura do injetor foi de 150 °C e o detector a 300 °C.

O cromatógrafo possui um amostrador automático da marca *Combipal*, modelo CTC *Analytics, Pal System*, com o forno para *headspace* (HS).

1.3 Determinação do etanol (teor alcoólico declarado no rótulo) e do metanol

Para realizar as quantificações do etanol e do metanol utilizou-se como base a metodologia de Brasil (2012b) com modificações. A amostra de cerveja foi descarbonatada, conforme recomenda o Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando agitação magnética. Todas amostras foram incubadas no forno do amostrador automático para utilização da extração *headspace* a 60 °C pôr 5 *min* com uma agitação de 500 *rpm*. Após, foram injetadas no cromatógrafo, uma por uma, realizando todas as análises em duplicata.

O etanol (C_2H_6O) e o metanol (CH_3OH) utilizados como padrão são de grau cromatográfico (LiChrosolv® Merck).

As soluções dos padrões contendo etanol absoluto, expressas em v/v (volume em mL do analito em 100 mL de solução), foram preparadas com as concentrações entre 0,5 à 14,5%, apresentado pela equação $y = (-112,073750) + 1010,793095x$ e o coeficiente linear de $R^2 = 0,998958$.

Os padrões contendo metanol, com concentrações expressas em mg/L, foram preparados com as concentrações entre 50 à 1.000 mg L⁻¹, apresentado pela equação $y = (-9,911019) + 734,841961x$ e o coeficiente linear de $R^2 = 0,999051$.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Avaliação da descarbonatação em bebidas fermentadas

Conforme recomenda o Instituto Adolfo Lutz (2008), amostras contendo altos teores de CO₂, como as de cervejas, devem ser descarbonatadas previamente às análises cromatográficas. No ensaio de otimização dessa etapa, para avaliar qual o tempo ideal para promover a retirada do CO₂ da amostra, levou-se em consideração os parâmetros de recuperação, conforme RIBANI et al. (2004). Segundo o autor, recuperação é a quantidade analito de interesse (presente ou adicionada) que é extraída e quantificada, e que também reporta sobre a exatidão da análise (BRITO et al., 2003). Também foram levados em consideração o desvio padrão das análises, que diz sobre dispersão de dados analíticos (Martins, 2013) e o coeficiente de variação, que representa uma medida de precisão em um experimento (GOMES, 1991).

No Gráfico 1 e Tabela 2, podemos analisar as informações obtidas a partir dos ensaios realizados com a cerveja e estimar o melhor tempo para realizar a descarbonatação, já que os valores

aceitáveis para a recuperação estão entre 70% a 120% e de coeficiente de variação entre 1% a 2% (RIBANI et al., 2004).

Gráfico 1 - Avaliação do tempo de descarbonatação da cerveja considerando o teor alcoólico declarado no rótulo e sua recuperação



Fonte: Autores.

Tabela 2 - Valores de recuperação do etanol em cerveja comercial considerando o valor declarado no rótulo em função do tempo de descarbonatação

Tempo (min)	Teor Alcoólico (% (v/v))	Recuperação (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
0,0	3,233a	70,285a	0,045	1,378
2,5	4,515b	98,145b	0,001	0,027
5,0	4,310c	93,692c	0,085	1,980
7,5	4,223d	91,797d	0,188	4,459
10,0	4,688e	101,912e	0,383	8,165
12,5	4,486f	97,532f	0,079	1,767
15,0	4,351g	94,593g	0,040	0,923
20,0	4,381h	95,228h	0,149	3,396

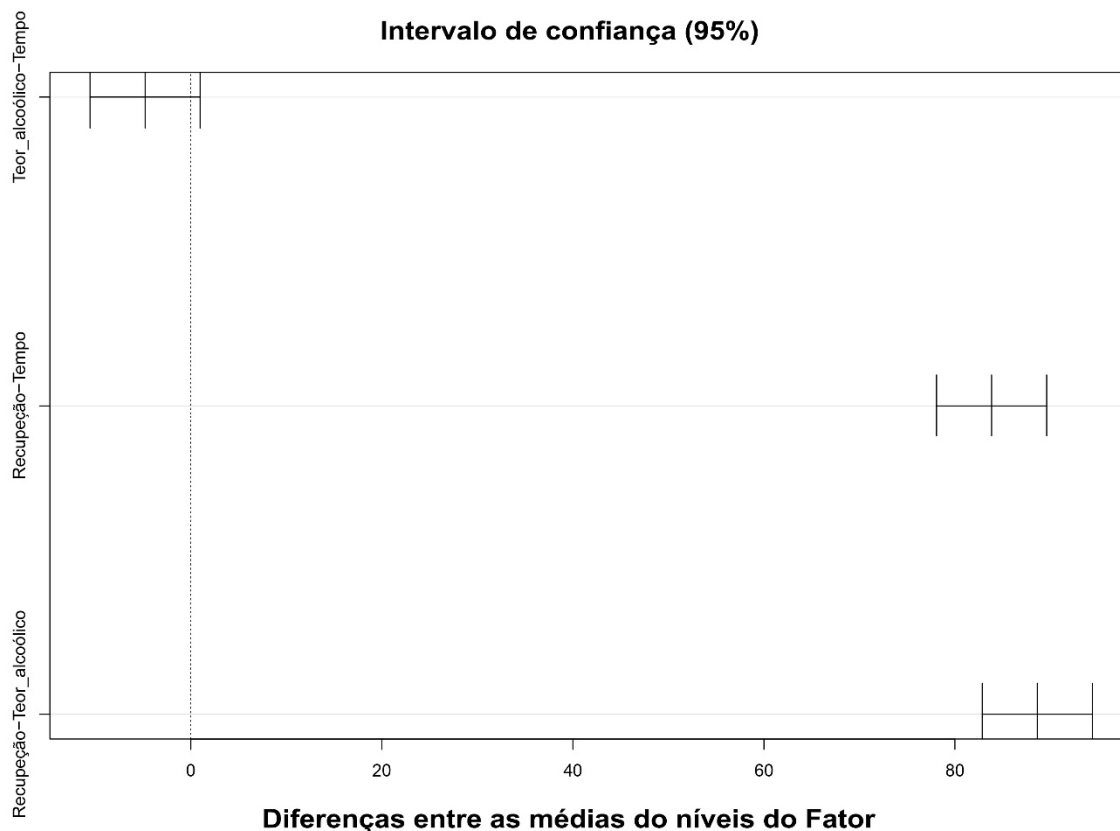
Fonte: Autores.

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Ao analisarmos o Gráfico 1 e a Tabela 2, considerando a recuperação, é possível observar que todos os tempos estão de acordo com a faixa aceitável, conforme RIBANI et al. (2004). No entanto, utilizando-se os tempos de descarbonatação de 2,5 e 10 minutos, obtivemos os valores mais próximos aos declarados no rótulo da cerveja comercial, que é de 4,6%. Considerando o coeficiente de variação, os tempos 0; 2,5; 5; 12,5 e 15 estariam dentro do aceitável, conforme Ribani et al. (2004), mas o melhor desvio padrão seria apenas para o tempo 2,5, conforme Martins (2013), já que com este tempo o desvio está próximo de zero e é o menor apresentado nas análises.

Na Figura 1 também é possível observar que os intervalos que não contém o zero, as médias correspondentes são significativamente diferentes. Neste caso, o mais importante a se considerar é a relação de recuperação pelo tempo, já que a análise trabalha com componentes voláteis. Ao se agitar uma amostra por muito tempo para realizar a descarbonatação, pode haver aquecimento desta e ocorrer a volatilização dos analitos de interesse. A agitação aumenta a energia interna da amostra, promovendo uma troca de calor o que provoca o aumento de temperatura ou a mudança de estado físico, no caso do líquido para gasoso (SILVEIRA, 2010).

Figura 1 - Testes para as diferenças de médias entre tempo, teor alcoólico e recuperação



Fonte: Autores.

Assim tempo ideal de decarbonatação para realizar as análises com boas precisão e exatidão, foi de 2,5 minutos, sendo também viável para uma rotina de laboratório.

2.2 Utilização do sistema de amostragem por *headspace*

De acordo com Instituto Adolfo Lutz (2008) amostras complexas, como é o caso das bebidas fermentadas, devem ser destiladas antes de serem analisadas quanto ao teor alcoólico. No entanto, a partir dos resultados de recuperação de teor alcoólico obtido na cerveja (98%) e no vinho (113%), pode ser observado que a utilização do sistema de extração de *headspace* foi eficiente e pode ser considerado como um método alternativo à destilação. Essa técnica de amostragem evita a interferência de componentes não voláteis da amostra, não requer quantidades significativas de amostras, como é o caso da destilação, e ainda necessita de menos tempo para a execução do processo de extração (CECCHI, 2003; RIBANI et al., 2004; VALENTE, 2014).

