



**ANTONIO OTTO NEVES FILHO**

**MAPEAMENTO POTENCIAL BIOENERGÉTICO DA  
BIOMASSA DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA  
BRASILEIRA DO CAFEIEIRO, MILHO E SOJA**

**TRÊS CORAÇÕES  
2019**

**ANTONIO OTTO NEVES FILHO**

**MAPEAMENTO POTENCIAL BIOENERGÉTICO DA BIOMASSA DE RESÍDUOS  
DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA DO CAFEIEIRO, MILHO E SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Vale do Rio Verde (UninCor) como parte das exigências do programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Recursos Hídricos, para obtenção do título de mestre.

Prof. Orientador Dr. Alisson Souza de Oliveira

Prof<sup>a</sup> Coorientadora Dr<sup>a</sup> Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques

**TRÊS CORAÇÕES  
2019**

577.4  
N518m NEVES FILHO, Antonio Otto

Mapeamento potencial bioenergético da biomassa de resíduos da produção agrícola brasileira do cafeeiro, milho e soja. – Três Corações : Universidade Vale do Rio Verde , 2019.  
80 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira  
Co-orientadora: Profa. Dra. Rosângela Francisca P. Vitor Marques

Dissertação – Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações/  
Mestrado Profissional Sustentabilidade em Recursos Hídricos.

1. Matriz energética 2. Energia renovável. 3. Bioenergia 4. Biomassa. 5. Produção Agrícola Brasileira. I. Profa, Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques, coorientadora. II. Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira, orient. III. Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações. IV. Título.

Catálogo na fonte

Bibliotecária responsável: ERNESTINA MARIA PEREIRA CAMPOS DANTAS CRB6: 2.101

**ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MESTRADO APRESENTADA POR ANTÔNIO OTTO NEVES FILHO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE NO PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS HÍDRICOS**

Aos dezoito dias do mês de dezembro de dois mil e dezenove, reuniu-se, no(a) Salão do Júri, a Comissão Julgadora designada pela Comissão de Pós-Graduação da UninCor, constituída pelos professores doutores: Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira (Orientador), Profª. Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques (Titular), Prof. Dr. Aurivan Soares de Freitas (Titular) e Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva (Titular), para examinar o(a) candidato(a) Antônio Otto Neves Filho na prova da defesa de seu trabalho de conclusão de curso intitulada: MAPEAMENTO DO POTENCIAL BIOENERGÉTICO DA BIOMASSA DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA DE CAFÉ, MILHO E SOJA. O(A) Presidente da Comissão, Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira, iniciou os trabalhos às 13:03, solicitando ao(à) candidato(a) que apresentasse, resumidamente, os principais pontos do seu trabalho. Concluída a exposição, os examinadores arguíram alternadamente o(a) candidato(a) sobre diversos aspectos da pesquisa e do trabalho de conclusão de curso. Após a arguição, que terminou às 15:42, a Comissão reuniu-se para avaliar o desempenho do(a) candidato(a), tendo chegado ao seguinte resultado: Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira (aprovado), Profª. Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques (aprovado), Prof. Dr. Aurivan Soares de Freitas (APROVADO) e Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva (aprovado). Em vista deste resultado, o(a) candidato(a) Antônio Otto Neves Filho foi considerado(a) aprovado, fazendo jus ao título de Mestre pelo Programa de Mestrado em Sustentabilidade em Recursos Hídricos. Sendo verdade, eu, Prof. Francislaine Santos Silva do Rosário, Secretária Geral da UninCor, confirmo e lavro a presente ata, que assino juntamente com os Membros da Banca Examinadora. Três Corações, 18 de dezembro de 2019.

Novo título (sugerido pela banca): mapeamento potencial bioenergético da biomassa de resíduos da produção agrícola brasileira do café, milho e soja

Alisson Souza de Oliveira  
Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira

Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques  
Profª. Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques

Aurivan Soares de Freitas  
Prof. Dr. Aurivan Soares de Freitas

Antônio Carlos da Silva  
Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva

Francislaine Santos Silva do Rosário  
Prof. Francislaine Santos Silva do Rosário  
Secretária Geral - UninCor

“Sabemos o que somos, mas ignoramos o que  
podemos nos tornar”

William Shakespeare

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Estados:

AC – Acre  
AL – Alagoas  
AM – Amazonas  
AP – Amapá  
BA – Bahia  
CE – Ceará  
DF – Distrito Federal  
ES – Espírito Santo  
GO – Goiás  
MA – Maranhão  
MG – Minas Gerais  
MS – Mato Grosso do Sul  
MT – Mato Grosso  
PA – Pará  
PB – Paraíba  
PE – Pernambuco  
PI – Piauí  
PR – Paraná  
RJ – Rio de Janeiro  
RN – Rio Grande do Norte  
RO – Rondônia  
RR – Roraima  
RS – Rio Grande do Sul  
SC – Santa Catarina  
SE – Sergipe  
SP – São Paulo  
TO – Tocantins

### Regiões:

CO – Centro-Oeste  
N – Norte  
NE – Nordeste  
S – Sul.  
SE – Sudeste

### Tabelas:

DP<sub>E</sub> – Desvio padrão ao longo do período (estadual)  
DP<sub>NA</sub> – Desvio padrão Nacional Anual  
DP<sub>R</sub> – Desvio padrão Regional  
DP<sub>Reg</sub> – Desvio padrão regional em cada ano  
M<sub>ano</sub> – Média anual  
M<sub>E</sub> – Média estadual ao longo do período  
M<sub>N</sub> – Média Nacional  
M<sub>R</sub> – Média Regional  
M<sub>Reg</sub> – Média regional em cada ano  
NA – Não aplicável  
T<sub>NA</sub> – Total Nacional Anual  
Total Reg – Total do PEN em região em cada ano

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Processos de conversão para obtenção da bioenergia .....	15
<b>Figura 2</b> – Oferta total de energia primária de biomassa nos 10 principais países em 2014 ...	23
<b>Figura 3</b> – Oferta brasileira de energia elétrica por fonte em 2014 .....	24
<b>Figura 4</b> – Oferta brasileira de energia elétrica por fonte em 2016 .....	25
<b>Figura 5</b> – Oferta brasileira de energia elétrica por fonte em 2017 .....	25
<b>Figura 6</b> – Oferta mundial de energia por fonte em tonelada equivalente de petróleo (tep) em 2012 (total de $13.371 \times 10^6$ tep).....	26
<b>Figura 7</b> – Oferta mundial de energia por fonte em tonelada equivalente de petróleo (tep) em 2014 (total de $13.541 \times 10^6$ tep).....	26
<b>Figura 8</b> – Desenho esquemático de uma máquina a vapor.....	32
<b>Figura 9</b> – Espacialização da produção de grãos na região Centro-Oeste .....	44
<b>Figura 10</b> – Espacialização da produção de grãos na região Nordeste.....	45
<b>Figura 11</b> – Espacialização da produção de grãos na região Norte .....	46
<b>Figura 12</b> – Espacialização da produção de grãos na região Sudeste.....	47
<b>Figura 13</b> – Espacialização da produção de grãos na região Sul.....	48
<b>Figura 14</b> – Espacialização dos valores médios de PEC por Estado em todo o país.....	59
<b>Figura 15</b> – Espacialização dos valores médios de PEM por Estado em todo o país.....	60
<b>Figura 16</b> – Espacialização dos valores médios de PES por Estado em todo o país .....	60
<b>Figura 17</b> – Espacialização dos valores médios do potencial bioenergético dos resíduos do café, milho e soja unificados - PEN .....	61
<b>Figura 18</b> – Espacialização do número de residências no Brasil conforme Censo 2010.....	63
<b>Figura 19</b> – Espacialização do percentual de abastecimento equivalente no Brasil conforme a capacidade de cada Estado.....	63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Valores de produção interna de energia em ordem de $10^3$ tep .....	16
<b>Tabela 2</b> – Capacidade interna de geração de energia elétrica oriunda da biomassa em MW	16
<b>Tabela 3</b> – Valores médios para a massa seca (Ms), estoque de carbono (Ec), umidade máxima (Umáx.), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (Mv), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) de resíduos de milho .....	21
<b>Tabela 4</b> – Produto, tipo de resíduo, local de produção e coeficiente técnico dos resíduos....	22
<b>Tabela 5</b> – Detalhamento da oferta primária de biomassa nos 10 principais países em 2014	24
<b>Tabela 6</b> – Média do potencial e energia disponível para Minas Gerais (2010-2015).....	27
<b>Tabela 7</b> – Rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de conversão termoquímica da biomassa (madeira seca) .....	30
<b>Tabela 8</b> – Médias de produção agrícola entre 2008 e 2018 em toneladas .....	43
<b>Tabela 9</b> – Valores médios de PEC, PEM e PES em cada Estado em $\text{MW ano}^{-1}$ .....	50
<b>Tabela 10</b> – Valores de PEN da região Centro-Oeste em $\text{MW ano}^{-1}$ .....	51
<b>Tabela 11</b> – Valores de PEN da região Nordeste em $\text{MW ano}^{-1}$ .....	52
<b>Tabela 12</b> – Valores de PEN da região Norte em $\text{MW ano}^{-1}$ .....	52
<b>Tabela 13</b> – Valores de PEN da região Sudeste em $\text{MW ano}^{-1}$ .....	53
<b>Tabela 14</b> – Valores de PEN da região Sul em $\text{MW ano}^{-1}$ .....	54
<b>Tabela 15</b> – Valores de PEN em escala Nacional ( $\text{MW ano}^{-1}$ ) .....	54
<b>Tabela 16</b> – Energia elétrica equivalente (EEQ) ao longo do período em cada Estado em $\text{GWh ano}^{-1}$ .....	55
<b>Tabela 17</b> – EEQ Nacional em $\text{GWh ano}^{-1}$ .....	56
<b>Tabela 18</b> – Número de residências equivalentes (REQ) ao longo do período em cada Estado em ordem de $10^3$ .....	57
<b>Tabela 19</b> – REQ Nacional em ordem de $10^3$ .....	57
<b>Tabela 20</b> – Compilação dos dados a nível nacional por ano .....	58
<b>Tabela 21</b> – Distribuição de residências no Brasil conforme Censo 2010.....	64
<b>Tabela 22</b> – Cruzamento de dados entre o número de residências atendidas em média por Estado e quantidade existente segundo o Censo 2010 .....	65
<b>Tabela 23</b> – Proporção da população com acesso à energia elétrica.....	66
<b>Tabela 24</b> – Avaliação da autossuficiência energética por Estado em relação a sua própria geração e população com acesso à energia elétrica.....	68



<b>Tabela 25</b> – Cruzamento de dados entre o número de residências atendidas em média por Região e quantidade existente segundo o Censo 2010 .....	68
<b>Tabela 26</b> – Comparativo com o estudo de Reis e Reis (2017).....	69
<b>Tabela 27</b> – Mensuração de potência energética que poderia ser acrescida na matriz de biomassa .....	70

## RESUMO

ANTONIO OTTO NEVES FILHO. **Mapeamento do potencial bioenergético da biomassa de resíduos da produção agrícola brasileira do cafeeiro, milho e soja.** 2019. 85p. Trabalho de Conclusão de Curso para o Mestrado em Sustentabilidade em Recursos Hídricos – Universidade Vale do Rio Verde (UninCor), Três Corações, MG.<sup>1</sup>

A disponibilidade de recursos energéticos é um dos pilares para o desenvolvimento de uma nação, e o Brasil tradicionalmente tem sua matriz energética diversificada, porém com predominância da modalidade hidrelétrica, mas também é conhecido no cenário internacional por ter grande parte da sua energia de origem renovável e sustentável, tal como a parcela gerada com biomassa. Uma das vantagens deste tipo de fonte é a não competição com a geração de alimentos, pois abstém-se dos grãos, utilizando parte dos resíduos pós-produção, que ficariam no campo. Desta forma, objetiva-se neste estudo estimar e mapear o potencial de geração de bioenergia a partir de resíduos do cafeeiro, soja e milho ao longo do território brasileiro. Para tal, apurou-se os dados quantitativos das produções das três culturas entre 2008 e 2018 através dos dados do SIDRA que foram então ordenados e filtrados. Para a conversão dos dados de produção agrícola em potencial bioenergético oriundo dos resíduos, utilizou-se da metodologia de Reis e Reis (2017); por fim, especializou-se os dados através do Qgis® 3.10, criando os mapas de bioenergia ao longo do território brasileiro. Constatou-se a ligação direta entre a produção e o potencial bioenergético, entretanto, devido à densidade populacional, os valores de Estados com grande volume populacional eram dissolvidos ficando então com baixa capacidade de autossuficiência, contudo, as regiões Centro-Oeste e Sul, respectivamente, tem devido a relação produção-população forte motivação para o investimento em instaurar uma política de geração de bioenergética com os resíduos das culturas do cafeeiro, milho e soja.

**Palavras-chave:** Matriz energética. Energia renovável. Atlas da bioenergia.

---

<sup>1</sup> Orientador: Dr. Alisson Souza Oliveira – UninCor.

Coorientadora: Dr<sup>a</sup>. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques – UninCor.

## ABSTRACT

ANTONIO OTTO NEVES FILHO. **Bioenergetic potential mapping of biomass made from the waste of Brazilian coffee, corn and soybean production.** 2019. 88p. Course Conclusion Work for the Master in Sustainability in Water Resources – Universidade Vale do Rio Verde (UninCor), Três Corações, MG.<sup>2</sup>

The availability of energy resources is one of the pillars for the development of a nation, and Brazil has traditionally diversified energy matrix with the predominance of hydroelectric modality, but it is also known in the international scenario for having a large part of its energy from renewable sources. and sustainable, such as the part generated from biomass. In this study, the bioenergetic potential of agricultural waste of coffee, corn and soybean crops was evaluated; for the insertion of the power generation in the Brazilian matrix. One of the advantages of this type of source is the non-competition with food generation, because it abstains from the grains, using part of the post production waste that would be in the field. Thus, this study aims to estimate and map the potential for bioenergy generation from coffee, soybean and corn waste throughout the Brazilian territory. To this end, quantitative data on the yields of the three crops between 2008 and 2018 were obtained from the SIDRA data which were then sorted and filtered. To convert agricultural production data to bioenergetic potential from waste, we used the methodology of Reis and Reis (2017). Finally, the data was specialized through Qgis® 3.10, creating bioenergy maps throughout the Brazilian territory. The direct link between production and bioenergetic potential was found, however, due to population density, the values of states with large population volume were dissolved, leaving a low self-sufficiency capacity, however, the Midwest and South regions, respectively. , due to the production-population relationship, a strong motivation for investment in establishing a bioenergetic generation policy with the waste of coffee, corn and soybean crops.

**Keywords:** Energy matrix. Renewable energy. BioEnergy Atlas.

---

<sup>2</sup>Adviser: Dr. Alisson Souza Oliveira – UninCor.

Adviser:: Dr<sup>a</sup>. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques – UninCor.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1 Biomassa e bioenergia.....	14
2.2 Produção interna de energia .....	16
2.3 Resíduos agrícolas como fonte de energia.....	17
2.4 A cultura do café e o potencial de geração de bioenergia.....	18
2.5 A cultura da soja e o potencial de geração de bioenergia.....	19
2.6 A cultura do milho e o potencial de geração de bioenergia.....	20
2.7 Potencial de geração de bioenergia.....	21
2.8 Processos de conversão em análise .....	27
2.8.1 Biodigestão .....	27
2.8.1.1 O biogás .....	28
2.8.1.2 Produção do biogás .....	29
2.8.2 Pirólise.....	30
2.8.3 Combustão direta .....	31
2.8.3.1 Conversão de calor em outras modalidades de energia .....	31
<b>3 MATERIAI E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Culturas a serem avaliadas no estudo .....	33
3.2 Caracterização da área de estudo.....	34
3.3 Estimativa do poder calorífico por cultura.....	35
3.3.1 Resíduos de produção do cafeeiro .....	35
3.3.2 Resíduos de produção de milho .....	36
3.3.3 Resíduos de produção de soja.....	37
3.4 Levantamento de dados de produção.....	37
3.5 Levantamento da proporção da população com acesso à energia elétrica .....	38
3.6 Levantamento da quantidade de residências por Estado.....	39
3.7 Tratamento dos dados .....	39
3.7.1 Confeção dos potenciais por cultura .....	40
3.7.2 Cálculo do Potencial Energético – PEN .....	40
3.7.3 Cálculo da Energia Equivalente – EEQ.....	40
3.7.4 Cálculo de Residências Equivalentes – REQ .....	41
3.8 Confeção dos mapas .....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>43</b>
4.1 Valores médios de produção agrícola por cultura e por região.....	43
4.1.1 Espacialização das produções médias por região .....	44
4.2 Estimativas de potenciais energéticos por cultura .....	48
4.3 Estimativas de potencial energético estadual e regional.....	50
4.4 Estimativa da energia equivalente regional e nacional.....	55
4.5 Estimativa do número de residências equivalentes regional e nacional.....	56
4.6 Atlas da bioenergia de resíduos agrícolas do cafeeiro, milho e soja .....	58
4.6.1 Regiões com potenciais produtores .....	61
4.7 Análises de eficácia da aplicação da biomassa de resíduos do cafeeiro, milho e soja69	
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE A – VALORES DE PEC, PEM E PES ENTRE 2008 E 2018.....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O meio agrícola, além sua importância econômica e de geração de alimentos, tem potencial gerador de energia, muitas vezes desperdiçado. Ao longo dos processos de cultivo agrícola, são gerados resíduos orgânicos das mais diversas formas, tais como cascas e palhas; e tais itens, aqui denominados como resíduos agrícola. Esses resíduos têm potencial para gerar energia limpa e renovável.