2.3 Determinação de metanol e etanol por HS-GC-FID

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de metanol e etanol, segundo especificação da legislação brasileira para bebidas alcoólicas fermentadas e destiladas.

Tabela 3 – Concentrações de metanol e etanol permitidas em bebidas, segundo legislação brasileira

Bebida	Metanol (mg/L)		Etanol (% (v/v))	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Cerveja	NI*	NI*	0,5	54
Vinho fino tinto	-	400	8,6	14
Rum	-	2.000	35	54
Tequila	300	3.000	35	55
Uísque	-	200	38	54
Aguardente de cana-de-açúcar	-	200	38	54
Vodca	-	200	36	54

Fonte: BRASIL (2019a) - Adaptado. *NI: Não informado

Na Tabela 4 estão apresentados os valores de concentração de metanol e etanol obtidos das análises das bebidas alcoólicas estudadas.

Tabela 4 - Valores obtidos das análises em cromatografia gasosa

Amostra	Álcool Metílico (mg/L) *	Álcool Etílico (% (v/v)) *
Cerveja	ND**	4,5 ± 0,1
Vinho Tinto	863 ± 51	12 ± 0,8
Rum	716 ± 11	40 ± 0,3
Tequila	980 ± 191	40 ± 0,5
Uísque	818 ± 28	39 ± 0,5
Aguardente de cana-de-açúcar	581 ± 1	39 ± 0,1
Vodca	ND**	38 ± 0,6

Fonte: Autores.

*Valor médio das análises; **ND: Não detectado.

Ao se comparar os valores permitidos pela legislação brasileira e os valores obtidos nas análises, observa-se que o vinho, uísque e aguardente de cana-de-açúcar analisados estão fora da especificação, considerando o limite tolerado para o metanol. Os valores obtidos foram aproximadamente 2 a 4 vezes acima do permitido, podendo indicar contaminação dessas bebidas com metanol.

Deve-se ressaltar que o metanol é tóxico e pode ser prejudicial à saúde pois age no sistema nervoso, causa acidose metabólica, cegueira, instabilidade cardiovascular ou até mesmo morte, sendo a sua principal ação nos nervos ópticos. A catálise do metanol no organismo é lenta, assim seu efeito é considerado acumulativo, além dos produtos, formaldeído e ácido fórmico, formados pela sua oxidação no organismo, também serem tóxicos. Ainda é importante ressaltar que é comum a adulteração de bebidas alcoólicas com metanol, pois ele é mais barato que o etanol (PEREIRA, ANDRADE, 1998; SEQUEIRA, 2018).

Quando se trata das concentrações obtidas para o etanol, pode-se observar que todas as bebidas analisadas estão em conformidade tanto com a legislação brasileira, quanto com os valores declarados nos rótulos. Esse fato nos leva a ter segurança quanto à presença do etanol nos fermentados e destilados analisados.

CONCLUSÃO

A técnica de cromatografia gasosa demonstrou mais uma vez ser uma boa ferramenta para controle de qualidade de componentes voláteis em bebidas alcoólicas fermentadas ou destiladas. Possibilitou a análise qualitativa e quantitativa dos analitos de interesse, sem interferências decorrentes de outras técnicas, tais como destilação, quando se empregou a amostragem automática por *headspace*. Foi possível constatar a presença de metanol como contaminante em algumas amostras, o que sugere que um controle mais rigoroso desse analito, que pode ser prejudicial à saúde, deve ser realizado pelas indústrias.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Tecnologia de Piracicaba "Deputado Roque Trevisan", Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura e do abastecimento. Norma Operacional nº 1, de 24 de janeiro de 2019. Norma interna DIPOV/SDA nº 1, de 24 de janeiro de 2019. Aprova a Consolidação das Normas de bebidas, fermentados acéticos, vinhos e derivados da uva e do vinho, nacionais e importados a ser utilizada pela inspeção e fiscalização agropecuária e pelos administrados, na forma do Anexo desta norma. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 jan. 2019a. ISSN 1111-1111. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/norma-operacional-no-1-de-2019_dipov-versao-15-08-19_anexo.pdf. Acesso em: 14 out. 2019.

BRASIL, Z. de O. L. IT LABV 278 - Análise de Álcoois Superiores, Acetaldeído, Acetato de Etila, Furfural e Contaminantes Orgânicos por Cromatografia Gasosa. Ministério da Agricultura e do Abastecimento (MAPA). p. 1-5, 2012b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/legislacoes-e-metodos/arquivos-metodos-da-area-bev-iqa/it-labv-278-analise-de-alcoois-superiores-acetaldeido-acetato-de-etila-furfural-e-contaminantes-organicos.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

BRITO, N. M. et al. Validação de métodos analíticos: estratégia e discussão. *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 13, p. 129-146, jan./dez. 2003.

CECCHI, H. M. *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. 2. ed. rev. Campinas/SP: Editora Unicamp, 2003.

Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 111-124, jan./jun. 2020.

Gomes, W. P. C.; Yoshinaga, F.; Bortoleto, G. G.;

Determinação de álcoois em bebidas comerciais por cromatografia gasosa e amostragem por headspace

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. *Fundamentos de Cromatografia*, Campinas – SP, Editora da Unicamp, 2006.

CRUWYS, J. et al. Development of a static headspace gas chromatographic procedure for the routine analysis of volatile fatty acids in wastewaters. *Journal of Chromatography A*, v. 945, n. 1-2, p. 195-209, 2002.

GOMES, F. P. O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação. Instituto de pesquisas e estudos florestais- IPEF, *Circular Técnica n. 178*, maio, 1991. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr178.pdf>. Acesso em 14 out. 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, p. 1020.

KOLB, B.; ETTRE, L. S. *Static Headspace-Gas Chromatography: Theory and Practice*. 1. ed. Estados Unidos: Wiley-VCH, 1997.

MARTINS, M. E. G. Desvio padrão amostral. *Revista de Ciência Elementar*, v. 1, n. 1, Lisboa, out./dez. 2013.

NASCIMENTO, R. F. do et al. *Cromatografia gasosa: aspectos teóricos e práticos*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2018.

PEREIRA, P. A. de P.; ANDRADE, J. B. de. Fontes, Reatividade e Quantificação de Metanol e Etanol na Atmosfera. *Química Nova*, v. 21, n. 6, São Paulo, nov./dez. 1998.

RIBANI, M. et al. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. *Química Nova*, Vol. 27, No. 5, 771-780, 2004.

SEQUEIRA, A. S. da S. *Desenvolvimento de uma membrana de fibras para conversão enzimática de CO₂*. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.

SILVEIRA, F. L. da. *Energia mecânica e calor*. Centro de Referência para Ensino de Física - CREF, Instituto de Física da UFRGS. 2010. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=energia-mecanica-e-calor>. Acesso em: 16 out. 2019.

SKOOG, D. A. et al. *Fundamentos de Química Analítica*. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

SOARES, T. L. *Álcoois, ésteres e aldeídos produzidos por diferentes isolados de Saccharomyces cerevisiae*. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

VALENTE, I. M. A. *Desenvolvimento de metodologias analíticas para a determinação de off-flavours em bebidas*. 2014. 202 f. Tese (Doutorado em Química Sustentável) - Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2014.

Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 111-124, jan./jun. 2020.

Gomes, W. P. C.; Yoshinaga, F.; Bortoleto, G. G.;

Determinação de álcoois em bebidas comerciais por cromatografia gasosa e amostragem por headspace

World Health Organization (WHO). Global status report on alcohol and health 2018. Geneva:

World Health Organization, 2018. *Licence*: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

1 GOMES, Winston Pinheiro Claro é Mestrando do programa de Ciências (Energia Nuclear na Agricultura), na área Química na Agricultura e no Ambiente, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), graduando em Tecnologia em Alimentos na Faculdade de Tecnologia de Piracicaba - Centro Paula Souza, onde é estagiário no Laboratório de Cromatografia e Biotecnologia desenvolvendo a Iniciação Científica de "Análise de álcoois superiores em cervejas artesanais por Cromatografia Gasosa empregando Headspace". Graduado em Tecnologia Têxtil pela Faculdade de Tecnologia de Americana - Centro Paula Souza, em dezembro de 2010, onde foi bolsista pelo "Programa de Iniciação Científica e Tecnológica para Micro e Pequenas Empresas - BITEC" na Europa Indústria Têxtil LTDA. Atualmente é professor nos cursos técnico na Faculdade de Americana - FAM.

2 YOSHINAGA, Fabiana é Bacharel em Química pela Universidade Estadual de Campinas (2001) e Mestre em Química pela Universidade Estadual de Campinas (2003). Experiência nas áreas: ressonância magnética nuclear (RMN), infravermelho (IV), cromatografia gasosa (CG), cálculos teóricos, análise conformacional, recuperação melhorada de petróleo (EOR), biocombustíveis e metodologias ativas de aprendizagem. Atualmente atua como Química, no setor de produtos controlados, no Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas.

3 BORTOLETO, Gisele Gonçalves é Bacharel em Química pelo IQ- UNICAMP (2001), licenciada em Química pela Faculdade de Educação da UNICAMP (2003), mestre em Química Analítica pelo IQ-UNICAMP (2003) e doutora em Ciências pelo IQ-UNICAMP (2007), realizou pós doutoramento no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA-USP (2007-2008). É professora dos cursos de Alimentos e de Biocombustíveis da FATEC Piracicaba - Centro Paula Souza desde 2008. Atualmente é membro do Conselho Técnico do Parque Tecnológico de Piracicaba, membro do Conselho Municipal de Educação e Representante de Curso do Conselho Regional de Química.

Profissionais 4.0: Uma breve análise das futuras demandas de mercado

Reis, Gabriel Nascimento dos
Garcia, Thaila Raquel Christofolletti
Scudeler, Valéria Cristina

Resumo

A tecnologia tem sido aperfeiçoada e vem tomando cada vez mais espaço dentro das organizações, impactando e moldando o mercado desde a Primeira Revolução Industrial. A partir de então, a classe trabalhadora vem buscando se antecipar às mudanças e se adaptar às novas realidades, sendo a Quarta Revolução Industrial a mais recente onda de transformações, que estabelecerá um novo patamar de integração e progresso, afetando todos os setores da sociedade moderna. Este estudo teve como objetivo verificar quais impactos a tecnologia trouxe aos trabalhadores nas primeira, segunda e terceira revoluções industriais, levantar dados sobre algumas das mais atuais tecnologias do mercado e, por fim, compreender o que a Indústria 4.0 exigirá do perfil profissional no futuro. Também foi realizada uma entrevista com um diretor de uma empresa multinacional do setor automobilístico sediada na região metropolitana de Piracicaba-SP, a fim de refletir sobre o impacto que a Indústria 4.0 ocasionará nas futuras exigências quanto ao mercado de trabalho. A análise dos resultados da pesquisa de campo demonstrou que a empresa já adota algumas das novas tecnologias e que pretende incrementar seu uso no futuro. Desse modo, os profissionais já devem começar a se preparar para as demandas e desafios das novas formas de produzir e trabalhar nas indústrias.

Palavras Chave: Indústria 4.0, mercado de trabalho, perfil profissional, estudo de caso.

Abstract

Technology has been improved and taken up more space inside the organizations, shaking and shaping the market since the First Industrial Revolution. Since then, the working class has been seeking to anticipate change and adapt itself to the new realities, and the Fourth Industrial Revolution it is being the latest wave of transformations that will set a new level of integration and progress, affecting all sectors of modern society. This study aimed to verify what impacts technology has brought to workers in the first, second and third industrial revolutions, to research data on some of the most current technologies in the market, and, finally, to understand what Industry 4.0 will require of professional profile in the future. For the practical research was conducted an interview with a director of a multinational automobile company based in the Piracicaba-SP metropolitan region, to reflect about the impact that Industry 4.0 will have on future labor market demands. The review of the practical research results showed that the company already adopts some of the new technologies and intends to increase its use in the future. This way, professionals should already begin to prepare themselves for the demands and challenges of the new ways of producing and working in industries.

Keywords: Industry 4.0, labor market, work profile, case study.

Resumen

La tecnología ha mejorado y ha ocupado más espacio dentro de las organizaciones, impactando y dando forma al mercado desde la Primera Revolución Industrial. Desde entonces, la clase trabajadora ha estado buscando anticipar el cambio y adaptarse a las nuevas realidades, siendo la Cuarta Revolución Industrial la última ola de transformaciones que establecerá un nuevo nivel de integración y progreso, que afectará a todos los sectores de la sociedad moderna. Este estudio tenía como objetivo verificar qué impactos ha traído

la tecnología a los trabajadores en la primera, segunda y tercera revoluciones industriales, recopilar datos sobre algunas de las tecnologías más actuales en el mercado y, finalmente, comprender qué es la Industria 4.0 requerirá de perfil profesional en el futuro. También se realizó una entrevista con un director de una empresa automotriz multinacional con sede en la región de Piracicaba-SP, para reflexionar sobre el impacto que la Industria 4.0 tendrá en las futuras demandas del mercado laboral. El análisis de los resultados de la investigación de campo mostró que la compañía ya adopta algunas de las nuevas tecnologías y tiene la intención de aumentar su uso en el futuro. Por lo tanto, los profesionales ya deberían comenzar a prepararse para las demandas y desafíos de las nuevas formas de producir y trabajar en las industrias.

Palabras clave: Industria 4.0, mercado de trabajo, perfil laboral, estudio de caso.

INTRODUÇÃO

A competitividade constante do mercado força as empresas a garantirem sua sobrevivência pelo aprimoramento de seus métodos, técnicas e tecnologias, afetando diretamente o capital humano – ainda a principal força motriz da indústria – e sua relação com o mercado de trabalho (MORAIS et al., 2018). Esta dinâmica exige respostas rápidas das organizações, destacando-se aquelas que conseguem, com mais agilidade e maestria, gerir seu conhecimento (AIRES; FREIRE; SOUZA, 2016).

Observa-se que a cada nova revolução industrial o perfil exigido dos trabalhadores vem sendo modificado gradualmente, passando do trabalho manual para o intelectual, demandando formação e capacitação dos profissionais, que passaram a buscar cada vez mais a criação de vantagens competitivas (TEIXEIRA FILHO, 2000).

Neste contexto, a Indústria 4.0 vem sendo estruturada a partir do que há de mais moderno em tecnologias e sistemas inteligentes de comunicação. O tema ganha ênfase em todo o mundo, considerando suas vantagens em termos de produtividade, economia de energia, redução de custos e aumento da segurança (SOUZA; RAMOS, 2017).

A Indústria 4.0 é um novo modelo de se produzir que tem como foco a conectividade, instantaneidade e automação, ou seja, conectar toda uma indústria, do primeiro ao último processo em um volumoso banco de dados que armazena, analisa e toma decisões, tornando o trabalho mais preciso, previsível e eliminando perdas (VENTURELLI, 2014).

O desenvolvimento tecnológico brasileiro é inferior ao das grandes potências, mas aos poucos a Indústria 4.0 também se estabelece no país, onde já se observa aplicações de tecnologias de automação robótica e Inteligência Artificial, criando grandes expectativas para o futuro, segundo a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – FIRJAN (2019).

O objetivo deste artigo é verificar quais impactos as revoluções industriais causaram na sociedade, com enfoque na classe trabalhadora, e levantar dados sobre algumas das mais atuais tecnologias do mercado, a fim de compreender o que a Indústria 4.0 exigirá do perfil profissional no futuro.

Este artigo também apresenta dados primários por meio de uma entrevista com o diretor de uma multinacional do setor automobilístico, com o intuito de refletir sobre os impactos da Indústria 4.0 no mercado de trabalho da região metropolitana de Piracicaba/SP.

1. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção do artigo são abordadas as principais transformações resultantes de cada Revolução Industrial e suas implicações no mundo do trabalho, com ênfase na Quarta Revolução

Industrial, suas principais tecnologias e impactos. O enfoque principal é o perfil do profissional 4.0 baseado nas principais características requisitadas pela Indústria 4.0.

1.1 Primeira Revolução Industrial - A Revolução das Máquinas

De acordo com Cavalcante e Silva (2011), a Revolução Industrial, ou Primeira Revolução Industrial, é entendida como o evento que marcou a passagem do capitalismo comercial para o capitalismo industrial, concretizado pelas inovações técnicas e tecnológicas com origem na Inglaterra.