“Quando se utiliza o termo “resíduo”, muitas vezes, por falta de conhecimento associa-se diretamente a ideia de “lixo”. Os resíduos diferenciam-se do lixo por possuir valor econômico agregado e permitir o seu reaproveitamento” (SANTOS e ÁVILIA, 2015).

Algumas culturas têm elevada parcela de energia química agregada em seus resíduos, e quando esses são gerados em grande escala, assim como numa visão de dimensão municipal, pode-se indagar que há possibilidade de que possa ser gerado um potencial energético de médio porte, que pode ser direcionado, dentre outras finalidades, para geração de energia elétrica (via combustão da biomassa para alimentar um gerador, por exemplo) e, assim, ajudar no abastecimento local; logo, deste modo torna-se fonte alternativa de energia elétrica.

Para este estudo, fazem-se de interesse as culturas do café, milho e soja, pois, segundo dados do SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), a soja e o milho são o primeiro e segundo colocados no ranking de produção brasileira no período de 2008 a 2018, em terceiro e quarto lugar estão o trigo e o feijão, respectivamente, ficando o café em quinta colocação. Porém, desde 2016, a produção do café supera a de feijão; e pelo trigo não ter estudos prévios suficientes sobre uso como biomassa, o café foi a escolha como terceira cultura.

O Acordo de Paris, assinado em 2015 pelo Brasil e quase outros duzentos países, incentiva o uso dos biocombustíveis, cuja certa fração desses pode ser produzida através de diversos resíduos sólidos de origem urbana ou agrícola.

Todos os dias são descartados no planeta materiais orgânicos ricos em energia química, isto é, compostos que através de reações químicas podem fornecer energia, muitas vezes na forma de calor. Esses materiais orgânicos são fontes primárias para biomassa que então gera a bioenergia.

Os resíduos agrícolas descartados de forma ambientalmente inadequada representam potencial risco ambiental, bem como à saúde da fauna local, devido a poderem, quando em contato com um corpo hídrico, alterar os parâmetros de qualidade da água, como por exemplo aspectos estéticos, a cor e odor, além de aumentar a demanda bioquímica de oxigênio devido a maior abundância de matéria orgânica, turbidez e sólidos. Entretanto, os mesmos resíduos

agrícolas são potenciais fontes de energia elétrica, já que são compostos orgânicos ricos em metano e outros gases passíveis de queima.

Santos e Ávila (2015) explicam que na cafeicultura, a biomassa feita da casca do café é potencial fonte geradora de energia, capaz de substituir o carvão vegetal com o adendo de ser mais barata e ecologicamente correta, além de vigorar entre os setores do agronegócio de maior receita e gerador de empregos em diversos municípios.

Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho caracterizar e mapear por estado e mesorregião o potencial de geração de bioenergia através de sobras e resíduos de produção agrícola no Brasil, dando ênfase às três culturas do cafeeiro, milho e soja.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Biomassa e bioenergia

A biomassa é o insumo inicial e base de toda cadeia da bioenergia, trata-se de composto orgânico feito com múltiplas fontes e do qual se extrai vários tipos de combustíveis e/ou energia ao término de uma cadeia de processos que visam à obtenção de determinado produto oriundo de certa biomassa (ANEEL, 2002)

Do ponto de vista energético, biomassa é toda matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2002).

Conforme a IEA - *International Energy Agency* (2017a), biomassa é qualquer material biológico de meio renovável, incluindo-se, assim, matéria-prima oriundas de plantas (madeira, cultura agrícola, resíduos orgânicos) e derivados e animais.

Ao passar pelos processos de conversão, a biomassa se torna um combustível, produto intermediário ao processo que, por sua vez, geralmente é destinado à geração de energia elétrica por intermédio de máquina motriz à qual entrega energia mecânica (movimento) que aciona o gerador; esse, finaliza o ciclo com oferta de energia elétrica (ANEEL, 2008).

A bioenergia é o resultado dos diversos tipos de processos de conversão da biomassa em algum tipo de combustível (sólido, líquido ou gasoso) ou diretamente em algum tipo de energia, tal qual o calor (IEA, 2017a). Uma peculiaridade da bioenergia dentre as fontes renováveis de energia é sua aplicabilidade em múltiplos setores, isto é, possui capacidade de além da geração de energia elétrica, pode substituir diretamente os combustíveis fósseis para ampla gama de finalidades, deste modo, ela é a única atuante em todos os setores (IEA, 2017b).

Quanto à sustentabilidade da bioenergia originária da biomassa vegetal, Ferreira (2006) e Gentil (2008) ressaltam que devido a ser composto por carboidratos e hidrocarbonetos os quais são produtos de fotossíntese (com absorção de água e dióxido de carbono), ao sofrer combustão, esta libera a mesma quantidade de carbono que foi extraído da atmosfera durante o desenvolvimento da planta. Isto é, na combustão da biomassa, libera-se o mesmo montante que foi absorvido pela planta, fechando, assim, o ciclo do carbono.

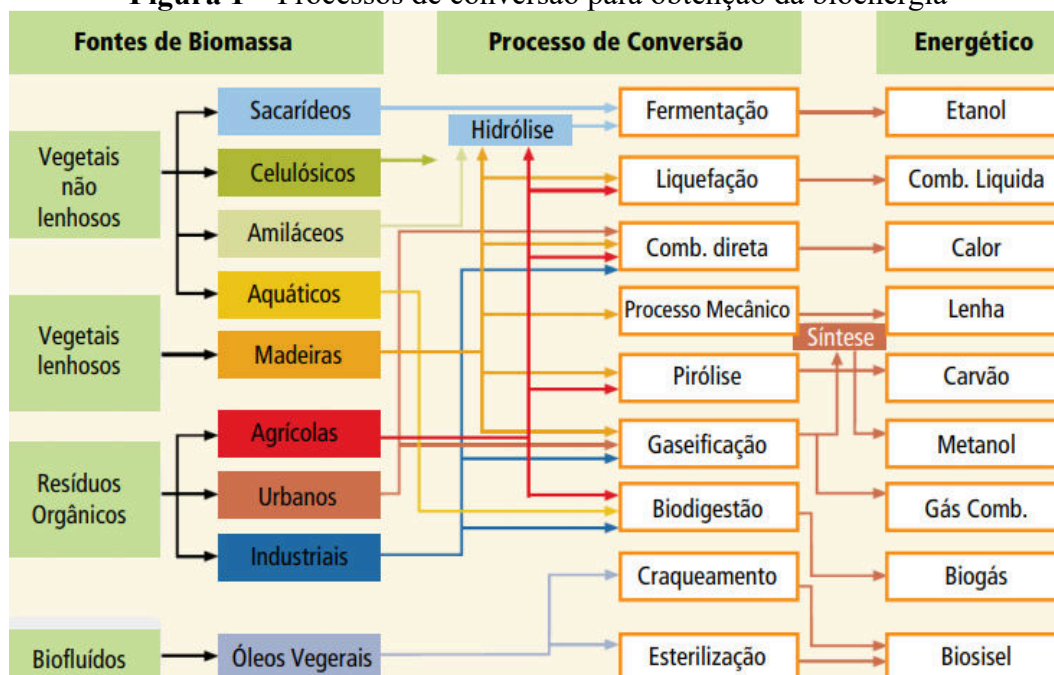
Tem-se que os combustíveis fósseis continuarão predominantes nas próximas décadas. Dentre outros motivos, sobressai seu baixo preço internacional. Em contrapartida, vem

crescendo o número de ações em nível mundial que estimulam o uso e desenvolvimento de tecnologias de fontes renováveis. A própria biomassa está em expansão em todo mundo, via aproveitamento de resíduos agroindustriais e da produção de biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos (PEDROSO *et al*, 2016).

[...] a biomassa agrícola engloba culturas que também produzem resíduos com potencial energético, como por exemplo, casca de arroz e palha de milho. Nos processos produtivos agrícolas e florestais, a geração de resíduos pode se tornar um desperdício de produção, visto que estes nem sempre são convertidos em uma nova fonte de renda para as empresas produtoras. Estes resíduos, em muitos casos, são mal manejados, sendo depositados em locais impróprios, como margens de rios, gerando problemas ambientais (NONES *et al*, 2017).

O ciclo produtivo, denominado de cadeia da bioenergia, é apresentado na Figura 1, onde são mostrados os meios (processos de conversão) necessários para obtenção de sua respectiva bioenergia; observa-se que dos quatro grupos iniciais de fontes, os vegetais não lenhosos e os resíduos orgânicos são os que propiciam maior variedade de biomassa. A partir dessa subdivisão, vê-se que alguns apresentam mais de uma possibilidade de processo de conversão, chegando assim a energéticos distintos. No caso dos resíduos orgânicos agrícolas as possibilidades são hidrólise (com posterior fermentação) para o etanol, a liquefação para o combustível líquidos, a combustão direta para obter calor, a pirólise que forma o carvão e a biodigestão que forma o biogás. No caso dos resíduos orgânicos industriais as possibilidades são a gaseificação para o metanol, a biodigestão para o gás combustível e o craqueamento para o biogás.

**Figura 1** – Processos de conversão para obtenção da bioenergia



Fonte: ANEEL, 2003 (*apud* Ministério de Minas e Energia, 2007)



## 2.2 Produção interna de energia

Segundo a EPE (2018), desde 2008 a produção interna de energia não acusa retração nos valores totais e nas fontes não renováveis. Para as renováveis, ocorreu redução quando comparado com os anos anteriores em 2009, 2011 e 2017. Ressalta-se o fato da publicação de 2018 ter como ano base 2017, logo, as informações sobre 2018 estarão somente disponíveis na publicação de 2019 (Tabela 1).

Vê-se pela Tabela 2 que o aproveitamento da biomassa para geração de energia elétrica vem aumentando ininterruptamente desde 2008, sendo, neste período, 2010 o ano com maior expansão em relação ao anterior, o salto representou 38,7%, enquanto a média no período é de 12,5%. Desde 2015, o crescimento reduziu de ritmo, marcando em 2017 a menor taxa de crescimento, 2,5%.

**Tabela 1** – Valores de produção interna de energia em ordem de  $10^3$  tep<sup>3</sup>

Fonte	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Não renovável</b>	<b>123.161</b>	<b>129.340</b>	<b>134.277</b>	<b>140.533</b>	<b>140.573</b>	<b>139.997</b>	<b>153.920</b>	<b>165.795</b>	<b>172.540</b>	<b>179.477</b>
Petróleo	94.000	94.000	106.559	108.976	107.258	104.762	116.705	126.127	130.373	135.907
Gás natural	21.398	21.398	22.771	23.888	25.574	27.969	31.661	34.871	37.610	39.810
Carvão vapor	2.552	2.552	2.104	2.134	2.517	3.298	3.059	2.459	2.636	1.930
Carvão metalúrgico	101	101	0	0	0	0	0	0	0	0
Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	3.950	3.950	1.767	4.209	3.881	2.375	681	512	0	0
Outras não renováveis	1.159	1.159	1.075	1.326	1.343	1.592	1.814	1.826	1.921	1.831
<b>Renovável</b>	<b>113.394</b>	<b>111.118</b>	<b>118.922</b>	<b>115.854</b>	<b>116.396</b>	<b>118.096</b>	<b>118.702</b>	<b>120.481</b>	<b>122.180</b>	<b>122.169</b>
Energia hidráulica	31.782	33.625	34.683	36.837	35.719	33.625	32.116	30.938	32.758	31.898
Lenha	29.227	24.609	25.997	25.997	25.683	24.580	24.936	24.900	23.095	23.424
Produtos da cana-de-açúcar	45.019	44.775	48.852	43.270	45.117	49.304	49.273	50.424	50.658	49.725
Eólica	102	106	187	233	434	566	1.050	1.860	2.880	3.644
Solar								5	7	72
Outras renováveis	7.265	8.002	9.202	9.518	9.443	10.021	11.327	12.354	12.781	13.406
<b>Total</b>	<b>236.555</b>	<b>240.458</b>	<b>253.199</b>	<b>256.387</b>	<b>256.969</b>	<b>258.093</b>	<b>272.622</b>	<b>286.276</b>	<b>294.720</b>	<b>301.646</b>

Fonte: Adaptada da EPE, 2018

**Tabela 2** – Capacidade interna de geração de energia elétrica oriunda da biomassa em MW

Ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Capacidade instalada de geração elétrica</b>	5.054	5.717	7.927	9.028	9.923	11.601	12.341	13.257	14.147	14.505

Fonte: Adaptada da EPE, 2018

<sup>3</sup>Tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de comparação do poder calorífico do petróleo com outras diferentes formas de energia. 1 tep =  $11,63 \times 10^3$  kWh (ANEEL, 2008).

### 2.3 Resíduos agrícolas como fonte de energia

O resíduo agrícola é a parcela que resta em campo após colheita das culturas de produção agrícola. A retirada desses resíduos deve ser feita de modo consciente, pois, quando em campo, protegem o solo no período entre a colheita e plantio subsequente, assim como asseguram a umidade do solo. Isso propicia a proteção da biota, restaura os nutrientes extraídos e evitam a ocorrência de erosão (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2014).

A utilização de tais resíduos como fonte de energia vai de encontro aos compromissos firmados em acordos climáticos internacionais, que solicitam a expansão do uso doméstico de fontes limpas de energia e as reduções de gases do efeito estufa (GEE) gerados na produção de energia elétrica (CHRISTO *et al*, 2018).

Quanto ao acordo de Paris, Milanez *et al* (2017) contextualizam como os biocombustíveis serão de vital importância para alcançar os objetivos do acordo firmado em 2015 por quase 200 países, dentre os quais o Brasil faz parte, o qual visa a reduzir as emissões de GEE (em foco o dióxido de carbono), garantindo que não ocorra aquecimento global acima de 2°C.

No caso brasileiro, as metas de redução de emissões anunciadas pela INDC (*Intended Nationally Determined Contributions*, em tradução oficial do governo: Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada) do país são de 37% abaixo dos níveis de 2005, já em 2025, é de 43%, em 2030, para o conjunto da economia (MILANEZ *et al*, 2017).

Farina e Rodrigues (2017) ressaltam que durante a COP-21, como ficou conhecida a edição de número 21 da Conferência das Partes da Convenção Quadro da Organização das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), onde o Brasil se prontificou expandir em 5% (passando de 28% para 33%), a utilização de energia elétrica de origem limpa e a parcela dos biocombustíveis deve chegar em 18%, ambas metas para 2030.

Milanez *et al* (2017) desfazem um importante mito de que os biocombustíveis afetariam a oferta de alimentos, o qual diz que ocorreria competição pela produção agrícola; isso não acontece, pois, os biocombustíveis ditos de segunda geração podem ser obtidos por meio do uso de resíduos urbanos e agrícolas não-comestíveis. Agrega-se ainda o benefício da exportação de mais esse produto para países contrários à sua produção.