Ocorreu na segunda metade do século XVIII, com a passagem da produção manufatureira para a produção em um sistema industrial, que contava com a dinamicidade da produção, divisão do trabalho, descoberta de inúmeros processos de produção e a introdução de novas máquinas. Diversas mudanças foram desencadeadas na vida política, econômica, social e cultural da Inglaterra, tantas que seus desdobramentos atingem a contemporaneidade (COGGIOLA, 2015).

A lançadeira mecânica de Kay, criada em 1733, as máquinas de fiar de Watt e Paul, de 1764, o tear hidráulico de Arkwright, invenção de 1770 e as máquinas movidas a vapor foram determinantes para o crescimento da produtividade, deslocando as fábricas para as proximidades das minas de carvão e propiciando o nascimento de grandes cidades em seu entorno (VISENTINI; PEREIRA, 2012).

Hobsbawn (2007) afirma que a Revolução Industrial irrompeu a certa altura da década de 1780, quando o poder produtivo das sociedades humanas superou seus limites. A partir de então, tornou-se capaz de multiplicação rápida, constante, e até o momento ilimitada, de homens, mercadorias e serviços, num contínuo fluxo de melhorias.

1.2 Transformações no Mundo do Trabalho (1.0)

Oliveira (2004) relata que as alterações fundamentais ocorridas no mundo do trabalho durante o período da Primeira Revolução Industrial se relacionaram aos trabalhadores rurais, que foram submetidos à opressão, tornando a relação entre patrão e empregado mais difícil. Houve a intensificação da exploração da mão de obra em desgastantes jornadas diárias e salários baixos, principalmente tratando-se de mulheres. Já as crianças passaram a adoecer mais, devido à má alimentação e exposição às precárias condições de trabalho propícias a acidentes.

A Revolução Industrial não deve ser conhecida apenas como um processo de ampliação tecnológica com inovação das técnicas, máquinas e procedimentos de produção, mas sim como

“uma alteração estrutural da sociedade, determinada pela substituição da ferramenta pela máquina, em um processo que concluiu na consolidação do capitalismo” (COGGIOLA, 2015, p.1).

Apesar de o evento ser responsável pelo início do desenvolvimento econômico na Europa, tendeu a expropriar o trabalhador de diversas formas, removendo as pessoas de suas antigas comunidades e aumentando a concorrência por emprego nas indústrias, além de forçar a submissão ao sistema, já que um trabalhador independente não conseguia concorrer com as fábricas e seus novos métodos de produção. Essas mudanças foram responsáveis por fazer os trabalhadores se espalharem por todo o globo em busca de melhores condições de vida (OLIVEIRA, 2004).

1.3 Segunda Revolução Industrial - Expansão e Aprimoramento

Segundo Silva e Gasparin (2019), a Segunda Revolução Industrial ocorreu no século XIX, quando as indústrias – já espalhadas pelo mundo – foram impulsionadas por novos métodos, novas técnicas e descobertas, desencadeando um brusco aumento no volume da manufatura que forçou a necessidade de especialização do trabalhador.

Este período tem muitas características que o diferenciam do primeiro, como o papel de importância assumido pelos laboratórios de pesquisa e pela ciência, mas sem dúvida as técnicas de produção foram a mais importante contribuição ao desenvolvimento industrial da época (HOBSBAWM, 2011).

Surgiram dois grandes nomes no ramo produtivo: Taylor, criador do movimento taylorismo, e Ford, o precursor do sistema fordista. Enquanto o taylorismo é caracterizado como uma forma avançada do controle de capital para elevar a produtividade, através do controle de tempos e movimentos de cada trabalhador, o fordismo propunha a administração pelo capital e a execução das tarefas individuais de uma forma coletiva, por meio das esteiras, sendo o primeiro a introduzir uma linha de montagem que percorria toda a fábrica. Os dois sistemas produtivos, com abordagens diferentes, buscavam promover transformações nos aspectos econômicos e culturais (SILVA; GASPARIN, 2019).

Das tecnologias obtidas, Dathein (2003) ressalta que o desenvolvimento da eletricidade e da luz elétrica mudou radicalmente não só a economia, a comunicação, as indústrias e o modo de se trabalhar, mas a vida cotidiana de toda a população. Meio século depois, na década de 1850, se descobriu outra revolucionária fonte de energia: o petróleo, dando origem aos motores elétricos e de combustão interna, apresentando inúmeras vantagens sobre o carvão e o motor a vapor.

1.4 Transformações no Mundo do Trabalho (2.0)

Conforme Oliveira (2004), a Segunda Revolução Industrial e seus agentes exerceram grandes pressões sobre os operários, alienando-os do conhecimento integral do próprio produto manufaturado e os tornando um mero componente da máquina. Apesar disso, até 1929 – ano da quebra da bolsa de Nova-Iorque – houve uma melhoria de vida para os operários dos países ricos, pois em resultado aos intensos movimentos sociais comuns ao final do século XIX, à pressão e ao perigo que os mesmos causavam à ordem social e econômica como um todo, pôde-se estabelecer o sistema de previdência social, pública e estatal, com seguro desemprego, aposentadoria e cobertura de educação e saúde em todos os níveis sociais.

1.5 Terceira Revolução Industrial - A Revolução Tecno-científica

Após a Segunda Guerra Mundial, a empresa automobilística japonesa Toyota, numa tentativa de recuperar a abalada economia do país, introduziu um novo método de produção denominado “produção enxuta”, um passo além da produção em massa, dando início à Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Tecno-científica. Esse sistema combina várias técnicas gerenciais com máquinas cada vez mais aprimoradas, e tem o objetivo de aumentar a produtividade utilizando menos recursos e menos mão de obra, atingindo menor custo e maior flexibilidade na produção. Para tanto, o sistema utiliza de equipes de trabalhadores multiqualificados e máquinas automatizadas, reduzindo o esforço humano dentro das fábricas, o espaço físico necessário e o investimento em equipamentos (IME-USP, 2019).

A crise do petróleo, em 1973, abalou o capitalismo americano e europeu, resultando na queda da produtividade e na redução da capacidade financeira dos governos, o que forçou as empresas a se aprimorarem e buscarem alternativas para se equiparar aos japoneses, que se mantinham em constante crescimento devido ao novo modelo de produção. As implementações alavancaram a economia mundial, gerando grandes transformações sociais, técnicas, econômicas e culturais. As principais delas foram: intensificação do uso da microeletrônica; automação e redução no quadro de trabalhadores; terceirização do processo produtivo; competição por qualidade e diferenciação de produtos; organização de sistemas flexíveis de produção e do trabalho; maior integração entre financiamento, fornecimento e produção; surgimento de uma empresa concentrada e multi-industrial; internacionalização financeira e integração de mercados (FARAH JÚNIOR, 2000).

1.6 Transformações no Mundo do Trabalho (3.0)

Com todas as modificações no sistema de produção, se antes a energia humana era fundamental para o funcionamento das máquinas, a mão de obra desqualificada se tornou facilmente descartável, expandindo então o mercado informal. É nesse contexto que surge a qualificação de mão de obra, devido à grande onda de desemprego, abrindo concorrência para vagas com salários menores e menos direitos trabalhistas. Mas apesar da grande quantidade de desempregos na implantação da Terceira Revolução, o trabalho humano continuou fundamental no mundo todo, contrariando muitos pesquisadores que problematizam a extinção da classe trabalhadora e da centralidade do trabalho. Mesmo que o capitalismo busque extinguir o trabalho com a implantação de novas inovações tecnológicas, ainda necessita se alimentar da sua exploração em níveis cada vez maiores (PRIEB, 2016).

1.7 Quarta Revolução Industrial - Indústria 4.0

Segundo Coelho (2016), impulsionada pelas tecnologias, a indústria se transforma numa velocidade nunca antes vista, sendo liderada principalmente pelas fábricas dos setores automobilístico, tecnológico e biológico.

De acordo com a Firjan (2016), o novo modelo de produção industrial desenvolvido, também chamado de Indústria 4.0, visa utilizar o rápido avanço tecnológico das últimas décadas com linhas de produção mais eficientes, integradas e de custo reduzido, a fim de aumentar o valor na cadeia organizacional e em todo o ciclo de vida do produto, além de juntar os mundos virtuais e físico através da internet.

Nesse contexto, as fábricas ficam cada vez mais inteligentes e automatizadas, buscando integrar ao produto necessidades e preferências específicas de cada cliente, numa forma cada vez maior de customização. Esse modelo de produção desafia as empresas, levantando a necessidade de estratégias globais para se manterem no mercado (RODRIGUES; JESUS; SCHÜTZER, 2016).

Essa nova indústria está em fase de amadurecimento e busca intensificar a conectividade, instantaneidade e automação, ou seja, conectar todo o processo produtivo em um volumoso banco de dados que armazena, analisa e toma decisões, tornando o trabalho mais preciso, previsível e eliminando perdas (VENTURELLI, 2014).

Sabe-se que a mudança ocorre gradualmente, mas Coelho (2016) revela que a Quarta Revolução Industrial também está provocando alterações profundas na sociedade como um todo, não somente na indústria, atingindo a cultura, economia, os valores, hábitos de consumo, a comunicação, as redes sociais, plataformas digitais, entre outros.

1.8 Tecnologias e Inovações

Nesta seção serão apresentadas algumas das principais inovações e tecnologias características da Quarta Revolução Industrial.

1.8.1 *Cloud Computing* – Computação em Nuvem

Taurion (2009) aponta que o termo Computação em Nuvem apareceu pela primeira vez em 2006 numa palestra de Eric Schmidt, da Google, sobre como a empresa gerenciava seus *data centers* (centro de dados). Seu conceito é basicamente a evolução de duas iniciativas do passado, sendo elas *Outsourcing*, que permitia obter recursos computacionais e dados de terceiros, e *Grid Computing*, que se trata de diversos computadores ligados em rede. Elevando essas ideias em magnitudes globais, pode-se dizer que *Cloud Computing* é uma imensa rede de servidores (físicos) com dados (virtuais) disponibilizados na internet. É tão grande que “nuvem” tenta representar algo intangível ou até uma ilusão do inesgotável.

1.8.2 *Big Data*

Como o nome sugere, *Big Data* refere-se ao processamento de um grande (ou imenso) volume de dados, muitas vezes estando associado a sistemas de análise e recursos relacionados à tomada de decisão. Esses dados surgem do crescente aumento de fontes de informações externas às empresas, captadas por meios informatizados de colaboração em massa, majoritariamente digitais, ou seja, por meio da internet. Outras características como variedade, velocidade e veracidade também estão comumente atreladas ao termo (FREITAS; MARCOLIN; SILVEIRA, 2015).

Na prática, a tecnologia proporcionou um exponencial aumento de oportunidades de emprego por todo o mundo. Nos Estados Unidos, por exemplo, gerou entre 140 mil a 190 mil vagas para trabalhadores com experiência “analítica profunda” e 1,5 milhões de gerentes mais informados em termos de dados, sejam treinados ou contratados. Além disso, as utilidades da ferramenta extrapolam o ambiente dos negócios, tendo uma infinidade de outras aplicações (LOHR, 2012).

Tratando-se do uso corporativo, a segurança de dados e robustez dos sistemas de informação são pontos importantes que se tornaram um grande desafio para as empresas. É natural que haja eventuais falhas nos sistemas ou erros de transmissão na comunicação máquina-máquina,

que podem causar transtornos na produção, fazendo-se necessários sistemas que protejam o *know-how*⁷ e confidencialidades da companhia, contidos em arquivos e programas de controle dos processos. Deve ser ressaltada a questão da importância na ética com o acesso e tratamento dos dados da internet, na criação de uma legislação para proteger a privacidade e sigilo das fontes (BARATA; PRADO, 2015); (SILVA, 2016).

1.8.3 Inteligência Artificial (IA)

Segundo Pereira (2003), a Inteligência Artificial (IA) é uma disciplina científica que possui vertentes de investigação e experimentação, buscando criar uma tecnologia que explore a capacidade de um computador digital – agora expandido para a ideia de rede de computadores – em executar tarefas intelectuais superiores, normalmente associadas ao raciocínio humano. A IA deve, portanto, processar, analisar e responder automaticamente a formas de conhecimentos simbolizáveis, mas é ainda incerto se poderá ir além disso.

Embora não haja provas definitivas, Taurion (2019) acredita que a IA vai afetar o mercado de trabalho em graus variados, modificando a relação entre humanos e máquinas. Após frustrações e acertos, a tecnologia está sendo utilizada – muitas vezes de forma fundamental – em áreas diversas, como indústria, serviços, varejo e saúde, desde o jurídico, contabilidade até o ambulatório e o chão de fábrica, eliminando profissões e criando outras.

Isso traz certas preocupações, pois conforme dados levantados por Acemoglu e Restrepo (2017), em um estudo voltado para a Indústria Americana, para cada novo robô adicionado nas últimas décadas, registrou-se uma redução de emprego de 6,2 trabalhadores, e uma redução de salários que varia entre 0,25 a 0,5 por cento, em torno da função automatizada.

É certo que o desenvolvimento tecnológico brasileiro é inferior ao de países como Estados Unidos, Alemanha ou mesmo a China (FIRJAN, 2019), mas isso não significa proteção para o Brasil. Existe a necessidade de estudos e ações concretas, caso contrário o país pode sofrer uma crise de grandes proporções no futuro próximo. Porém só haverá previsão e análise de impacto mais claras nos próximos anos, conforme a evolução desse mercado (TAURION, 2019).

1.8.4 Internet das Coisas

A Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) é uma tecnologia que integra os objetos do mundo físico entre si, por meio da internet, gerando uma vasta rede de informações e comunicação

⁷ Know-how: expressão/conceito da língua inglesa usado no ramo empresarial. Refere-se ao conjunto de conhecimentos práticos que trazem de alguma forma benefícios e vantagens competitivas (IBC, 2018).

automática, sem a intervenção humana. Esses “objetos inteligentes” podem tornar-se participantes ativos nos processos de negócio. Eles podem captar os dados do mundo real, através de sensores, e interpretá-los por meio de programas computacionais avançados, podem ser instalados aplicativos corporativos que gerem informações relevantes para a empresa, oferecendo interfaces simples e diretas, nas quais os usuários podem realizar consultas e alterações de estado das máquinas, além de modificar qualquer informação ou comando associado ao sistema, levando em conta questões de segurança e privacidade (HALLER, 2010).

1.8.5 Rede de comunicação móvel de quinta geração - 5G

O 5G representa a mais nova geração de comunicação móvel global, facilitando a transformação digital e os cada vez maiores tráfegos de informações produzidos pelas tecnologias de IoT, IA e Big Data, que demandam redes confiáveis e de baixa latência. Esta rede será capaz de conectar virtualmente “todos e tudo”, desde trabalhadores, robôs, culturas e suportando as necessidades de conectividade em aplicações das mais variadas (FARIAS, 2019).

Este projeto já começou a ser aplicado em alguns países, mas a transição completa do 4G para o 5G pode não ser tão rápida ou simples, pois demanda grande colaboração entre usuários, fabricantes, desenvolvedores de aplicativos, operadores, provedores de conteúdo e provedores de serviço. Serão necessárias mudanças na arquitetura das redes de acesso e de transporte, antenas e dispositivos, além de novos espectros de radiofrequência para a transmissão de dados (MULDER, 2018).

1.9 Como a Indústria 4.0 afeta o trabalhador

Nas seções a seguir são apresentadas informações a respeito daquilo que vem sendo exigido do profissional 4.0, que deverá apresentar diversas características emparelhadas ao novo modelo industrial.

1.9.1 Requalificação e adaptação à tecnologia

O investimento na tecnologia proporcionado pela visão da Indústria 4.0 afetará o mercado como um todo, tornando-o ainda mais exigente e ocasionando a criação de novos modelos de negócio, além da extinção de outros. As pessoas que estão no meio desse turbilhão precisam ser

capazes de lidar com essa complexidade de forma estratégica, havendo a necessidade iminente de adaptação e qualificação profissional (VOLPE, 2019).

Grande progresso tecnológico está sendo alcançado, mas há um ponto negativo criado pela rapidez no desenvolvimento da nova indústria: muitos países não possuem estrutura para acompanhar estas transformações. O mundo anda a velocidades diferentes, fato que cada vez mais aumenta a vantagem competitiva entre países desenvolvidos em relação a países em desenvolvimento (COELHO, 2016).

Apesar disso, as expectativas para o desenvolvimento do Brasil são grandes. A Quarta Revolução Industrial entra no país por meio da indústria automobilística, trazendo cada vez mais conceitos e máquinas para que a mudança possa acontecer, como exoesqueletos, realidade virtual, robôs colaborativos e aprendizagem de máquina com sensores e IA. A Fiat em Betim e a Mercedes-Benz apresentaram um aumento de 15% na eficiência de produção e 20% na eficiência logística, com uma redução de 10 para 3 dias no armazenamento de componentes (FIRJAN, 2019).