Conforme Nogueira e Lora (2002) *apud* EPE (2014), a biomassa pode ser de três grupos: biomassa energética florestal, biomassa energética agrícola ou rejeitos urbanos. Quanto à parcela agrícola, esta deriva de plantações não florestais, vindas então de diferentes culturas

que podem conter determinados teores de amido, celulose, carboidratos e lipídios, isto contido na matéria orgânica.

Os autores ainda citam que as formas de gerar energia subdividem-se em dois tipos, quando utiliza-se do produto da cultura e quando faz uso dos subprodutos (resíduos agrícolas), sendo esses de interesse para este estudo. Para esta geração, é necessário que ocorram transformações biológicas (processos de conversão bioquímico, assim como biodigestão) ou via métodos termoquímicos, assim como qual a pirólise e combustão direta.

- i. Culturas agroenergéticas: utilizando principalmente rotas tecnológicas de transformações biológicas e físico-químicas como a fermentação, hidrólise e esterificação, empregadas para a produção de combustíveis líquidos como o etanol, o biodiesel e os óleos vegetais diversos. Integram estas culturas a cana de açúcar, o milho, o trigo, a beterraba, a soja, o amendoim, o girassol, a mamona e o dendê.
- ii. Subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal: uma expressiva quantidade de subprodutos resultantes das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal é tratada como resíduo, porém possui potencial energético importante, que varia segundo a rota tecnológica empregada, que pode variar desde a transformação termoquímica com combustão direta, pirólise ou gasificação, passando pelas transformações biológicas e físico-químicas, incluindo a digestão anaeróbica. Como exemplos destas culturas temos a casca de arroz, a castanha de caju e o esterco animal. (NOGUEIRA e LORA, 2002 *apud* EPE 2014)

## 2.4 A cultura do café e o potencial de geração de bioenergia

Conforme Santos e Ávila (2015), o Brasil é líder em produção de café no mundo, obteve em 2014 produção de 45,34 milhões de sacas de 60 kg. Tendo que os seus resíduos agrícolas, gerados durante o beneficiamento do grão, têm potencial de geração de biomassa, para cada grão, obtêm-se o mesmo valor em massa de casca, logo no ano de 2014, obteve-se montante de 1,36 milhões de toneladas de resíduo no território nacional. Essas cascas podem ser utilizadas como combustível para queima em fornalhas.

O uso das cascas como fonte de biomassa e subsequente queima para obtenção de energia, também se justifica pelo fato de reduzir o descarte dessas no meio ambiente, o que pode ocasionar poluição de corpos hídricos e solos, além da proliferação de pragas. Seu uso também pode reduzir o desmatamento de áreas nativas, já que é capaz de substituir a madeira como combustível. Também é fonte energética sem custo, logo, outra fonte de renda extra aos produtores. A questão do transporte destas cascas é que se torna obstáculo ao aproveitamento (LIMA, 2018).

Ainda segundo Lima (2018), a casca de café possui poder calorífico de  $18.172,0 \text{ J g}^{-1}$ , além de alto teor de voláteis, 73,64%, gerando pouco teor de cinzas (6,01%) e umidade

(11,33%), bem como teor de carbono de 44,94%, tais valores são índices favoráveis à formação de produtos líquidos no processo de pirólise.

De acordo com o Acompanhamento de Safra Brasileira de Café da CONAB (2018), estimada em 2019 para safra de 2018 um montante de 59,9 milhões de sacas beneficiadas, isto implica em crescimento de 33,2% em relação à anterior. A área total destinada à cafeicultura deve atingir 2.156,5 mil hectares.

## 2.5 A cultura da soja e o potencial de geração de bioenergia

Conforme Santos *et al* (2017), uma das principais finalidades dos grãos produzidos de soja é para indústria de ração/farelo animal e para produção de óleo de soja. Já a ração/farelo, não há praticamente nenhum resíduo do grão. Porém, para o óleo de soja, devido a ser triturado e esmagado, gera-se “massa de soja” que também pode ser destinada à indústria de ração animal; logo, os resíduos da cultura da soja, estão apenas na forma da palha, proveniente da colheita.

A soja pertence à família das leguminosas e destaca-se por ser muito rica em proteínas, lipídios (fração oleosa), fibras e sais minerais, como também em vitaminas do complexo B, raramente presentes em alimentos de origem vegetal. Os grãos da soja são utilizados para muitos fins, porém, a maior importância da soja no Brasil ainda é para a produção de grandes volumes de farelo para as rações animais e de óleo para a alimentação humana (EPE, 2014).

Os resíduos associados à produção de grão de soja ocorrem durante o processo de colheita, isto pois, os grãos são extraídos juntamente com a palha, composta de folha, caule, talos e cascas; e esta palha é descartada na lavoura, bem como na cultura do milho. A questão da coleta, compactação e transporte desses resíduos é o que encarece o aproveitamento desses. Outro ponto que desmotiva esse recolhimento é que tais resíduos são favoráveis ao solo para a lavoura (CARDOSO, 2012; NONES *et al*, 2017; SANTOS *et al*, 2017).

Cardoso (2012) afirma que o poder calorífico da palha de soja é de 3487 kcal kg<sup>-1</sup>. O autor também analisa que com a safra 2009/2010, 68,7 milhões de toneladas, o Brasil poderia ter gerado 278,61 TWh<sup>4</sup>, o equivalente a 23,96 milhões de tep; isto no cenário de 40% de aproveitamento, 15% de umidade (o que reflete proporção de 2,5 toneladas de casca/palha para cada uma tonelada do grão de soja).

A safra 2018/19 brasileira foi estimada em 118,24 milhões de toneladas, com aumento

---

<sup>4</sup> Terawatt-hora, unidade de energia; sendo que 1,0 TWh = 1 x 10<sup>9</sup> kWh (Quilowatt-hora)

de área que pode variar entre 0,8% e 2,9%, ainda que a rentabilidade financeira tenha reduzido nos últimos anos e as aberturas de novas áreas têm produtividades inferiores às áreas já consolidadas (CONAB, 2018).

## 2.6 A cultura do milho e o potencial de geração de bioenergia

O milho, perdendo apenas para a soja, é o grão mais cultivado/exportado, assumindo o posto do cereal principal para produção de ração animal. Os maiores estados produtores são, respectivamente em ordem de produção: Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais, Bahia e Pará (SOUZA *et al.*, 2018).

Da cultura do milho, tem-se que os resíduos gerados são: caule, folhas, sabugo e palha, chamados de palhada. Tais resíduos são descartados na lavoura, prática comum na produção brasileira de milho a granel, de mesmo modo que ocorre na cultura da soja, assim aumenta-se os custos de produção de energia com tais resíduos (SANTOS *et al.*, 2017).

A parcela residual da produção do milho predominante fica no campo para a ciclagem de nutrientes, ainda que tenha possibilidade de ser usada para produção de energia e está direcionada ao próprio cultivo, bem como a fase de secagem do milho (CARDOSO, 2012; VALE, DANTAS e ZAMBRZYCKI, 2014).

Para Cardoso (2012), o valor do poder calorífico da palhada de milho como um todo é de 4227 kcal kg<sup>-1</sup>. Em relação à safra 2009/2010, com a produção nacional de 53,2 milhões de toneladas de milho, o autor constatou que poderiam ter sido gerados 240,61 TWh, o mesmo que 20,69 milhões de tep; isto na proporção de 2,3 toneladas de palha para cada uma tonelada de milho produzido (fator de 15% de umidade), mantendo aproveitamento de 40%.

Na Tabela 3 são apresentados os dados relativos aos resíduos de produção do milho, na qual se evidencia os quatro componentes possíveis para a biomassa da cultura do milho, desconsideradas neste estudo a parcela referente ao sabugo, ainda que este seja responsável pelo segundo maior PCS, abaixo apenas da palha. Nota-se também quanto ao poder calorífico superior à proximidade dos valores entre caule e folha, sendo o último o que mais emite cinzas na combustão.

**Tabela 3** – Valores médios para a massa seca (Ms), estoque de carbono (Ec), umidade máxima (Umáx.), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (Mv), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) de resíduos de milho

CARACTERÍSTICAS	RESÍDUO DO MILHO			
	CAULE	FOLHA	SABUGO	PALHA
Ms (kg ha <sup>-1</sup> )	4.553,00	3.300,00	1.447,00	1.522,00
Ec (kg ha <sup>-1</sup> )	1.949,00	1.412,00	619,00	625,00
Umáx (%)	631,00	546,00	405,00	279,00
Db (kg m <sup>-3</sup> )	150,00	200,00	220,00	312,00
PCS (kJ kg <sup>-1</sup> )	18.174,00	18.245,00	18.709,00	19.090,00
De (kcal m <sup>-3</sup> )	652.200,00	873.000,00	984.720,00	1.423,97
Mv (%)	83,99	83,09	84,68	85,90
Cz (%)	2,08	5,49	1,65	1,91
Cf (%)	13,93	11,47	13,67	12,19

Fonte: VALE; DANTAS e ZAMBRZYCKI, 2014

## 2.7 Potencial de geração de bioenergia

Quando se fala em avaliar o poder calorífico de combustão de dada substância, podendo ser em unidade de massa ou volume, tem-se que esse valor de energia térmica vindo da combustão é mensurado em cal g<sup>-1</sup> (calorias por grama), kcal g<sup>-1</sup> (quilocaloria por quilograma) para os de origem sólida, ou ainda, para os combustíveis fluidos, kcal N<sup>-1</sup>m<sup>-3</sup> (quilocaloria por Newton-metro cúbico). Há três tipos de poder calorífico, denominados poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e útil (PCU). O superior é mensurado por meio de uso de calorímetros, que são dispositivos dedicados a tais medições, e denota o valor máximo de calorias que o combustível libera quando completamente consumido na combustão, tendo que não se considera a parcela consumida pelo calor latente do vapor d'água. O poder calorífico inferior toma como referência o valor do PCS e o teor de hidrogênio dissolvido no combustível, assim, no PCI, desconta-se o valor perdido com o calor latente da água (REIS e REIS, 2017).

Ainda quanto ao PCS, Furtado *et al* (2012), demonstram a quantidade de energia liberada por unidade de massa do combustível, isto quando o material está plenamente isento de umidade, isto é, completamente seco, tendo ainda as condições de queima como ideais de modo que o determinante para o calor liberado seja apenas sua composição química.

Conforme Schirmer *et al* (2017), PCU quantifica o calor liberado durante o processo de combustão, logo, é a parcela utilizada para troca térmica e geração de vapor, igual ao que ocorre em caldeiras.

Com relação ao potencial de geração de bioenergia, segundo dados da Associação Mundial de Bioenergia (WBA, 2017), em 2014, da oferta global de biomassa, 573 exajoule<sup>5</sup>, apenas 10,3% foi aproveitada, isto é, 59,2 EJ. A oferta de biomassa, desde 2000, cresce em taxa média anual de 2,3%, enquanto o biogás sofreu aumento de 11,2% contra 15,6% dos biocombustíveis líquidos.

Acerca dos resíduos agroindustriais e florestais, tem-se que sua utilização é vantajosa por causa da sua disponibilidade, isto deve-se há grandes áreas de produção de alimentos e rações. Tem-se como interesse em utilizar desse resíduo para evitar danos ambientais como contaminação de rios e águas subterrâneas (FERREIRA-LEITÃO *et al*, 2010).

No Brasil, destacam-se como subprodutos agrícolas a palha de milho, palha de trigo, palha de arroz e casca de arroz, grama e materiais florestais; há também outros que têm potencial de lucratividade, como os resíduos de processamento de cítricos, cocos e mandioca (FERREIRA-LEITÃO *et al*, 2010).

Diversas culturas apresentam o potencial para gerar bioenergia com seus resíduos, sendo que estes não são necessariamente gerados no campo, igualmente ao sabugo de milho, que somente é descartado na indústria (Tabela 4).

**Tabela 4** – Produto, tipo de resíduo, local de produção e coeficiente técnico dos resíduos

Produto	Tipo de resíduo	Local de produção	Coeficiente técnico (t resíduo/t produto)
Cana-de-açúcar	Palha e ponteira	Campo	0,24
	Bagaçó	Indústria	0,27
Feijão	Palhada e vagem	Campo	3,67
Milho	Palhada	Campo	2,50
	Sabugo	Indústria	0,60
Soja	Palhada	Campo	1,40
Trigo	Palhada	Campo	1,40
Banana (cacho)	Folhas	Campo	1,50
	Pseudocaule	Indústria	2,50
	Engaçó		0,12
Uva	Cascas e sementes	Indústria	0,40
Madeira	Ponteira, galhos e cascas	Campo	0,15
	Serragem, cascas e cavacos	Indústria	0,50

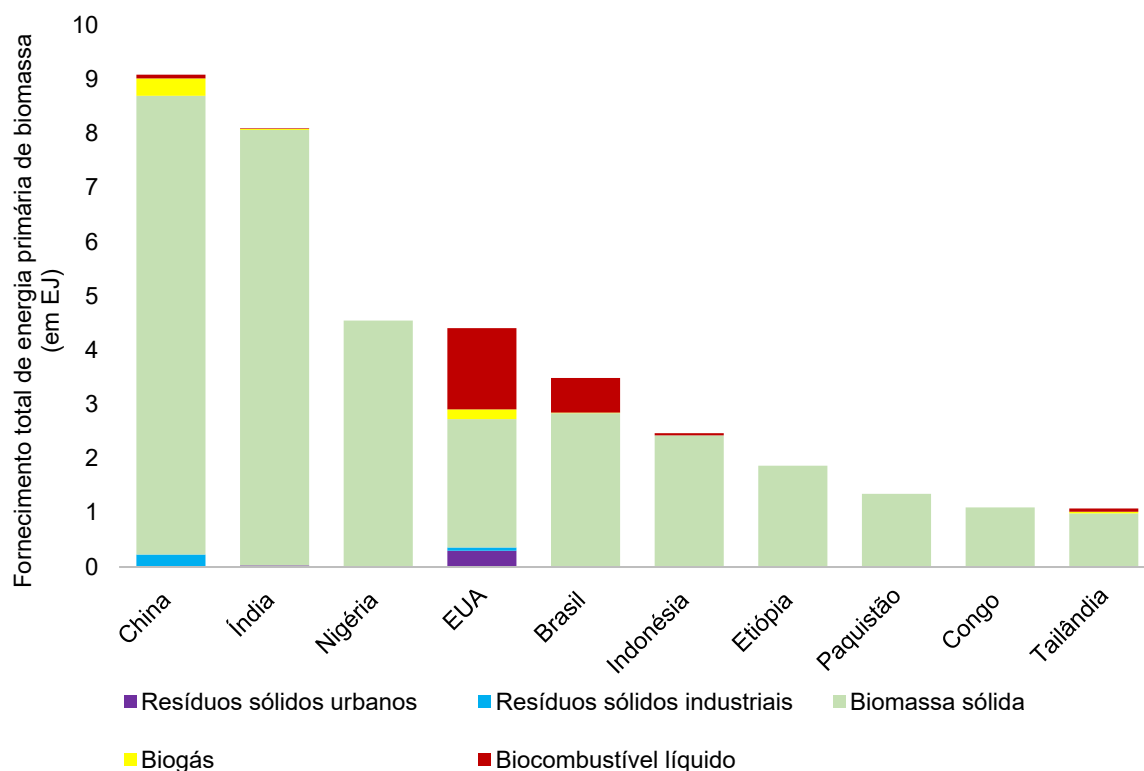
Fonte: Adaptado de NONES *et al*, 2017

<sup>5</sup> Exajoule, unidade de energia; sendo que 1,0 EJ  $\approx$  2,78 x 10<sup>11</sup> kWh (Quilowatt-hora)  $\approx$  2,78 x 10<sup>5</sup> GWh (Gigawatt-hora)

Conforme a WBA (2017), o provimento da biomassa varia entre os continentes. A Europa é líder de produção de biogás, tendo como maior fonte bioenergética para isto, os resíduos sólidos urbanos. As Américas lideram a produção de biocombustíveis líquidos. Já a Ásia tem a maior produção de biomassa de origem industrial, lidera também como maior produtor continental de bioenergia como todo.

Segundo a Figura 2, o Brasil vigora dentre as dez nações que mais fazem uso da bioenergia como fonte de abastecimento energético. A participação nacional mais expressiva é da biomassa sólida, enquanto os Estados Unidos possuem maior diversificação de fontes energéticas e, assim, supera o Brasil na totalidade produzida, ainda que percam para a biomassa sólida.