Desde 2014, o país vem investindo em um Grupo de Trabalho de Indústria 4.0 (GTI 4.0), numa parceria de ministérios em diversos subgrupos e diversas associações, tais como Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Esse grupo tem como objetivo incentivar a criação de programas de competências tecnológicas nas companhias; criação de novos cursos técnicos para necessidades específicas; reformulação dos cursos de engenharia, administração e outros, para adequação tecnológica; criação de cursos de gestão da produção multidisciplinar com ênfase na Indústria 4.0; entre outros; mas apesar de seus cinco anos de implementação, ainda não produziu sequer um relatório que aborde os aspectos de implementação da Indústria 4.0 (VOLPE, 2019).

A Firjan (2019, p.25) estabelece quatro passos que a indústria brasileira deve tomar rumo à Revolução 4.0, adotando métodos, meios, precauções e uma nova visão para o futuro, sendo eles: (1) A indústria deve enxugar seus processos produtivos; (2) A indústria deve requalificar trabalhadores e gestores; (3) A inserção na Indústria 4.0 deve se iniciar por tecnologias já disponíveis e de baixo custo; (4) A indústria deve investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Portanto, aliando tecnologia avançada com gestão e controle, na sintonia da relação homem-máquina, se ganha em produtividade, qualidade e rentabilidade. Mas para atingir o nível de integração esperado, a capacitação técnica torna-se fundamental em todos os níveis hierárquicos da organização, estimulando assim o crescimento organizacional e até mesmo o do país (MORAIS et al., 2018), que precisa mudar de estratégia e investir em desenvolvimento tecnológico nacional (SILVA, 2017).

1.9.2 Perfil do profissional na Indústria 4.0

Aires, Moreira e Freire (2017) apontam que as mudanças tomadas pela indústria na Quarta Revolução Industrial inevitavelmente exigirão profissionais equipados com habilidades e competências adequadas às novas tecnologias e à nova forma de se trabalhar. Os autores citam um estudo realizado pela empresa de auditoria e consultoria empresarial Deloitte em 2016, numa pesquisa realizada com 178 respondentes, a qual aponta que a intenção das organizações é investir em mais educação corporativa nos próximos anos, além de aprimorar as *hard skills* (competências técnicas) e as *soft skills* (habilidades ligadas à personalidade).

Quadro 1 – Categorização das competências requeridas dos profissionais da indústria 4.0

Habilidades cognitivas	Competências sociais
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilidade cognitiva ▪ Raciocínio lógico ▪ Sensibilidade para problemas ▪ Raciocínio matemático ▪ Visualização ▪ Criatividade ▪ Reproduzir conhecimentos simples ▪ Empreendedorismo ▪ Inovação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordenação de equipe ▪ Inteligência emocional ▪ Negociação ▪ Persuasão ▪ Orientação de serviço ▪ Treinamento de pessoas ▪ Trabalho em equipe multidisciplinar ▪ Responsabilidade social e moral ▪ Independência
Habilidades físicas	Competências sistêmicas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Força física ▪ Destreza manual e de precisão ▪ Físico saudável 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Julgamento e tomada de decisão ▪ Análise sistêmica
Competências de conteúdo	Competência para solucionar problemas complexos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprendizagem ativa ▪ Expressão oral ▪ Compreensão de leitura ▪ Expressão escrita ▪ Alfabetização TIC⁸ ▪ Interação com outras áreas do conhecimento ▪ Aprendizagem ▪ Comunicação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solução de problemas complexos
Competências de processo	Competências de Gestão de Recursos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escuta ativa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gerenciamento de recursos financeiros ▪ Gerenciamento de recursos materiais ▪ Gestão de pessoas ▪ Gestão do tempo ▪ Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade
	Competências Técnicas
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparo e manutenção de equipamentos ▪ Controle e operação de equipamentos ▪ Programação

⁸ Alfabetização TIC: trata-se da competência em saber trabalhar com Tecnologias da Informação e Comunicação (AIRES; MOREIRA; FREIRE, 2017).

▪ Pensamento crítico	▪ Controle de qualidade
▪ Monitoramento próprio e dos outros	▪ Conhecimentos técnicos

Fonte: Aires, Moreira e Freire (2017, p.12).

Volpe (2019) descreve que habilidade é uma característica técnica aprendida e melhorada ao longo do tempo, através de uma abordagem teórica e prática, enquanto competência é a junção de talento e habilidade, sendo que um profissional competente é aquele que tem aptidão natural, ou inata, para exercer uma atividade e utiliza do conhecimento para atingir seu objetivo.

Segundo dados levantados por Aires, Moreira e Freire (2017), algumas competências e habilidades são consenso entre as previsões dos estudos recentes, e os profissionais devem se atentar e se preparar para as futuras demandas do mercado, buscando as qualificações necessárias. Estas características profissionais se encontram resumidas no quadro 1, que categoriza dois tipos de habilidades, sendo elas habilidades cognitivas, ou executivas, que incluem habilidades motoras, de atenção e de percepção; e habilidades físicas, definidas como atributos físicos treináveis em um organismo humano. Este quadro também aponta sete tipos de competências que remetem à ideia de capacidade e conhecimento para realizar um determinado tipo de atividade. Entre as habilidades e competências citadas, foram descritas as quarenta e cinco características mais requisitadas dentro de cada campo.

Pfeiffer (2015) destaca a aprendizagem contínua, competências em TI, interdisciplinaridade, integração, auto-gestão, competências sociais, interação e flexibilidade como os mais relevantes traços no perfil do profissional 4.0, visando à resolução de problemas cada vez mais complexos, subjetivos e abstratos. Já para Volpe (2019), equipes multidisciplinares serão fundamentais para a integração de diferentes formas de conhecimento, trazendo resultados positivos para a organização e todos os envolvidos.

1.9.3 O gestor na Indústria 4.0

Tratando-se de gestão 4.0, a tendência é utilizar e aplicar meios e mecanismos de autogestão e auto-organização. Uma vez que as abordagens de gestão tradicionais não se aplicam a esse novo cenário, a capacidade de inovação, reengenharia e diferenciação são vantagens para as empresas que pretendem liderar o mercado (SHAMIN ET AL, 2017).

Em âmbito nacional, a história do país, bem como seus investimentos nas últimas décadas, aparenta direcionar a demanda do mercado para cada vez mais gestores e cada vez menos técnicos. Justificando-se através de conceitos como “globalização” e “liberalismo”, o Brasil se consolidou

como um provedor de *comodities* – agricultura, mineração, etc. – e deixou o investimento em tecnologia praticamente fora da estratégia nacional. Enquanto a situação permanecer assim, é possível que mesmo os cursos de engenharia devam investir mais em formação de gestores (SILVA, 2017).

O momento pode ser favorável aos gestores que investem em conhecimento, aprendizado e inovação, e estudam as modernas ferramentas de gestão. O mais discutido estilo de gestão é o “transformacional”, que visa a liderança por meio da influência, motivação inspiradora, estimulação intelectual e fornecimento de visão (SHAMIN et al., 2017).

2 ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos por meio do estudo de caso, que se baseou numa entrevista com o diretor de uma multinacional do setor automotivo da região metropolitana de Piracicaba-SP.

2.1 Metodologia

A pesquisa bibliográfica aponta que é a indústria automobilística a responsável por trazer as tecnologias 4.0 para o Brasil. Portanto, a fim de refletir sobre o impacto da Indústria 4.0 na região de Piracicaba, decidiu-se buscar informações concretas sobre o perfil profissional adequado para atuar nas empresas que já começaram a adotar ferramentas dessa onda tecnológica.

Foi realizado um estudo de caso em uma montadora multinacional da região metropolitana de Piracicaba-SP, por meio de entrevista com um dos diretores, que tem cinquenta anos, trabalha há sete anos na empresa e é responsável pelas áreas de Produção, Controle de Qualidade e Logística. É formado em engenharia mecânica de produção pela Faculdade de Engenharia Industrial de São Bernardo do Campo com especialização em Qualidade pela Unicamp, e MBA em Gestão de Negócios. Antes de ingressar na atual empresa, o engenheiro trabalhou na Autolatina e participou de todo o projeto de construção e instalação da fábrica da Volkswagen Audi no Paraná, e também foi convidado a participar do projeto de transformação da planta de Cassino na Itália, onde hoje se produz uma gama de produtos Alfa Romeo para o mundo. Em ambos os projetos, foi necessário possuir interação com todas as áreas da empresa, assim como atualmente o diretor tem acesso tanto as áreas administrativas como as áreas de produção da montadora em estudo, tendo todo o conhecimento e qualificação necessária para responder esse questionário.

Para a entrevista, foi preparado um roteiro com questões abertas, mas foi dada a oportunidade ao entrevistado de se aprofundar mais no assunto, explicando suas perspectivas e compartilhando seus conhecimentos. Também foi deixado em aberto a possibilidade de surgirem questões mais específicas no decorrer da conversa.

A entrevista foi realizada no dia 31 de outubro de 2019, às 13h15, na sala do diretor entrevistado, na empresa. Fez-se uma breve apresentação do tema e objetivos do estudo, assim como do Quadro 1 para exemplo e fonte básica de informações, e, em seguida, a entrevista se iniciou seguindo as perguntas descritas no roteiro.

2.2 Resultados

1) As principais ferramentas de gestão utilizadas no setor produtivo da empresa:

São primordiais a gestão de manutenção de equipamentos, o sistema de gestão de utilidades e o sistema de gerenciamento de materiais, que tratam da comunicação entre a empresa e os seus fornecedores.

2) Tecnologias 4.0 adotadas no setor produtivo:

A fábrica já possui vários equipamentos que “conversam” entre si, mas ainda estão em um nível intermediário da tecnologia, pois não tomam decisões sozinhos. O equipamento mais moderno recém adquirido foi uma impressora 3D que ainda está em teste e desenvolvimento, assim como a mão de obra dos funcionários para lidar com a máquina. Comentou que uma tecnologia muito útil é o celular, que apesar de não ser 4.0 faz o monitoramento de uma série de equipamentos e recebe diversas informações atualizadas e instantâneas a respeito da produção.

3) Tecnologias 4.0 adotadas no setor administrativo:

O departamento que está mais avançado na tecnologia 4.0 é o de atendimento aos clientes, que utiliza a IBM Watson, a Inteligência Artificial (IA) para negócios oferecida pela plataforma de serviços da IBM, e consegue atender 85% das necessidades dos clientes. Só terá contato com um atendente o cliente que tiver dúvidas técnicas ou específicas que a Inteligência Artificial ainda não “aprendeu”, caracterizando os 15% restantes.

4) Perfil profissional esperado do profissional do setor produtivo da empresa:

O diretor acredita ser importante ter raciocínio lógico, sensibilidade para identificar problemas, conhecimento matemático, ser criativo, ter destreza manual, saber se expressar, ter uma escuta

ativa, ser crítico, saber trabalhar em equipe, ter capacidade de treinar outras pessoas, ser responsável e principalmente ter uma aprendizagem sempre ativa.

5) Perfil profissional esperado do profissional do setor administrativo da empresa:

Para vagas administrativas o nível de exigência é maior. Além das habilidades e competências já citadas acima, o perfil varia entre dois tipos de profissionais. (1) Aqueles com mais de cinco anos de experiência, que precisam possuir uma habilidade profissional diferenciada, capacidade de identificação e solução de problemas, e muitas vezes vindos de outra empresa para trazer um pensamento novo à equipe, dividindo experiências e conhecimentos. (2) Profissionais com pouca ou nenhuma experiência, que devem possuir uma formação acadêmica, saber outro idioma (dando ênfase ao inglês) e ter habilidade de análise sistêmica.

6) Habilidades e competências que serão mantidas, que deverão ser desenvolvidas ou aprimoradas e as novas competências e habilidades que deverão surgir em um cenário de Indústria 4.0:

Foi destacada a importância de o profissional ter conhecimento em sistemas, entender sobre lógica e programação, ter facilidade em visualização e tomada de decisão, sensibilidade para identificar e solucionar problemas, além de possuir um alto desempenho no inglês. Foi ressaltada a importância de o profissional do futuro conhecer estatística, para conseguir interpretar dados e transforma-los em informações. Hoje, já se espera que o profissional seja multidisciplinar, polivalente e abrangente, disposto a sempre buscar mais conhecimento, mas no futuro isto será ainda mais imprescindível.

7) Perspectivas e desafios da empresa em relação às tecnologias 4.0 no futuro próximo:

O entrevistado afirmou que a companhia, em nível mundial, sofre uma grande pressão do mercado para investir no desenvolvimento de tecnologias e isso gera muitas oportunidades, mas por outro lado acarreta uma atmosfera de crise e incerteza quanto à forma do produto e demanda do mercado. Apesar disso, destaca que, para os próximos cinco ou dez anos, a empresa pretende incrementar o nível de tecnologias e de produção, e acredita que conseguirá se manter competitiva no mercado brasileiro.

2.3 Análise dos resultados

Analisando as informações obtidas por meio da entrevista, pode-se constatar que o contexto e as expectativas da empresa se assemelham em grande parte com as informações fornecidas pela pesquisa bibliográfica.

A multinacional se encontra em um período de transição, apresentando alguns elementos tecnológicos importantes da Indústria 4.0. Apesar disso, e de diversas pressões externas, ainda não pretende investir fortemente na tendência, pois sente que o mercado brasileiro é mais tradicional quanto às suas demandas, enfatizando aquelas relacionadas ao produto.

Tratando-se do que a empresa espera do perfil profissional, as características apresentadas no quadro 1 também servem de referência. Os destaques foram apresentar conhecimento em inglês e a necessidade de aprendizagem ativa e contínua, pois assim como as exigências do mercado se transformam continuamente, o trabalhador deverá investir em novas competências e habilidades para atender aos desafios profissionais. Além disso, a capacidade de solucionar problemas complexos deve ser um diferencial para qualquer profissional de alto nível.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa bibliográfica e a análise da pesquisa de campo permitiram visualizar que, no decorrer de toda a história, o ser humano evoluiu e se adaptou aos meios e situações impostas, superando limites em diversos aspectos. O mesmo aconteceu nas Primeira, Segunda e Terceira Revoluções Industriais, e acontece novamente na Quarta: o profissional deve analisar as circunstâncias, focar em seus objetivos e buscar ferramentas para traçar seu plano de ação, continuando ativo no mercado de trabalho.

O mundo muda constantemente e os profissionais do futuro devem acompanhar essas mudanças se desenvolvendo e se aperfeiçoando, sem medo de investir em novas habilidades e competências, saindo da zona de conforto e buscando cada vez mais conhecimento.

Constatou-se que o mercado tende a aumentar o nível de exigências e competitividade, e espera-se que este estudo incentive os trabalhadores a continuarem se qualificando para extrair o melhor de si em sua profissão, de modo a contribuir para o desenvolvimento da sociedade.

Gestores devem ser capacitados a liderar equipes multidisciplinares, que trabalhem em conjunto com máquinas e tecnologias digitais. É importante que, no período de transição do sistema industrial, os gestores influenciem, inspirem e motivem seus colaboradores a seguirem em

frente, além deles mesmos buscarem mais conhecimento, técnicas, métodos e ferramentas para lidar com o novo.

Por fim, para pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos direcionados a pequenas empresas e em como seus funcionários serão impactados pelas tecnologias 4.0, confrontando os resultados obtidos pela entrevista da multinacional exposta neste artigo. Sugere-se também a atualização das informações aqui compartilhadas, conforme o avanço da implantação destas tecnologias na indústria brasileira – principalmente na automobilística.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. *Nber Working Paper Series*. 2017. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w23285.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2019.

AIRES, Regina. W. A; FREIRE, Patricia de S; SOUZA, João A de. *Educação corporativa como ferramenta para estimular a inovação nas organizações*: Uma revisão de literatura. 2016. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5952/1/CAP12.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.

____; MOREIRA, Fernanda. K.; FREIRE, Patricia de S. Indústria 4.0: competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. *Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação (CIKI)*. 2017. Disponível em: <http://proceeding.ciki.ufsc.br/index.php/ciki/article/view/314>. Acesso em: 22 set. 2019.

BARATA, André M.; PRADO, Edmir P.V. *Governança de dados em organizações brasileiras*. 2015. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1035&context=sbis2015>. Acesso em 19 dez. 2019.

CAVALCANTE, Zedequias V.; SILVA, Mauro L. S. da. *A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia*. 2011. Disponível em: https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf. Acesso em: 09 nov. 2019.

COELHO, Pedro M. N. *Rumo à Indústria 4.0*. 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%c3%a0%20Industria%204.0.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2019.