**Figura 2** – Oferta total de energia primária de biomassa nos 10 principais países em 2014



Fonte: Adaptado de WBA, 2017

Ainda segundo a WBA (2017), a diferença entre o Brasil e os EUA é de 0,93 EJ, ou seja,  $2,5854 \times 10^{11}$  kWh (equivalente a 258.540 GWh) e entre os EUA e a Nigéria, a diferença é ainda menor, 0,11 EJ; o que denotaria maior possibilidade de que antes do Brasil superar os EUA, eles ultrapassem a Nigéria (Tabela 5).

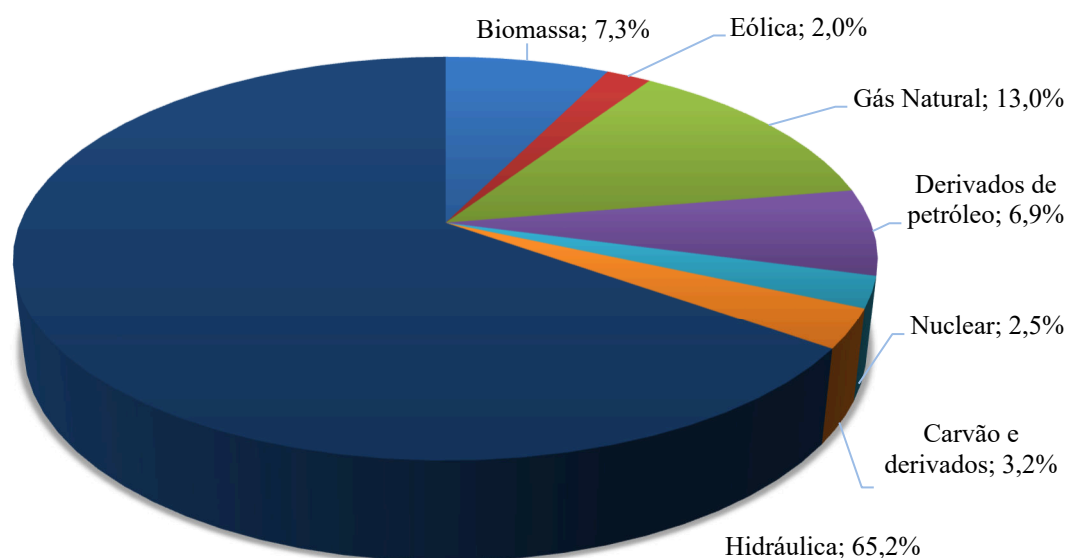


**Tabela 5** – Detalhamento da oferta primária de biomassa nos 10 principais países em 2014

Posição	País	Total	Resíduos sólidos urbanos	Resíduos sólidos industriais	Biomassa sólida	Biogás	Biocombustível líquido
1º	China	9,10	0,00	0,23	8,47	0,32	0,07
2º	Índia	8,10	0,03	0,00	8,04	0,02	0,01
3º	Nigéria	4,55	0,00	0,00	4,55	0,00	0,00
4º	EUA	4,41	0,30	0,06	2,37	0,18	1,50
5º	Brasil	3,48	0,00	0,00	2,84	0,01	0,64
6º	Indonésia	2,47	0,00	0,00	2,43	0,00	0,04
7º	Etiópia	1,87	0,00	0,00	1,87	0,00	0,00
8º	Paquistão	1,34	0,00	0,00	1,35	0,00	0,00
9º	Congo	1,10	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
10º	Tailândia	1,08	0,01	0,00	0,98	0,03	0,06

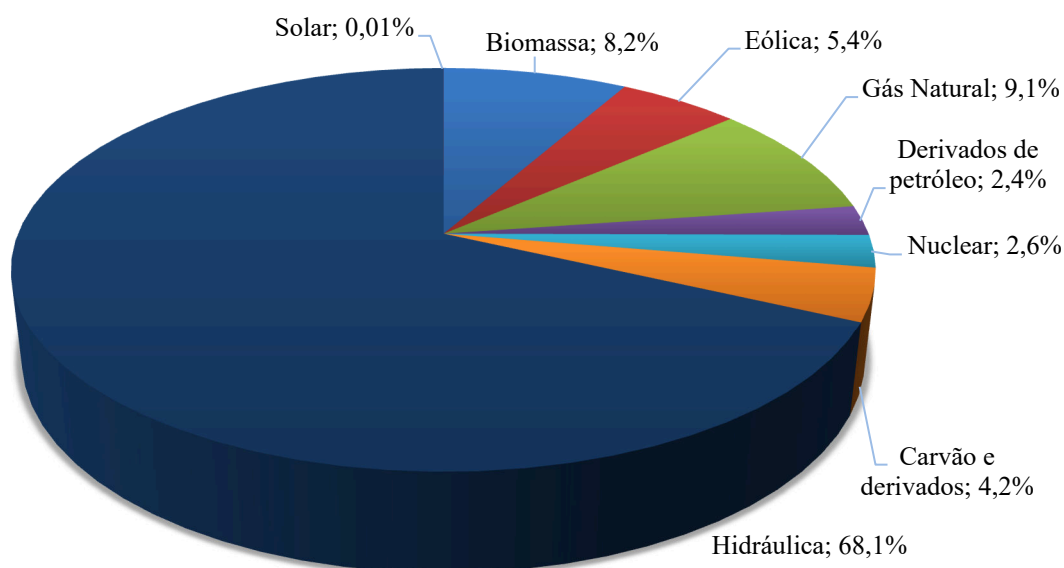
Fonte: Adaptado de WBA, 2017

Em 2014, segundo a EPE (2015), a biomassa foi a terceira maior fonte de oferta para produção de energia elétrica, ficando atrás apenas das fontes hidráulicas e de gás natural (Figura 3).

**Figura 3** – Oferta brasileira de energia elétrica por fonte em 2014

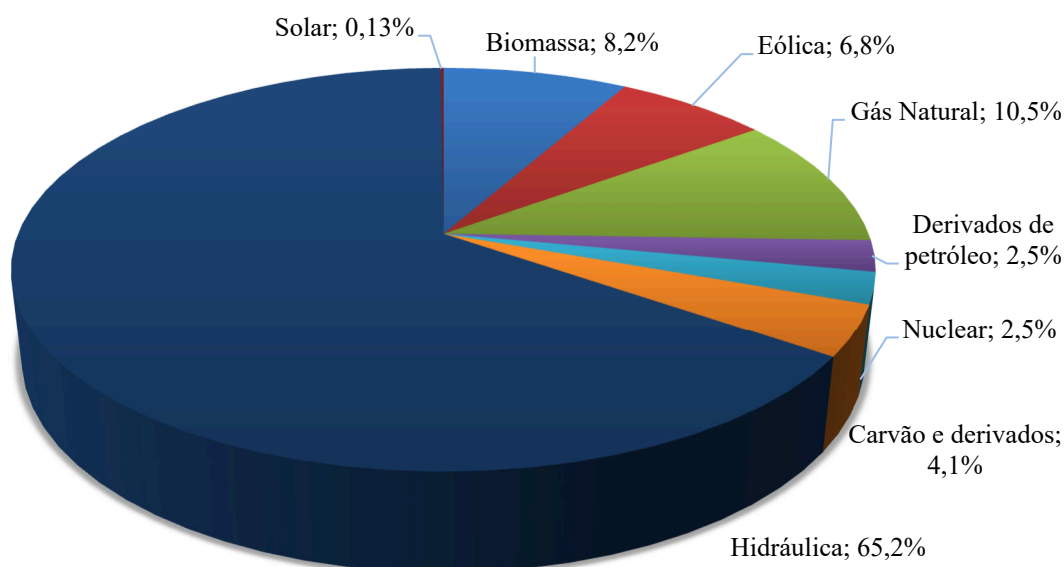
Fonte: Adaptado da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2015.

Para o ano base de 2016, observa-se que ao longo de dois anos o Brasil passou a ter maior oferta de biomassa com redução do valor do gás natural e grande expansão da energia eólica, além do decréscimo dos derivados de petróleo, e aumento do carvão e derivados (Figura 4). Segundo a EPE (2017), a geração de energia elétrica total foi de 578,9 TWh.

**Figura 4** – Oferta brasileira de energia elétrica por fonte em 2016

Fonte: Adaptado da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017.

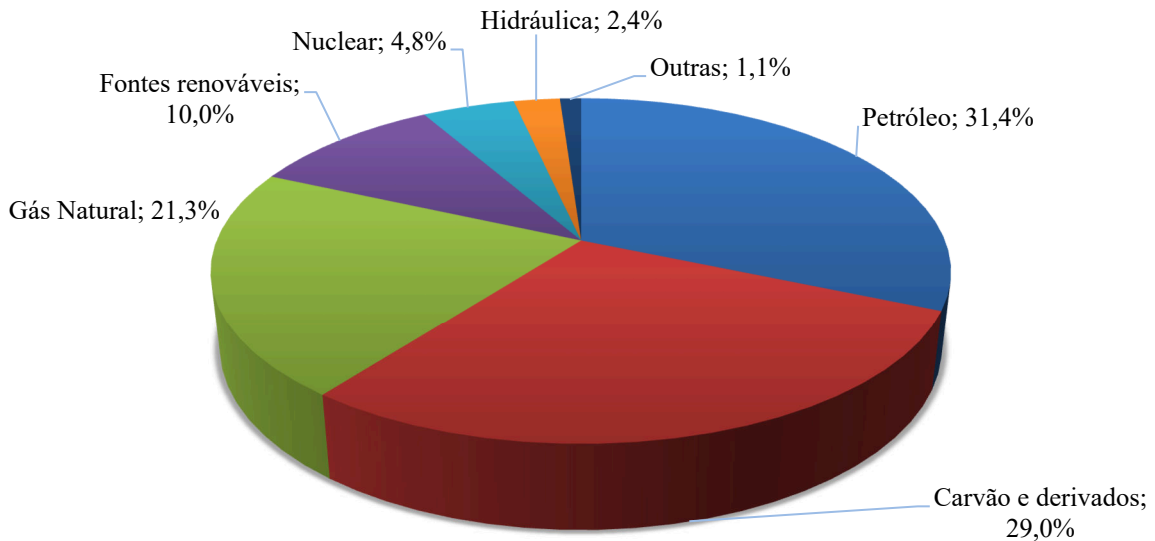
No ano seguinte, conforme o balanço energético da EPE de 2018, com ano base de 2017, percebe-se que não houve alteração na parcela de participação da biomassa, entretanto aumento da eólica, e decréscimo da hidrelétrica e grande expansão quando comparada ao ano anterior da energia solar. Quanto as fontes não renováveis, constata-se entre 2016 e 2017 que somente a energia nuclear e os derivados do carvão sofreram redução, as demais tiveram acréscimo de participação (Figura 5).

**Figura 5** – Oferta brasileira de energia elétrica por fonte em 2017

Fonte: Adaptado da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018.

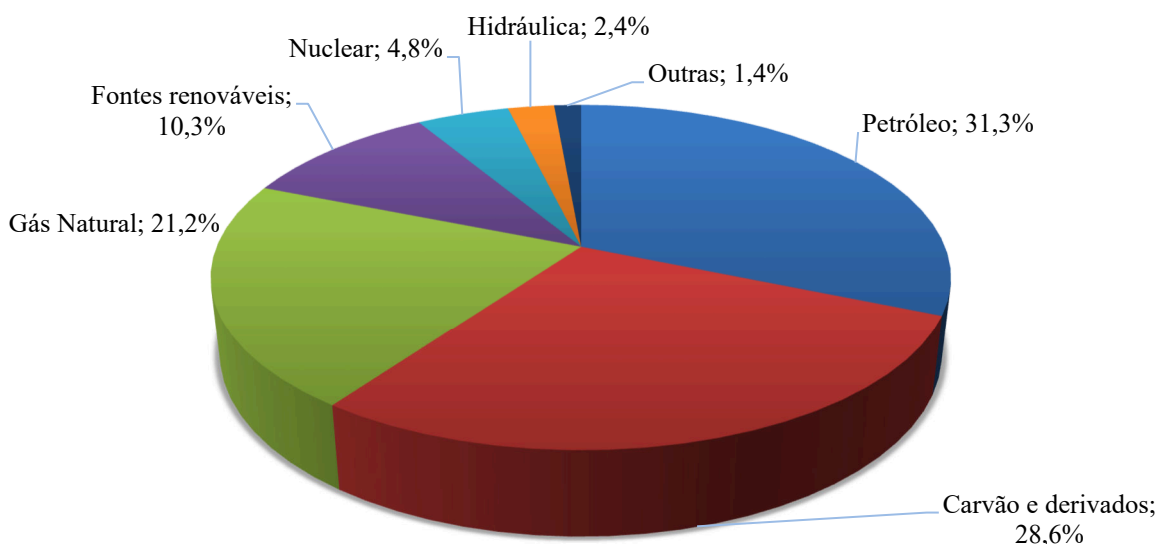
Olhando para o cenário mundial, vê-se que entre 2012 e 2014 as energias renováveis tiveram aumento pouco expressivo, muito inferior ao Brasil (Figura 6 e Figura 7).

**Figura 6** – Oferta mundial de energia por fonte em tonelada equivalente de petróleo (tep) em 2012 (total de  $13.371 \times 10^6$  tep)



Fonte: Adaptado da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2015.

**Figura 7** – Oferta mundial de energia por fonte em tonelada equivalente de petróleo (tep) em 2014 (total de  $13.541 \times 10^6$  tep)



Fonte: Adaptado da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017.

As culturas agrícolas são capazes de promover a geração de energia com seus próprios resíduos, e tais levantamentos podem ser constatados pela Tabela 6, que mostra os valores que

podem ser gerados no estado de Minas Gerais com tal utilização de bioenergia, destacando-se como interesse os valores pertinentes as culturas do cafeeiro, milho e soja.

**Tabela 6** – Média do potencial e energia disponível para Minas Gerais (2010-2015)

Fontes de biomassa	Produção	Unidade	Potencial energético (MW <sup>6</sup> )	Energia disponível (MWh <sup>7</sup> )	Nº equivalente de residências (150 kWh mês <sup>-1</sup> )
<b>Café (casca)</b>	1.458.062	t	42	345.846	192.136
<b>Milho (resíduos)</b>	6.917.527	t	452	3.763.833	2.091.018
<b>Soja (palha)</b>	3.193.685	t	92	765.620	425.345

Fonte: Adaptado de REIS e REIS, 2017

## 2.8 Processos de conversão em análise

A partir da biomassa, pode-se obter bioenergia de diferentes formas e estados da matéria, isto será obtido conforme o processo de conversão realizado. Para este estudo são focados os processos ligados a combustão e geração de biogás.

Ferreira-Leitão *et al* (2010) reforçam a necessidade de tomar cuidados com a individualidade que se tem nos tratamentos de cada tipo de cultura, pois cada tipo de matéria-prima exige determinado tipo de tecnologia para a produção de combustível/energia.

Uma vertente importante da aplicação da biomassa como fonte de energia é que isto implica em enorme potencial de geração de empregos diretos e indiretos (PEDROSO *et al*, 2016).

### 2.8.1 Biodigestão

A digestão anaeróbia (biodigestão) ocorre sem a presença de ar; o processo consiste basicamente na decomposição do material pela ação de bactérias (ANEEL, 2002; SANTOS, GUIMARÃES e GONÇALVES, 2017).

O processamento do material orgânico, rico em energia química para a biodigestão, dá-se em biodigestores que favorecem o processo com umidade e aquecimento, gerado pelas próprias bactérias. O resultado deste processo é o biogás, que é formado principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e o efluente do processo pode ser utilizado como fertilizante (ANEEL, 2002).

<sup>6</sup> MW: Mega-Watt, unidade de potência na qual 1 MW = 1.000 kW = 1.000.000 W

<sup>7</sup> MWh: Mega-Watt-hora, unidade de medida de energia, onde: 1 MWh = 1.000 kWh = 1.000.000 Wh

### 2.8.1.1 O biogás

O biogás é classificado como biocombustível, podendo ser de origem natural ou artificial, e de fonte renovável. Constituído predominantemente por hidrocarbonetos, tais como o dióxido de carbono e o gás metano, possui poder energético semelhante ao gás natural; também compartilha da inflamabilidade quando sob pressão, assim como outros combustíveis (ROYA *et al*, 2011).