COGGIOLA, Osvaldo. *Da Revolução Industrial ao Movimento Operário: As Origens do Mundo Contemporâneo*. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Osvaldo_Coggiola/publication/287205625_Revolucion_Industrial_e_Movimento_Operario_As_origens_do_mundo_contemporaneo/links/5673188208ae1557cf49472a/Revolucion-Industrial-e-Movimento-Operario-As-origens-do-mundo-contemporaneo.pdf. Acesso em: 05 ago. 2019.

DATHEIN, Ricardo. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. *Publicações DECON Textos Didáticos*. 2003. Disponível em: <https://lume-re-demonstracao.ufgrs.br/artnoveau/docs/revolucao.pdf>. Acesso em: 29 set. 2019.

FARAH JÚNIOR, Moisés F. A Terceira Revolução Industrial e o Novo Paradigma Produtivo. *Revista da FAE*, v. 3, n. 2, p. 45-60, 2000. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/501/396>. Acesso em: 08 set. 2019.

FARIAS, Guilherme F. *5G - Redes de comunicação móveis de quinta geração: evolução, tecnologia, aplicações e mercado*. RIUNI - UNISUL: Repositório Institucional da Universidade do Sul de Santa Catarina. 2019. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/handle/12345/7383>. Acesso em: 21 mai. 2020.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. *Indústria 4.0*. 2016. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4>. Acesso em: 20 jul. 2019.

_____. *Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios*. 2019. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A6895B4030168EC48A78E023D>. Acesso em: 21 set. 2019.

FREITAS, Henrique M. R.; MARCOLIN, Carla B.; SILVEIRA, Marcio. Uso corporativo do Big Data: Uma revisão de literatura. *Revista de Gestão e Projetos*, v. 6, n. 3, p. 44-59, 2015. Disponível em: <http://www.revistagep.org/ojs/index.php/gep/article/view/369/pdf>. Acesso em: 30 jul. 2019.

HALLER, Stephan. *The thing of Internet of Things*. 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/16079456/The_Things_in_the_Internet_of_Things. Acesso em: 18 set. 2019.

HOBBSAWN, Eric J. *A Era das revoluções: Europa 1789-1848*. 2. ed. Tradução Maria Tereza Lopes Teixeira e Marcos Penchel. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2007, p. 50.

_____. *Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo*. 6. ed. São Paulo: Forense Universitária, 2011.

IBC – INSTITUTO BRASILEIRO DE COACHING. *O que é know-how?* 2018. Disponível em: <https://www.ibccoaching.com.br/portal/vida-profissional/o-que-e-know-how/>. Acesso em: 13 nov. 2019.

IME-USP – INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *Terceira Revolução Industrial*. 2019. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~is/ddt/mac333/projetos/fim-dos-empregos/tercRevInd.htm>. Acesso em: 07 set. 2019.

LOHR, Steve. The Age of Big Data. *The New York Times*. 2012. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2012/02/12/sunday-review/big-datas-impact-in-the-world.html>. Acesso em: 10 ago. 2019.

MORAIS, Marcos de O. et al. Conhecimento e o capital humano na indústria 4.0. *Brazilian Journal of Development*, v. 4, n. 7, p. 4570-4583, 2018. Disponível em: <http://www.brjd.com.br/index.php/BRJD/article/view/599>. Acesso em: 23 set. 2019.

MULDER, Nicolas J. *Requisitos na implementação de redes de transporte para suportar o 5G*. Repositório ROCA da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/13227>. Acesso em: 21 mai. 2020.

OLIVEIRA, Elisângela M. Transformações no Mundo do Trabalho, da Revolução Industrial aos nossos dias. *Revista Caminhos de Geografia*, v. 11, n. 6, p. 84-96, 2004. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15327/8626>. Acesso em: 18 jul. 2019.

PEREIRA, Luís Moniz. *Inteligência Artificial: Mito e Ciência*. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luis_Pereira5/publication/237130636_Inteligencia_Artificial_Mito_e_Ciencia/links/00463527ca46b52079000000.pdf. Acesso em: 08 set. 2019.

PFEIFFER, Sabine. Effects of Industry 4.0 on vocational education and training. *Institute of Technology Assessment (ITA)*, v. 15, n. 4, p. 1-49, 2015. Disponível em: <http://epub.oeaw.ac.at/0xc1aa5576%20x0032aa5d.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

PRIEB, Sérgio. *A Classe Trabalhadora diante da Terceira Revolução Industrial*. 2016. Disponível em: https://www.unicamp.br/cemarx/anais_v_coloquio_arquivos/arquivos/comunicacoes/gt4/sessao1/Sergio_Prieb.pdf. Acesso em: 08 ago. 2019.

RODRIGUES; Leticia F.; JESUS; Rodrigo A de; SCHÜTZER, Klaus. Indústria 4.0: Uma Revisão de Literatura. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 19, n. 38, p. 33-45. 2016. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-unimep/index.php/cienciatecnologia/article/view/3176>. Acesso em: 17 set. 2019.

SHAMIN, Sagib. et al. *Management Approaches for Industry 4.0: a human resource management perspective*. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311251654_Management_approaches_for_Industry_40_A_human_resource_management_perspective. Acesso em: 17 dez. 2019.

SILVA, André L. V. C. e. Indústria 4.0 ou a “4ª Revolução Industrial” e “Tecnologia e Soberania Nacional”. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 14, n. 4, p. 289-289. 2017. Disponível em: <https://www.tecnologiammm.com.br/article/10.4322/2176-1523.1404/pdf/tmm-14-4-289.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2019.

SILVA, Cristina A da; GASPARIN, João L. *A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a educação escolar brasileira*. 2019. Disponível em: http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/M/Marcia%20CA%20Silva%20e%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf. Acesso em 28 set. 2019.

SILVA, Fabricio A. B. da. Big Data e Nuvens Computacionais: Aplicações em Saúde Pública e Genômica. *Journal of Health Informatics*, v. 8, n. 2, p. 3-9. 2016. Disponível em: <http://www.jhi-sbis.saude.ws/ojs-jhi/index.php/jhi-sbis/article/view/336/263>. Acesso em: 19 dez. 2019.

SOUZA, Leonardo A de. M; RAMOS, Nicolle C. S. *Indústria 4.0: Uma revisão sistemática da literatura nacional*. 2017. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_238_376_31632.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

TAURION, Cezar. *Cloud Computing - Computação em Nuvem: Transformando o mundo da tecnologia da informação*. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

_____. Qual o impacto da Inteligência Artificial no mercado de trabalho? *Revista Tecnologia 360*. 2019. Disponível em: <http://revistatecnologia360.com.br/qual-o-impacto-da-inteligencia-artificial-no-mercado-de-trabalho/>. Acesso em: 28 ago. 2019.

Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 125-146, jan./jun. 2020.

Reis, G. N.; Garcia, T. R. C.; Scudeler, V. C.;

Profissionais 4.0: Uma breve análise das futuras demandas de mercado

TEIXEIRA FILHO, Jayme. *Gerenciando Conhecimento: como a empresa pode usar a memória organizacional e a inteligência competitiva no desenvolvimento de negócios*. 1. ed. Rio de Janeiro: Senac, 2000.

VENTURELLI, M. Indústria 4.0: uma visão da automação industrial. *Automação Industrial*. 2014. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 09 nov. 2019.

VISENTINI, Paulo F; PEREIRA, Analúcia D. *História Mundial Contemporânea*. 3. ed. Brasília: Fundação Alexandre Gusmão, 2012.

VOLPE, Waini. Análise dos cursos de engenharia de produção no contexto de formação dos engenheiros para o ambiente da indústria 4.0. *Repositório da Produção Científica e Intelectual da Unicamp*. 2019. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/335249>. Acesso em: 10 nov. 2019.

1 REIS, Gabriel Nascimento dos. É graduando do curso de Tecnologia em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

2 GARCIA, Thaila Raquel Christofolletti é graduanda do curso de Tecnologia em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”

3 SCUDELER, Valéria Cristina. cursou Graduação e Mestrado em Economia no Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. cursou o MBA em Gestão Financeira pela Fundação Getúlio Vargas - FGV Campinas. Trabalhou por 7 anos como pesquisadora bolsista em projetos de pesquisa no Centro de Estudos Sindicais e de Economia do Trabalho - CESIT/UNICAMP e no Núcleo de Estudos de População - NEPO/UNICAMP. Foi coordenadora do Curso de Administração da Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis Santa Lúcia - FCACSL em 2008 e 2009. Atua como docente de ensino superior desde 2001, com foco nas áreas de Economia, Administração e Finanças. É professora da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba - FATEC e da Faculdade de Ensino Superior Santa Bárbara - FAESB.