O biogás é o resultado da digestão anaeróbia da matéria orgânica por bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos) conforme fatores de fermentação, temperatura, umidade e acidez (ANEEL, 2002; ROYA *et al*, 2011; WBA, 2017). Esse composto é formado fundamentalmente por CH<sub>4</sub> (50% a 75%) e CO<sub>2</sub>, fornecendo cerca de 5.500,0 kcal m<sup>-3</sup> de poder calorífico (ANEEL, 2002).

Obtêm-se o biogás natural quando micro-organismos bacteriológicos atuam sobre a biomassa gerada por acúmulo de materiais orgânicos como, por exemplo, lixo doméstico e resíduos industriais vegetais. Já a obtenção artificial utiliza de biodigestor anaeróbico, equipamento (tanques com isolamento do ar atmosférico) que é um reator químico-biológico, voltado a produção de biogás e biofertilizantes, isto a partir de material orgânico, da mesma forma que nos resíduos agrícolas; nestes tanques bactérias anaeróbicas se desenvolvem liberando o biogás (ROYA *et al*, 2011).

O poder energético do biogás é diretamente ligado à concentração de gás metano; definido pela quantidade de CH<sub>4</sub> em relação ao CO<sub>2</sub> (ZILOTTI, 2012). Dentre os componentes do biogás, uma parcela é dita impureza, pois são substâncias que não participam ou até prejudicam sua combustão, reduzindo assim sua eficiência, tais como CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, ou como o H<sub>2</sub>S (gás sulfídrico), que por sua composição ácida, diminui a vida útil de componentes metálicos devido a corrosão precoce (COELHO *et al*, 2006).

Para evitar tais perdas e prejuízos, beneficia-se o biogás antes de seu uso, por intermédio de processos de purificação. Dentre os apontados no Quadro 1, a lavagem de gás é a com maior eficácia, porém neste método, há descartes na atmosfera de poluentes, em contraponto, o processo que não libera poluentes (purificação por adsorção) e tem elevada taxa de biometano ao final, porém, com alto custo agregado.

**Quadro 1 - Métodos de purificação do biogás**

Métodos	Vantagens	Desvantagens	% (v/v) final de metano
<b>Purificação por membrana</b>	Segurança e simplicidade de operação; não geração de produtos químicos perigosos;	Resíduos de saída ainda contêm concentrações de CH <sub>4</sub> que é altamente poluente;	90-96
<b>Lavagem de gás</b>	Operam com baixas vazões de biogás; exige menos infraestrutura; simples e mais econômicos;	O efluente líquido necessita de pós tratamento; descarte de poluentes na atmosfera;	95-100
<b>Purificação criogênica</b>	Economicamente viável quando o processo envolve grandes quantidades de biogás;	Exigência de vários equipamentos e dispositivos (turbinas, compressores e colunas de destilação)	97
<b>Purificação por adsorção</b>	Simple e de fácil operação; Boa capacidade de retenção de umidade;	Necessidade de alta temperatura e pressão que tornando-o mais caro;	97
<b>Purificação Biológica</b>	Produção de biomassa no processo de fixação de CO <sub>2</sub> por meio da fotossíntese;	Métodos recentes que ainda necessitam de estudos;	87-97

Fonte: Adaptado de MIYAWAKI, 2014

O poder calorífico inferior (PCI) do biogás quando com 99% de CH<sub>4</sub>, é de 11.661,02 kcal kg<sup>-1</sup>, e possui peso específico de 0,7268 kg N<sup>-1</sup>m<sup>-3</sup>; sendo que o biogás, quando com 10% de gás carbônico e 90% de gás metano, possui densidade de 1,8393 kg N<sup>-1</sup>m<sup>-3</sup> e PCI de 465,43 kcal kg<sup>-1</sup>. Isto demonstra que o biogás, quando com predominância de CH<sub>4</sub>, ou seja, purificado, é capaz de prover maiores valores para queima e subsequente geração de energia; aliado a seu baixo peso específico, pode ser estocado com maior facilidade também (ZILOTTI, 2012).

### 2.8.1.2 Produção do biogás

O biogás é gerado não apenas em equipamentos especializados, tendo-se como exemplo de produção natural os aterros de resíduos, isto devido a decomposição natural da matéria orgânica. Além do fator tempo (ligado a formação do biogás), os demais influenciadores na produção de biogás são: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH (Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2018).

Ainda conforme o MMA (2018), os resíduos podem se tornar energia útil na forma de eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade.

Em motores estacionários (destinados a outros fins que não o veicular), o biogás pode ser utilizado diretamente; porém em alguns casos, faz-se necessária a purificação do combustível (FIGUEIREDO, 2011). Caso o objetivo seja direcionar o biogás para abastecimento da frota veicular, é necessário que seja purificado, transformando-o em biometano (WBA, 2017).

## 2.8.2 Pirólise

Segundo a ANEEL (2002), a pirólise ou carbonização remete ao mais simples e antigo meio pelo qual se converte combustível (em geral lenha) a fim de obter um produto com maior nível energético e qualidade. No caso da lenha, está se torna carvão.

Na pirólise, ocorre conversão da matéria orgânica com quantidade mínima ou com total isenção de presença de agente oxidante. O aquecimento ocorre entre 300 e 500°C (valores ditos baixos) e nisto ocorre degradação térmica da matéria orgânica, de modo a gerar combustíveis sólidos (tal qual o carvão vegetal), líquidos (bio-óleo) e gasoso (gás pirrolítico), ressalta-se que a proporção destes vai de encontro ao tipo de matéria prima e condições operacionais (EPE, 2014). Os produtos da pirólise apresentam-se nas três fases da matéria, das quais, na fração sólida, têm-se as cinzas, na líquida o bio-óleo e na gasosa os gases voláteis emitidos (ORSINI, 2012).

Trata-se de processo endotérmico de degradação termoquímica de substância/material sem presença de oxigênio no meio. A biomassa, quando ao sofrer pirólise, pode ser posta nos três principais estados da matéria: sólido, gasoso e líquido (LORA *et al*, 2012).

A pirólise se destaca dentre os processos de conversão termoquímica de biomassa por gerar produtos com valores agregados que podem ser utilizados como fonte de combustíveis. No processo de pirólises as principais estruturas constituintes da biomassa são decompostas gerando alguns produtos (LIMA, 2018).

O rendimento dos combustíveis dependerá diretamente do seu estado de fase (sólido, líquido ou gasoso) bem como do processo que será utilizado na conversão; assim, observa-se na Tabela 7 que as condições aplicadas no processamento da biomassa definem as características de rendimento nas três fases do produto final. Ressalta-se que para este estudo faz-se de interesse apenas a pirólise rápida, logo, o produto a ser utilizado será a fração líquida.

**Tabela 7** – Rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de conversão termoquímica da biomassa (madeira seca)

Processo	Condição	Líquido	Carvão	Gás
<b>Carbonização</b>	Baixas temperaturas (400 °C), tempo de residência longo (pode ser de horas ou dias), partículas grandes	30%	35%	35%
<b>Pirólise rápida</b>	Temperatura moderada (450-650 °C), curtos tempos de residência dos vapores e biomassa com baixa granulometria.	75%	12%	13%

Fonte: Adaptado de Bridgwater, 2001 (*apud* ARDILA, 2015)

### 2.8.3 Combustão direta

A combustão direta é o processo no qual ocorre liberação de calor por meio de reações entre os componentes do material e o oxigênio (fornecido externamente); convertendo deste modo a energia química contida no material (ANEEL, 2002; VIDAL e HORA, 2011; EPE, 2014). A combustão direta é uma técnica já aplicada comercialmente para geração de calor e de energia elétrica (EPE, 2014).

ANEEL (2002) e Vidal e Hora (2011) completam afirmando que a combustão, apesar de prática e de fácil execução, é de baixo rendimento, tendo como um de seus problemas principais o teor de umidade elevado (20% ou superior para lenha) e baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.)

Desse processo, resulta-se calor (energia térmica) e um gás de combustão à elevada temperatura formado principalmente, por dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) (EPE, 2014). Tem-se que o calor é energia em fluxo em um sistema, que ocorre devido à diferença de temperatura (TIPLER e MOSCA, 2006).

#### 2.8.3.1 Conversão de calor em outras modalidades de energia

Tipler e Mosca (2006), em seu livro, explicam que máquina térmica é o dispositivo que trabalha em sistema fechado, isto é, cíclico, que visa a converter a maior parcela possível de calor em trabalho. Para tal, a máquina precisa de um reservatório que contenha alguma substância capaz de absorver determinada quantidade de calor a ela emitida, desloca-se, então, gerando trabalho e então retorna ao ponto de partida, onde receberá novamente calor para ser re-energizado e voltar a circular.

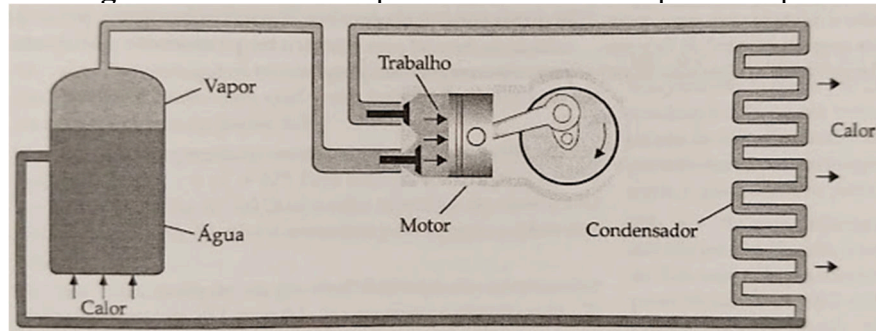
Ainda conforme os autores, essas máquinas, quando trabalham com água em seu reservatório, produzem então vapor, e este é o responsável pela geração de trabalho, capaz de ser convertido para outras modalidades de energia, como a elétrica.

Com o fornecimento de calor de meio externo, tal qual a chama oriunda da queima de biomassa, bio-óleo ou biogás, determinada massa de água sofre aumento de temperatura e subsequente mudança de fase, passando assim ao estado gasoso (vapor). Este, por sua vez, devido a possuir elevado nível energético, descola-se ao longo da tubulação, até que encontre um sistema mecânico (motor) o qual é forçado a movimentar. Para mover o sistema, realizar trabalho, é necessário que o vapor dispenda grande parte da energia ganha na forma de calor, desse modo, ao passar pelo motor, o nível energético dele reduz-se e é direcionado ao sistema



de refrigeração (condensador) que expurga o restante do calor mantendo aquela massa de água na forma gasosa, o que força seu retorno para a fase líquida, e esta retorna ao reservatório, para então poder ser aquecida e reiniciar o sistema (Figura 8).

**Figura 8** – Desenho esquemático de uma máquina a vapor



Fonte: TIPLER e MOSCA, 2006

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Culturas a serem avaliadas no estudo

A escolha das culturas neste estudo foi feita tomando-se como critérios iniciais que fossem culturas produtoras de grãos com alta produção no Brasil; além disto, que houvessem estudos detalhados sobre seus potenciais bioenergéticos para geração de energia (elétrica e/ou calor). Os volumes de produção foram retirados do SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), para tal, foi utilizada a opção Acervo, aplicou-se então, respectivamente, no campo Filtros ativos:

- Pesquisa: PA – Produção Agrícola Municipal
- Assunto: 25 – Lavouras temporárias e permanentes
- Tabela de dados agregados: 5457 – Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes

Após isto, utilizou-se do comando “Consultar” tabela selecionada, o que redireciona a uma nova tela, onde foram aplicados os filtros:

- Variável: Quantidade produzida (toneladas).
- Produto das lavouras temporárias e permanentes: Todas as opções
- Ano: 2008 a 2018.
- Unidade Territorial: Brasil

Em sequência, ao efetuar o *download* da tabela no formato XLSX, separou-se em novo arquivo os dados por ano, listando assim todas as culturas em todos os anos. Com esses valores, somou-se pela planilha eletrônica todas as produções ao longo do período para uma mesma cultura e repetiu-se o processo para todas listadas no SIDRA. Ao término, ordenou-se pelo maior valor de soma, e desta ordenação extraiu-se as culturas que se enquadravam na proposta.

Dentre as culturas que se enquadravam, escolheu-se a cafeicultura por sua forte tradição de cultivo no país e a soja e milho devido a serem os grãos mais produzidos no país no período amostral estabelecido (2008 a 2018).

### 3.2 Caracterização da área de estudo

Localizado na América do Sul, o Brasil, em extensão territorial está na quinta colocação no mundo com área de 8.510.820,623 km<sup>2</sup> e população estimada em 210.147.125 habitantes em 2019 segundo IBGE (2019). O País passa pela linha do Equador ao norte, e ao sul pelo trópico de Capricórnio, tendo predomínio do clima tropical. Com divisão em cinco regiões, Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul; abrangendo no total, 26 estados mais o Distrito Federal, o Brasil possui 5.570 municípios.

Levantando os dados médios de produção agrícola do cafeeiro, milho e soja ao longo de dez anos, de 2008 a 2018, as regiões apresentam grandes diferenças nas produções dos grãos, observando que todos produzem milho, porém em cinco estados, de duas regiões distintas, não ocorre a soja e em outros dez (espalhados em três regiões), não se produz café.

Conforme os dados apurados da produção de grãos via IBGE, as cinco regiões possuem particularidades quanto às suas produções dos três grãos analisados, criando um mosaico brasileiro distinto para cada cultura.

A região Centro-Oeste é composta pelos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e o próprio Distrito Federal. Nela encontram-se os três maiores produtores de milho estão Goiás (3º colocado) e Mato Grosso (em 1º), este último também é líder em produção de soja. Apenas para o café a região não ocupa posição de destaque. O Centro-Oeste é a única região que apresenta produção registrada das três culturas deste estudo.

Já o Nordeste, é a região com maior número de Estados, totalizando nove Unidades da Federação. Integram esta mesorregião: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Destes Estados, apenas Bahia, Ceará, Pernambuco e Alagoas são produtoras de café, possuindo as maiores produções nesta mesma ordem. Sergipe, Pernambuco e Rio Grande do Norte não apresentam registro da cultura da soja. O milho é presente em toda região, mas a Bahia, além de liderar a produção de café, repete o feito para o milho e a soja, que é a principal produção do estado.

A região Norte, sem grandes destaques de produção, a região Norte tem que seus estados produzem ao menos duas das três culturas. Tocantins, Roraima e Amapá não tem dados quanto a produção de café; os demais possuem influência de todas as culturas.

A região Sudeste é formada pelos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Esta região é a que concentra maior parte da população brasileira. A região tem enorme destaque na cultura do café. Dentre seus quatro estados, apenas o Rio de Janeiro

não está entre os maiores produtores, deixando sequencialmente, Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo como líderes nacionais.

Quanto a região Sul, esta compõe-se pelo Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Apenas o Paraná mantém produção das três culturas, as demais unidades não produzem café, apesar disto, a região tem destaque pela produção de soja

### 3.3 Estimativa do poder calorífico por cultura

#### 3.3.1 Resíduos de produção do cafeeiro

A quantificação do potencial energético da casca de café (PEC), foi realizada conforme metodologia de REIS e REIS (2017), apresentada na equação 1.

$$PEC = \frac{t_{café} * F_c * PCU * F_D * \eta}{8322 * 860} \quad (1)$$

Onde:

PEC: Potencial energético da casca do grão de café (MW ano<sup>-1</sup>)

t<sub>café</sub>: Produção de grãos de café (toneladas);

F<sub>c</sub>: Fator de conversão de tonelada de grãos de café para tonelada de biomassa = 1,0;

PCU: Poder calorífico útil a 13,5% de umidade = 3.399,8 kcal kg<sup>-1</sup>;

F<sub>D</sub>: Fator de disponibilidade para coleta = 0,4;

η: Eficiência de conversão = 0,15;

8322: 95% das horas anuais;

860: Conversão de kcal kg<sup>-1</sup> para kWh kg<sup>-1</sup>.

O emprego dos valores acima deve-se às seguintes condicionantes específicas da cultura do café:

- O valor de F<sub>c</sub> = 1 deve-se ao fato que para cada uma tonelada de café beneficiado, será gerada uma tonelada de casca.
- F<sub>D</sub> é de 40% para assegurar que o restante permaneça em campo, assegurando a sustentabilidade do processo.

- Tem-se que no denominador o valor de quantas horas por ano, o processo permanece ativo na conversão de energia; isto junto ao fator de conversão de unidade de kcal kg<sup>-1</sup> para kWh kg<sup>-1</sup>.

### 3.3.2 Resíduos de produção de milho

No cálculo do potencial energético dos resíduos de produção de milho (PEM), utilizou-se a equação de REIS e REIS (2017), mostrada na equação 2:

$$PEM = \frac{t_{milho} * F_c * PCU * F_D * \eta}{8322 * 860} \quad (2)$$

Onde:

PEM: Potencial energético dos resíduos de produção de milho (MW ano<sup>-1</sup>)

t<sub>milho</sub>: Produção de milho (toneladas);

F<sub>c</sub>: Fator de conversão de tonelada de milho para tonelada de biomassa = 2,2;

PCU: Poder calorífico útil a 11% de umidade = 3.544,9 kcal kg<sup>-1</sup>;

F<sub>D</sub>: Fator de disponibilidade para coleta = 0,4;

η: Eficiência de conversão = 0,15;

8322: 95% das horas anuais;

860: Conversão de kcal kg<sup>-1</sup> para kWh kg<sup>-1</sup>.

Assim como no caso do cafeeiro, para o milho, a utilização dos valores empregados nos fatores de conversão e disponibilidade variam conforme a cultura e a necessidade de manter certa parcela dos resíduos em campo. De tal forma, tem-se:

- O valor de F<sub>c</sub> = 2,2 deve-se ao fato que para cada uma tonelada de milho, será gerada 2,2 toneladas de resíduos.
- F<sub>D</sub> é de 40% para assegurar que o restante permaneça em campo, assegurando a sustentabilidade do processo.
- Têm-se que no denominador o valor de quantas horas por ano o processo permanece ativo na conversão de energia; isto junto ao fator de conversão de unidade de kcal kg<sup>-1</sup> para kWh kg<sup>-1</sup>.

### 3.3.3 Resíduos de produção de soja

Para dimensionar o potencial energético dos resíduos de produção de soja (PES), usou-se a equação 3, extraída da publicação de REIS e REIS (2017):

$$PES = \frac{t_{soja} * F_c * PCU * F_D * \eta}{8322 * 860} \quad (3)$$

Onde:

PES: Potencial energético dos resíduos de produção de soja (MW ano<sup>-1</sup>)

t<sub>soja</sub>: Produção de soja (toneladas);

F<sub>c</sub>: Fator de conversão de tonelada de soja para tonelada de biomassa = 1,35;

PCU: Poder calorífico útil a 11,5% de umidade = 3.393,7 kcal kg<sup>-1</sup>;

F<sub>D</sub>: Fator de disponibilidade para coleta = 0,3;

η: Eficiência de conversão = 0,15;

8322: 95% das horas anuais;

860: Conversão de kcal kg<sup>-1</sup> para kWh kg<sup>-1</sup>.

Para a soja, as condicionantes do processo foram:

- O valor de F<sub>c</sub> = 1,35 deve-se ao fato que para cada uma tonelada de soja, será gerada 1,35 toneladas de resíduos.
- F<sub>D</sub> é de 30% para assegurar que o restante permaneça em campo, assegurando a sustentabilidade do processo.
- Tem-se que no denominador o valor de quantas horas por ano o processo permanece ativo na conversão de energia; isto junto ao fator de conversão de unidade de kcal kg<sup>-1</sup> para kWh kg<sup>-1</sup>.

## 3.4 Levantamento de dados de produção

Os dados foram obtidos pelo IBGE por intermédio do SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), pode-se obter os valores de produção agrícola das culturas de interesse deste estudo. Ao acessar o SIDRA, na opção de Pesquisa, deve-se ir ao item Economia e então no sub-filtro Agropecuária; neste escolher a opção Produção Agrícola Municipal –

PAM. Após isto, acessou-se o item Informações sobre culturas temporárias e permanentes.

Em seguida, para o levantamento dos dados da produção pelo SIDRA, os filtros aplicados foram:

- Variáveis: Quantidade produzida (toneladas).
- Produto das lavouras temporárias e permanentes: Café (em grão) total; Milho (em grão); Soja (em grão).
- Ano: 2008 a 2018.
- Unidade Territorial:
  - Ordenação por: Níveis territoriais;
  - Unidades da Federação (clicando no termo, sem marcar a opção)
    - Início/Município: Marcar os Estados mais o Distrito Federal (atentar-se para não marcar a opção 34. Guanabara (até 14/03/1975), que não faz menção a este estudo).

Após estes filtros, utilizou-se a opção de visualizar e, na tela que se seguiu no formato Funções, o arquivo foi salvo como planilha eletrônica XLSX, onde constam os dados de cultura agrupados por anos.

### **3.5 Levantamento da proporção da população com acesso à energia elétrica**

Também via SIDRA, apurou-se os dados mensurados do acesso da população por estado à energia elétrica. Ao acessar o SIDRA, na opção Acervo, deve-se ir optar pelo filtro Tabela de dados agregados; no campo de busca, na parte inferior da tela, utilizar o termo chave: Proporção da população com acesso à energia elétrica.

Após filtrado, utilizou-se o comando: Consultar tabela selecionada. Em seguida, para o levantamento dos dados da produção, pelo SIDRA, os filtros aplicados foram:

- Variável: Proporção da população com acesso à energia elétrica (aparecerá preenchido por já ter sido solicitada na busca anterior).
- Produto das lavouras temporárias e permanentes: Café (em grão) total; Milho (em grão); Soja (em grão).
- Ano: 2011 a 2018.

- Unidade Territorial:
  - Ordenação por: Níveis territoriais;
  - Unidades da Federação (clikando no termo, sem marcar a opção)
    - Início/Município: Marcar os Estados mais o Distrito.

Após estes filtros, utilizou-se a opção de visualizar e na tela que se seguiu, no formato Funções, o arquivo foi salvo como planilha eletrônica XLSX, onde constam os dados agrupados por anos.

### **3.6 Levantamento da quantidade de residências por Estado**

Pelo portal do Censo IBGE 2010, levantou-se quantas residências haviam no Brasil precisamente em 2010, e devido a ter-se apenas projeções até a presente data, optou-se por utilizar os valores apresentados na pesquisa.

Na tela inicial, utilizou-se da opção Resultados e nesta nova dela, na lateral esquerda, selecionou-se Sinopse do censo demográfico 2010.

Na terceira tela, no primeiro campo optar por: Resultados Preliminares - 12 - Domicílios particulares permanentes, por condição de ocupação do domicílio, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2010.

Quanto ao segundo campo, na mesma tela, utilizou-se: Domicílios particulares permanentes.

Nisso é apresentada na mesma tela a tabela com os dados em nível nacional, regional e estadual. Copiou-se esta para planilha eletrônica, onde apenas as colunas de região, estado e Domicílios particulares permanentes foram utilizadas, pois esta última reflete o total de domicílios nas esferas estadual, regional e nacional.

### **3.7 Tratamento dos dados**

Neste estudo, agrupou-se por região cada estado para assim poder apurar, além dos valores estaduais, os regionais, possibilitando a verificação assim da configuração do PEN (potencial energético, valor que é a soma de PEC, PEM e PES).



### 3.7.1 Confeção dos potenciais por cultura

Após a ordenação dos dados, calculou-se ano a ano e estado a estado, os potenciais energéticos de cada cultura, PEC, PEM e PES. Para cada cultura, admitiu-se o seu próprio valor do PCU, Fator de conversão (FC), Fator de disponibilidade (FD) e Eficiência de conversão ( $\eta$ ). Nas tabelas geradas, observou-se os campos  $M_{ano}$  que reflete a média anual a nível nacional e  $M_E$ : Média estadual ao longo do período. Para os campos com NA, neste estudo, ocorre que o referido cálculo não se aplica. Ordenou-se os Estados da Federação por região e ordem alfabética.

### 3.7.2 Cálculo do Potencial Energético – PEN

Conhecendo-se os valores de potencial de cada cultura, pode-se calcular o PEN (Potencial Energético) que é o somatório do PEC, PEM e PES de cada estado em cada ano. Devido aos valores serem altos quando apresentados na unidade megawatt por ano, converteu-se para gigawatts por ano, cabendo arredondar para valor inteiro, de modo a melhor visualização das tabelas geradas.

Neste estudo, optou-se pela criação de tabelas para melhor caracterização de cada região/Estado quanto a seus valores de produção de grãos, potencial bioenergético e número de residências atendidas. Com essa estratégia, é possível ao término montar o panorama brasileiro.

### 3.7.3 Cálculo da Energia Equivalente – EEQ

Para elaboração das planilhas de EEQ (Energia Equivalente, em  $MW \text{ ano}^{-1}$ ), aplicou-se sobre os valores obtidos anteriormente de PEN o seguinte cálculo:

$$EEQ = \frac{PEN * 24 * 365 * t}{1000} \quad (4)$$

Onde:

- EEQ: Energia Equivalente gerada ao longo de um ano
- PEN: Potencial Energético, por estado e a cada ano
- 24: Horas por dia
- 365: Dias por ano

- t: Número de anos apurados, como é ano a ano neste estudo, t = 1 ano
- 1000: Fator de conversão de MWh para GWh

A equação 4 utiliza o princípio da física do cálculo da potência:

$$Pot = \frac{E}{\Delta t} \quad (5)$$

Onde:

- Pot: Potência (Watt)
- E: Energia (Joules)
- $\Delta t$ : Intervalo de tempo

De modo a isolar o valor da energia, pode-se encontrar o valor dessa correspondente a dada potência em determinado período de tempo.

Os coeficientes 365 e 24, associados ao valor t = 1, remetem com os respectivos valores de PEN a uma EEQ na unidade de MWh, as quais teriam valores altos e dificultariam a apresentação nas tabelas. Por esta razão, converte-se para GWh, com o uso do fator dividido por 1000. A equação 4 pode ser simplificada, tornando-se:

$$EEQ = PEN * 8,76 \quad (6)$$

Ressaltando que o uso das equações 4 ou 6 remetem os mesmos resultados.

Com esta equação calculou-se por Estado e região o valor da energia equivalente gerada pelos resíduos das respectivas produções.

#### 3.7.4 Cálculo de Residências Equivalentes – REQ

Como comparativo de relevância, este estudo adota como Reis e Reis (2017) a quantidade de residências que poderiam ser abastecidas com a energia equivalente gerada pela biomassa das culturas analisadas. Nesta proposta, adotou-se a equação:

$$REQ = \frac{EEQ * 10^6}{12 * 150} \quad (7)$$

Onde:

- REQ: Residências Equivalentes. Unidade: Admissional, quantitativo apenas;
- EEQ: Energia Equivalente gerada ao longo de um ano. Unidade: GWh ano<sup>-1</sup>;
- 10<sup>6</sup>: Conversão de GW para kW;
- 12: Meses por ano com fornecimento de energia (EEQ);
- 150: Consumo estimado mensal conforme Reis e Reis (2017).

A equação 7 pode ser simplificada para a seguinte forma:

$$REQ = \frac{EEQ}{0,0018} \quad (8)$$

Com base nos valores de EEQ, e por meio da equação 8, pode-se calcular o número de residências com o consumo limitado a 150 kWh mês<sup>-1</sup> de cada estado em cada ano.

### 3.8 Confeção dos mapas

Nos mapas confeccionados neste estudo, utilizou-se do princípio da técnica da espacialização dos dados ao longo de uma região sobre a demarcação estadual.

Com o auxílio do software QGis®, demarcou-se o centroide de cada Unidade da Federação (UF) e a partir deste, com os dados de potencial energético (PEN) de cada UF, realizou-se a espacialização dos mesmos utilizando o interpolador inverso do quadrado da distância.

Reforça-se que foram criados mapas para PEC, PEM e PES de mesmo modo que para o PEN; e que a escolha deu-se para o potencial energético ao invés da energia equivalente (EEQ) pelo princípio que os valores podem ser alcançados caso as condições de cálculo sejam efetuadas, logo, o mapa retrata a capacidade local, e não de fato quanto gera. A mesma abordagem de modelagem foi aplicada aos demais mapas neste estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Valores médios de produção agrícola por cultura e por região

A Tabela 8 apresenta as médias das produções agrícolas no Brasil das culturas do café, milho e soja. Nota-se ainda que de todas as Unidades da Federação que produzem as três culturas, apenas no Ceará, Acre e Amazonas, a produção estadual de café supera a de soja. O milho, apresenta liderança de produção entre as demais culturas analisadas em 12 estados: Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina, Sergipe, Distrito Federal, Ceará, Acre, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Amazonas e Rio Grande do Norte.

**Tabela 8** – Médias de produção agrícola entre 2008 e 2018 em toneladas

Região	Estado	Café	Milho	Soja
CO	Distrito Federal	1.098,0	389.311,5	193.068,1
	Goiás	18.342,4	7.250.534,1	8.748.643,5
	Mato Grosso	8.187,3	16.238.327,8	23.938.614,6
	Mato Grosso do Sul	1.273,1	6.234.562,5	6.310.742,8
NE	Alagoas	0,6	23.686,5	536,7
	Bahia	172.700,8	2.152.100,2	3.655.397,4
	Ceará	1.937,8	368.571,9	1.131,0
	Maranhão	0,0	985.805,6	1.717.306,0
	Paraíba	0,0	41.923,8	38,2
	Pernambuco	1.354,9	73.606,7	0,0
	Piauí	0,0	798.974,7	1.288.305,8
	Rio Grande do Norte	0,0	19.531,6	0,0
N	Sergipe	0,0	532.771,8	0,0
	Acre	1.703,8	86.744,8	363,4
	Amapá	0,0	2.084,5	21.235,4
	Amazonas	2.337,1	23.530,7	273,8
	Pará	6.450,5	646.275,2	743.893,4
	Rondônia	102.328,5	542.291,5	595.953,7
	Roraima	0,0	19.213,7	36.588,1
SE	Tocantins	0,0	461.394,4	1.663.863,7
	Espírito Santo	664.583,0	62.292,5	0,0
	Minas Gerais	1.504.535,3	6.716.703,5	3.634.914,5
	Rio de Janeiro	17.019,9	13.033,1	0,0
S	São Paulo	273.593,7	4.324.010,3	2.043.627,1
	Paraná	92.012,0	14.785.822,1	15.009.783,2
	Rio Grande do Sul	0,0	5.063.554,2	12.530.858,4
	Santa Catarina	0,0	3.195.669,4	1.643.375,9
Média de produção		106.276,2	2.631.567,7	3.102.907,9

Fonte: O autor, 2019

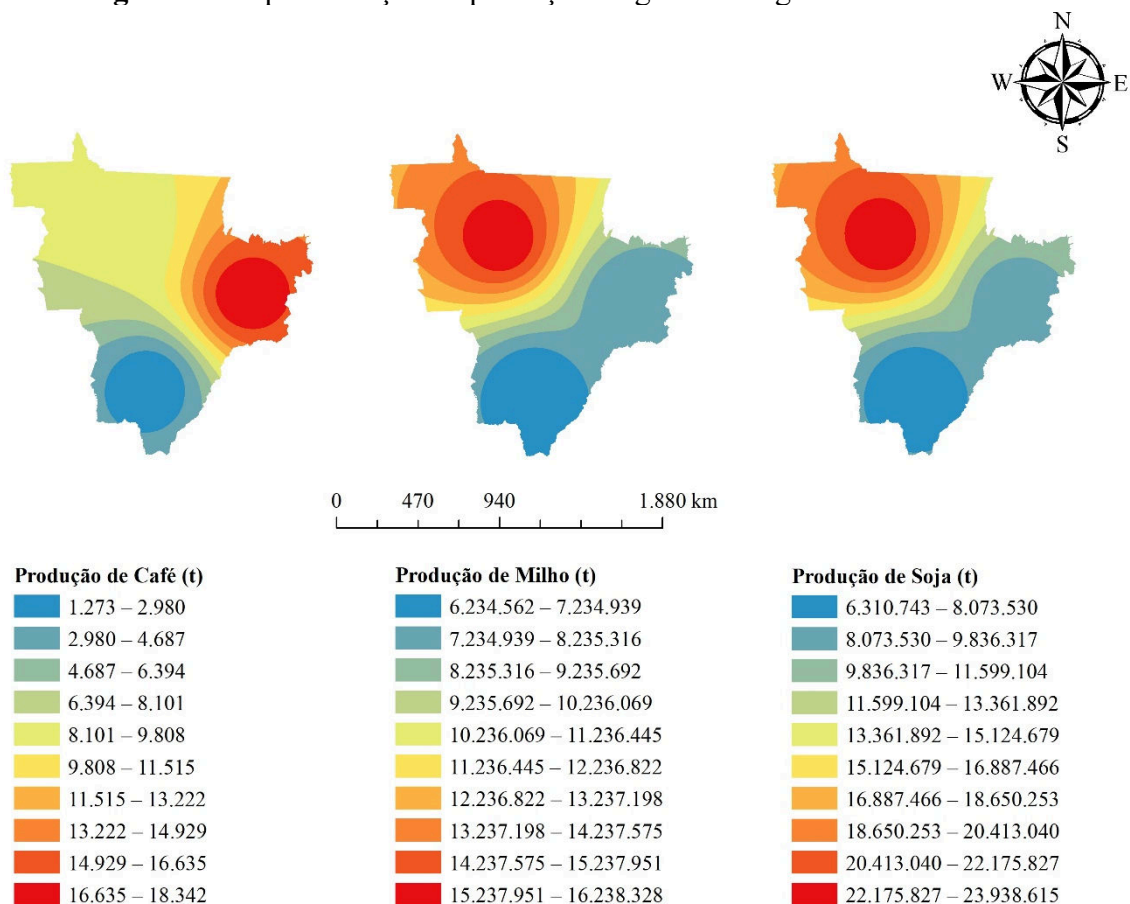
#### 4.1.1 Espacialização das produções médias por região

Com a utilização do *software* Qgis® 3.10, empregou-se a espacialização dos dados da Tabela 8, em cada uma das cinco regiões, de modo que as divisas estaduais fossem irrelevantes, para assim visualizar o comportamento de cada uma. Conforme a discrepância entre as produções de uma mesma cultura, os Estados podem ou não ser identificados nos mapas especializados.

A Figura 9 retrata uma grande similaridade no comportamento do cultivo de milho e soja, sendo praticamente iguais quando espacializados; ficando clara as diferenças pelo nível de produção apresentado na legenda. O Mato Grosso lidera na região nas culturas de milho e soja.

Ainda sobre a Figura 9, o comportamento muda completamente quando se especializa a cafeicultura, cabendo a Goiás a liderança absoluta na região, e deixando Mato Grosso como segunda maior produção regional.

**Figura 9** – Espacialização da produção de grãos na região Centro-Oeste

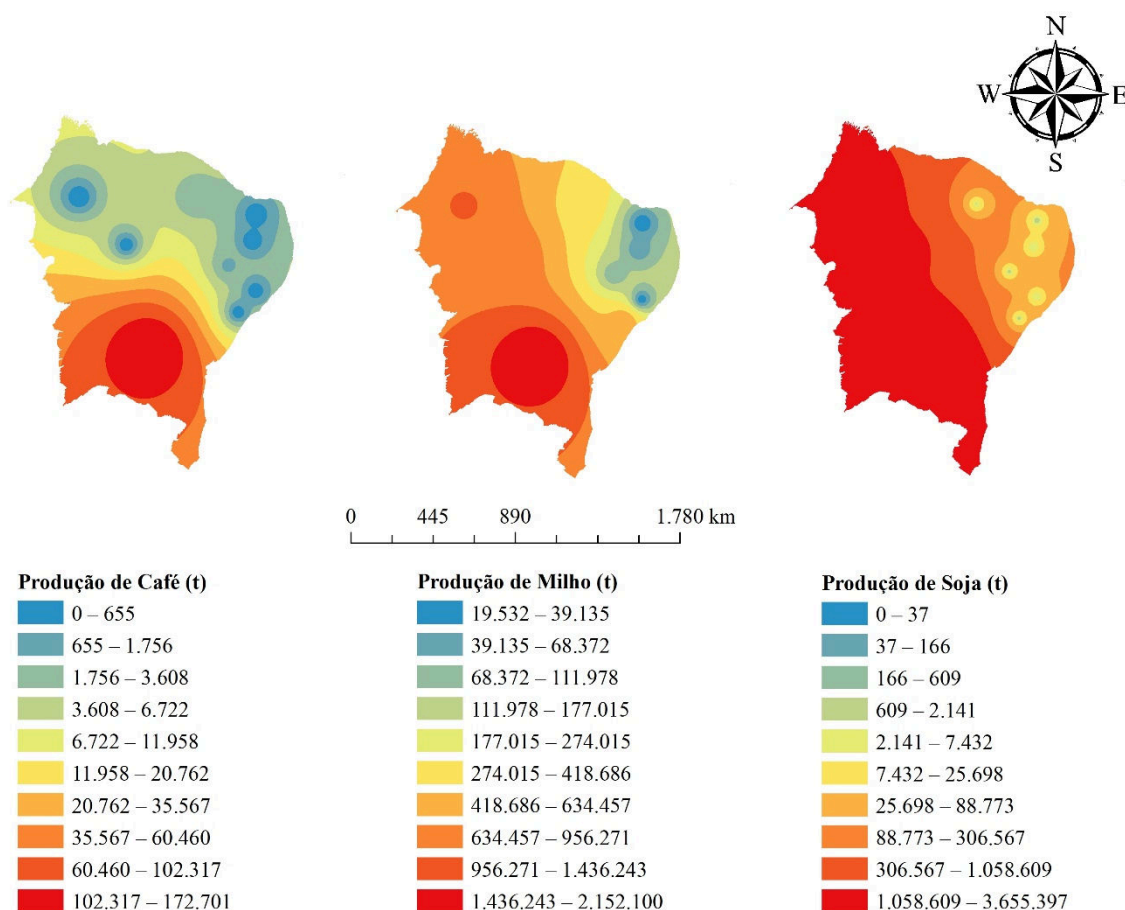


Fonte: O autor, 2019

Vê-se na Figura 10 que a cultura mais disseminada é o milho, que ocorre em todos os estados, com produção mínima no Rio Grande do Norte e máxima na Bahia; entretanto, a soja que não é cultivada em Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe, tem alto índice de produção na Bahia, Maranhão e Piauí (respectivamente os maiores produtores de soja da região).

Outro ponto que se percebe na Figura 10, é quanto à cafeicultura, o destaque cabe a Bahia, com produção muito superior ao que é produzido em conjunto pelos demais Estados produtores (Alagoas, Ceará e Pernambuco).

**Figura 10** – Espacialização da produção de grãos na região Nordeste

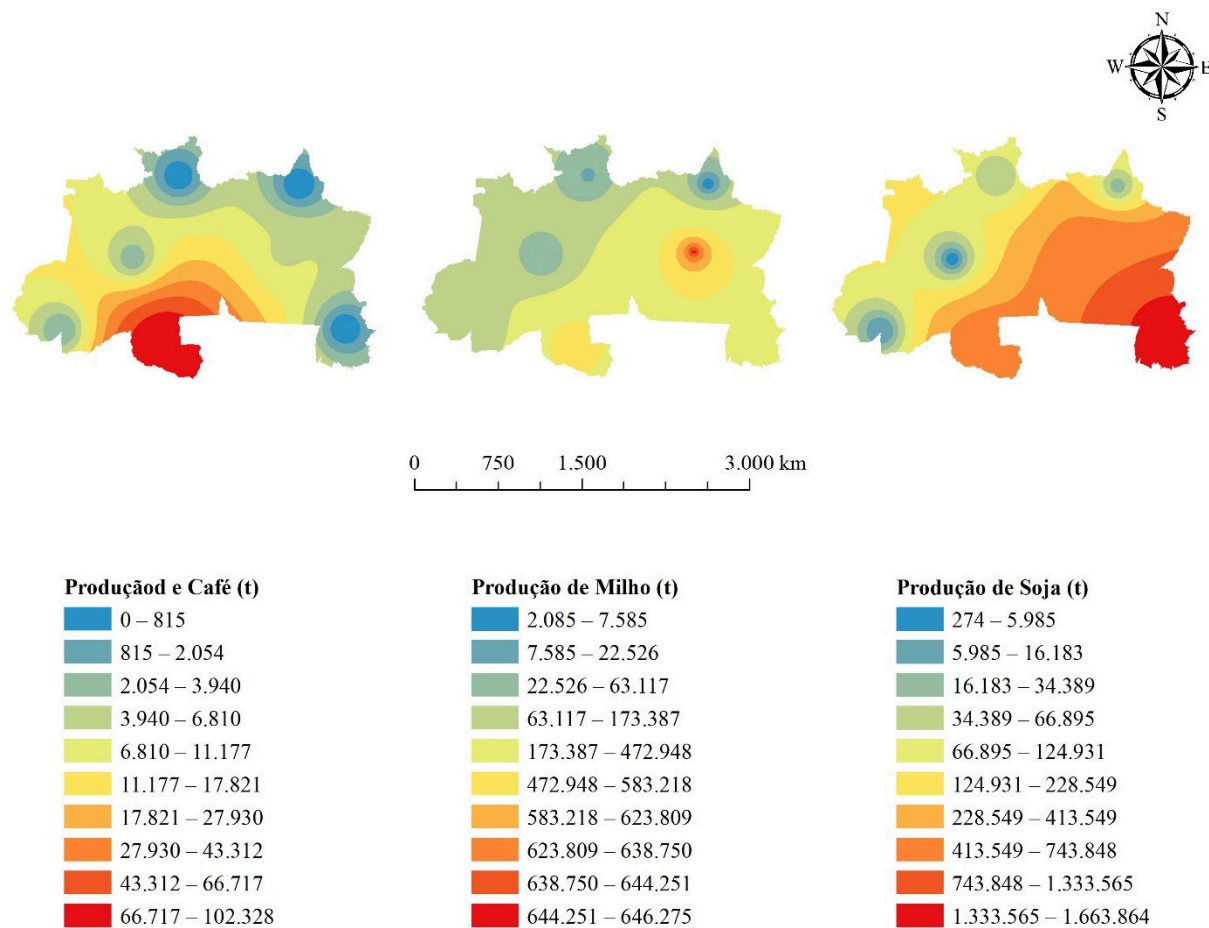


Fonte: O autor, 2019

Observa-se pela Figura 11, que o Pará lidera a produção de milho na região, ficando a sétima e última colocação com o Amapá. A soja é a cultura mais produzida na região, com maior marca no Tocantins e menores marcas com o Acre e Amazonas. Rondônia é o único estado onde a produção de soja e milho praticamente empatam. A região Norte tem sua maior

concentração em estados opostos quanto aos grãos de café e de soja; para os do milho apresenta comportamento oscilatório conforme os Estados.

**Figura 11** – Espacialização da produção de grãos na região Norte

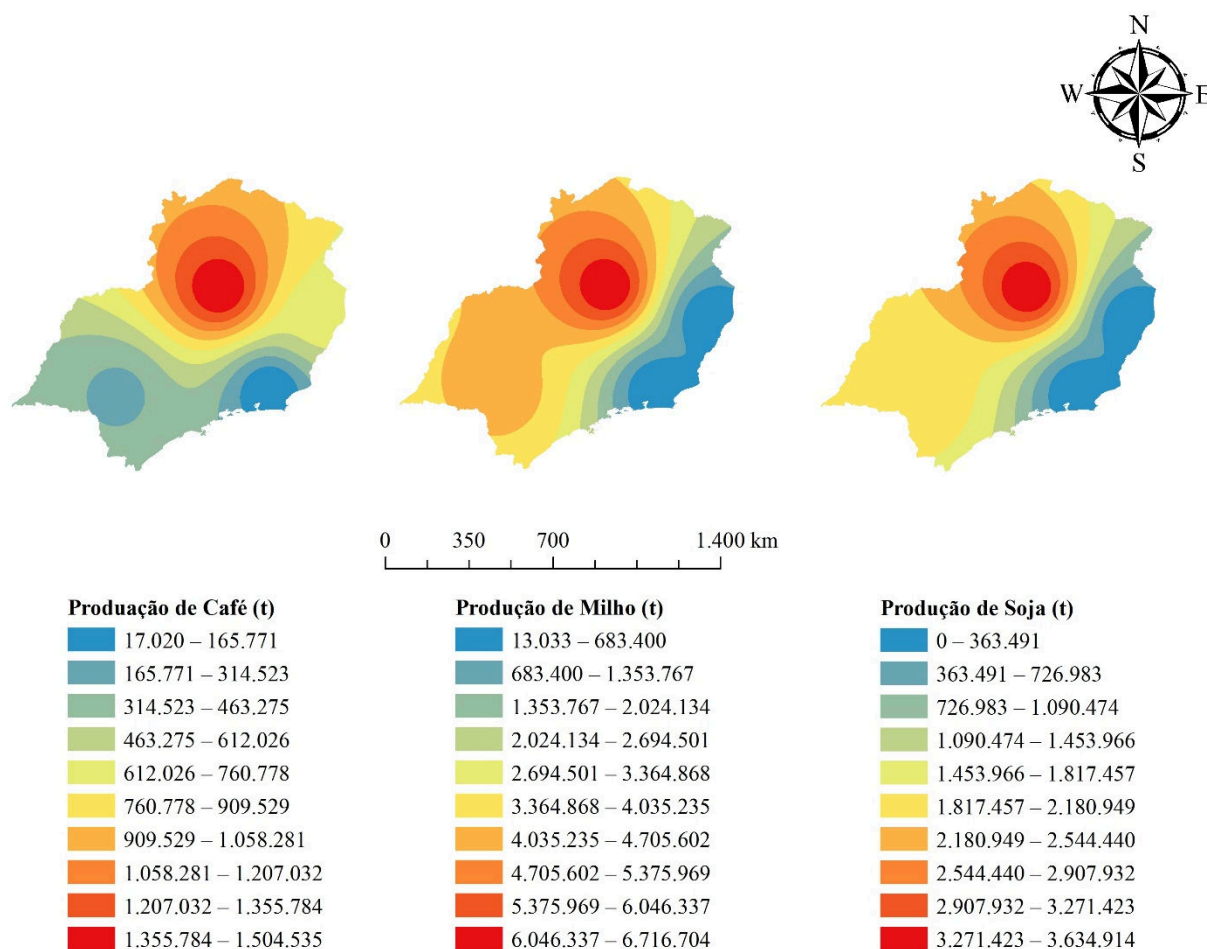


Fonte: O autor, 2019

Minas Gerais, conforme a Figura 12, destaca-se na quarta colocação quanto à produção de milho e a sétima para a soja, ocupando assim as melhores posições perante às produções nacionais na região sudeste. São Paulo, assim como Minas Gerais, produz todas as culturas, ficando em segundo lugar na região para soja e milho. Espírito Santo e o Rio de Janeiro não produziram soja no período deste estudo. O estado do Rio de Janeiro tem as menores produções, ficando assim sempre na última colocação regional.

Ainda pela Figura 12, diferencia-se apenas visualmente o milho da soja pela parcela referente a São Paulo, que aparece com tonalidade mais escura para o grão de milho; o café concentra-se na parte superior da região, e Minas Gerais possui o destaque em ambas culturas.

**Figura 12** – Espacialização da produção de grãos na região Sudeste



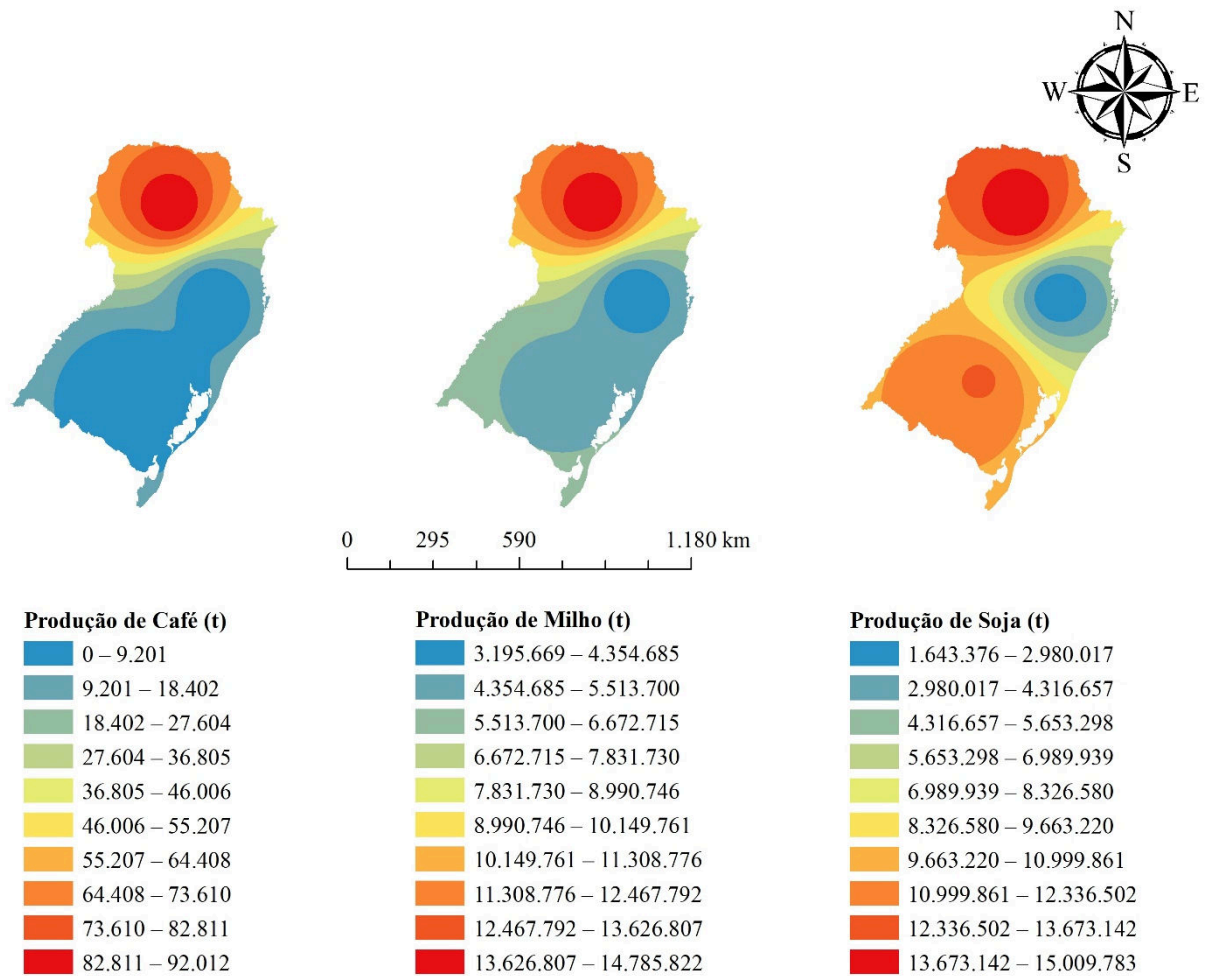
Fonte: O autor, 2019

Na Figura 13, o Paraná é líder regional em milho e soja e ocupa também, e nestas culturas, o segundo lugar nacional; é o único na região a produzir café. O Rio Grande do Sul, segundo lugar na região para soja, também ocupa o terceiro no cenário nacional e sexta posição nacional de milho. Santa Catarina, que fica na última posição na região, tem certo destaque a nível nacional, ficando em oitavo para o milho e 11º para soja.

Deste modo, o Sul, apesar de ser a menor das regiões, tem forte produção agrícola para Milho e Soja. No mapa da soja, chama a atenção que ao contrário de outros casos onde a densidade de produção extravasava a divisa estadual, aqui se concentra nos extremos da região, pois há grande queda oriunda de Santa Catarina. O mesmo fenômeno não se observa para o milho e principalmente para o café (Figura 13).



**Figura 13** – Espacialização da produção de grãos na região Sul



Fonte: O autor, 2019

## 4.2 Estimativas de potenciais energéticos por cultura

Das três culturas analisadas, o café e a soja têm valores muito próximos de PCU (poder calorífico útil) quando comparados ao milho. Já o café e o milho compartilham de mesmo fator de disponibilidade ( $F_D = 0,40$ ) enquanto a soja utiliza  $F_D = 0,30$ . Tomando que os processos de conversão tenham mesmas eficiências, uma mesma quantidade de produção irá remeter a valores distintos de potencial energético devido principalmente à quantidade de resíduos gerados em cada cultura, o fator de conversão ( $F_C$ ), fazendo com que o milho seja a cultura com maior potencial.

Isto pode ser evidenciado se tomada igual a mesma produção, e aplicar-se nas três culturas, adotando os coeficientes e as equações 1, 2 e 3; obtendo assim as equações 9, 10 e 11:

$$PEC = \frac{t * 1 * 3399,8 * 0,40 * 0,15}{8322 * 860} \rightarrow PEC = 28,502x10^{-6} * t \quad (9)$$

$$PEM = \frac{t * 2,2 * 3544,9 * 0,40 * 0,15}{8322 * 860} \rightarrow PEM = 65,381x10^{-6} * t \quad (10)$$

$$PES = \frac{t * 1,35 * 3393,7 * 0,30 * 0,15}{8322 * 860} \rightarrow PES = 28,807x10^{-6} * t \quad (11)$$

As equações 9, 10 e 11 mostram que caso os coeficientes se mantenham constantes e desconsiderando os valores de produção, a cultura que entregaria maior potencial bioenergético seria a do milho, seguido pela soja e café, respectivamente.

Observa-se a proximidade dos valores da soja e do café; isso ocorre pelo fato de a soja ter maior FC ainda que seu PCU e FD sejam menores. A liderança do milho deve-se a diferença de 145,1 kcal kg<sup>-1</sup> entre o PCU do milho e o do café; além disto, seu FC, que mais que dobra o seu potencial.

Assim como no caso da produção de café que supera o da soja no Ceará, Acre e Amazonas (dentre os com ambos cultivos), apenas nestes o potencial energético do café (PEC) ultrapassa o da soja (PES). O milho frente à soja perde no Amapá, Rio Grande do Sul e Tocantins. O café apenas supera o milho em potencial e produção no Espírito Santo, ainda que neste Estado não há produção registrada de soja no período apurado (Tabela 9).

**Tabela 9** – Valores médios de PEC, PEM e PES em cada Estado em MW ano<sup>-1</sup>

Região	Estado	PEC	PEM	PES
CO	Distrito Federal	0,03	25,45	5,56
	Goiás	0,52	474,05	252,02
	Mato Grosso	0,23	1.061,68	689,59
	Mato Grosso do Sul	0,04	407,62	181,79
NE	Alagoas	0,00	1,55	0,02
	Bahia	4,92	140,71	105,30
	Ceará	0,06	24,10	0,03
	Maranhão	0,00	64,45	49,47
	Paraíba	0,00	2,74	0,00
	Pernambuco	0,04	4,81	0,00
	Piauí	0,00	52,24	37,11
	Rio Grande do Norte	0,00	1,28	0,00
N	Sergipe	0,00	34,83	0,00
	Acre	0,05	5,67	0,01
	Amapá	0,00	0,14	0,61
	Amazonas	0,07	1,54	0,01
	Pará	0,18	42,25	21,43
	Rondônia	2,92	35,46	17,17
	Roraima	0,00	1,26	1,05
SE	Tocantins	0,00	30,17	47,93
	Espírito Santo	18,94	4,07	0,00
	Minas Gerais	42,88	439,14	104,71
	Rio de Janeiro	0,49	0,85	0,00
S	São Paulo	7,80	282,71	58,87
	Paraná	2,62	966,71	432,38
	Rio Grande do Sul	0,00	331,06	360,97
	Santa Catarina	0,00	208,94	47,34
	Média de produção	3,0	172,1	89,4

Fonte: O autor, 2019

### 4.3 Estimativas de potencial energético estadual e regional

A importância do PEN (potencial energético total) remete ao fato que conhecer o potencial, isto é, a capacidade da localidade em gerar bioenergia, como mostrado, alia-se ao potencial produtivo. Como há outras possibilidades de destinação dos resíduos agrícolas, conhecer e mapear as características estaduais e regionais abrem caminho para análise do melhor uso para os mesmos.

Conforme a Tabela 10, avaliando-se o Centro-Oeste inicialmente, vê-se que a região só superou a média das médias; parâmetro adotado neste estudo como critério de evolução local do potencial bioenergético, sendo este, então, individual e variável com o tempo, porém em igual período também indicaria a presença de efeitos climáticos que tivessem afetado os cultivos. No caso do Centro-Oeste, o valor é de 775 MW ano<sup>-1</sup> a partir de 2013 em que supera, porém com valor próximo em 2012, e após superar esse valor, apenas em 2016 que caiu abaixo

de 775 MW ano<sup>-1</sup>, seu potencial foi crescente ao longo dos anos, com exceção de 2009, 2016 e 2018. Em 2009, apenas Mato Grosso não teve decréscimo no potencial em relação a 2008; porém nos demais anos de baixa, o mesmo também sofreu com a redução. Ainda sobre Mato Grosso, o estado respondeu em 2018 por 60,4% de todo o PEN na região, e ao longo do período analisado, sempre foi líder isolado, ficando Goiás em segundo lugar, Mato Grosso do Sul em terceiro e o Distrito Federal em último. No Centro-Oeste, devido à discrepância dos demais estados com Mato Grosso, o desvio padrão das médias de produção no período (717,0 MW ano<sup>-1</sup>) se aproxima ao valor da média das médias. Mato Grosso no período de 10 anos teve expansão do potencial em 39%, quando comparando os anos extremos deste estudo, em linhas gerais, a região mostrou-se uniforme na expansão do PEN.

**Tabela 10** – Valores de PEN da região Centro-Oeste em MW ano<sup>-1</sup>

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>	DP <sub>E</sub>
DF	26	23	21	23	31	32	50	40	26	37	33	31	9
GO	524	522	515	598	781	760	852	870	675	982	913	727	169
MT	1.023	1.053	1.075	1.107	1.652	1.995	1.945	2.199	1.760	2.836	2.622	1.752	643
MS	372	259	401	384	556	662	722	847	607	904	770	589	214
Total Reg.	1.945	1.857	2.013	2.111	3.020	3.448	3.569	3.955	3.068	4.759	4.338	NA	NA
M <sub>Reg.</sub>	486	464	503	528	755	862	892	989	767	1.190	1.085	775	NA
DP <sub>Reg.</sub>	414	442	436	453	676	821	785	894	723	1.178	1.095	717	NA

Fonte: O autor, 2019.

A Tabela 11 mostra que diferentemente do Centro-Oeste, o Nordeste não denotou uniformidade no PEN, 2016 novamente volta como destaque como baixa. Ressalta-se que conforme a Agência Nacional de Águas (2017), esse ano foi o mais crítico em impactos para a população, devido a fenômenos climáticos terem provocado uma escassez hídrica que afetou 84% dos nordestinos.

O recorde de PEN regional fica com a Bahia em 2018 com 337,0 MW ano<sup>-1</sup>, e a pior marca fica com Alagoas em 2012 com 0,1 MW ano<sup>-1</sup>, estado este que, apesar da mínima regional, supera Rio Grande do Norte, que fica com última colocação na região. A média regional só ultrapassa a média das médias em 2014, com certa proximidade em 2013, porém não mantém constância em seus valores, ainda que desconsiderado o declínio de 2016 (Tabela 11).

**Tabela 11** – Valores de PEN da região Nordeste em MW ano<sup>-1</sup>

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>	DP <sub>E</sub>
AL	3,4	2,8	1,5	2,2	<b>0,1</b>	0,6	0,7	1,0	0,9	2,2	1,7	1,6	1,0
BA	207,0	216,0	239,4	239,6	219,7	222,1	289,1	311,3	201,0	278,0	337,0	250,9	45,8
CE	49,4	35,4	11,6	59,9	8,2	7,4	22,8	8,6	7,5	24,4	30,8	24,2	18,2
MA	67,7	69,2	73,1	87,5	98,5	132,0	153,4	151,9	80,4	173,8	165,6	113,9	41,8
PB	7,8	6,6	0,8	4,1	0,4	1,8	1,9	0,7	0,8	1,7	3,6	2,7	2,5
PE	11,7	12,7	4,6	8,2	1,5	1,6	3,5	1,7	0,9	3,0	4,0	4,9	4,2
PI	44,6	54,9	47,4	77,3	86,1	58,2	110,7	123,1	57,8	152,3	170,4	89,3	43,8
RN	3,5	2,8	0,5	3,1	0,2	0,8	0,9	0,3	0,2	0,3	1,6	1,3	1,3
SE	38,2	46,0	49,1	31,4	19,0	45,8	49,9	32,4	9,2	55,2	7,0	34,8	16,7
Total Reg.	433,4	446,3	428,1	513,4	433,6	470,3	632,8	631,0	358,8	690,9	721,6	NA	NA
M <sub>Reg</sub>	48,2	49,6	47,6	57,0	48,2	52,3	70,3	70,1	39,9	76,8	80,2	58,2	NA
DP <sub>Reg</sub>	63,9	67,0	76,7	76,2	74,9	77,2	98,7	107,2	67,1	100,8	118,9	83,1	NA

Fonte: O autor, 2019

Na região Norte (Tabela 12), chama atenção que, enquanto ao comportamento crescente na mesorregião, o Amazonas mostra claro declínio de 2013 em diante, fato que pode estar correlacionado ao Plano Amazônia Sustentável – PAS, implementado em 2008. O PAS apoia diretrizes que enfoquem no desenvolvimento sustentável da Amazônia, englobando, dentre outras vertentes, a valorização ecológica junto à redução das desigualdades regionais. O Acre esboça seguir este mesmo comportamento, entretanto, ainda não igualou/superou seu pico inferior, registrado em 2009 (3,8 MW ano<sup>-1</sup>), além disso, o valor de 2018 praticamente iguala-se aos de 2010 e 2011 que antecederam aumento e o pico estadual de 8,2 MW ano<sup>-1</sup> (2013), e também, os valores registrados estão acima da média estadual. Nos demais estados da região, nota-se homogeneidade na expansão, sendo 2013 o último ano no período abaixo da média das médias. Ao analisar em escala regional, vê-se crescimento não cíclico ou definido, com maior baixa em 2016, forte recuperação e ascensão em 2017, seguida por ligeira baixa em 2018.

**Tabela 12** – Valores de PEN da região Norte em MW ano<sup>-1</sup>

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>	DP <sub>E</sub>
AC	4,0	3,8	5,3	5,4	6,4	8,2	7,0	6,2	5,4	5,9	5,4	5,7	1,2
AP	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	1,3	1,0	1,3	1,7	1,6	0,7	0,6
AM	2,1	2,1	2,4	2,4	2,5	1,9	1,4	1,2	0,7	0,6	0,5	1,6	0,8
PA	46,9	42,4	41,3	44,8	50,6	54,9	59,9	79,2	79,6	104,0	98,9	63,9	22,8
RO	32,2	37,0	39,1	36,8	50,9	48,0	55,5	75,4	63,9	91,4	80,8	55,5	19,9
RR	1,5	0,9	0,9	1,1	1,2	2,2	2,0	2,6	3,1	4,0	6,0	2,3	1,6
TO	40,8	41,6	47,0	54,8	61,0	67,8	89,9	111,5	90,1	124,5	130,0	78,1	33,0
Total Reg.	127,6	128,0	136,3	145,5	172,7	183,4	217,0	277,1	244,1	332,1	323,2	NA	NA
M <sub>Reg</sub>	18,2	18,3	19,5	20,8	24,7	26,2	31,0	39,6	34,9	47,4	46,2	29,7	NA
DP <sub>Reg</sub>	20,8	20,7	21,7	23,7	27,9	29,4	36,7	47,4	41,0	56,2	55,3	34,5	NA

Fonte: O autor, 2019

O Sudeste registra, conforme Tabela 13, que o Rio de Janeiro apresentou declínio a partir de 2012, o qual indica uma estabilização nos anos finais do período apurado quando enfim passa abaixo da média estadual, 1,3 MW ano<sup>-1</sup>, que é a menor na região. A média das médias apresenta um valor de 240,1 MW ano<sup>-1</sup>, e Minas Gerais gera um PEN 144,36% superior a este valor médio, tendo a liderança com vantagem de 67,94% frente a São Paulo, segunda colocada, ficando então Espírito Santo em terceiro.

Ainda conforme a Tabela 13, Minas Gerais não apresenta comportamento regular de PEN, isto é denotado pelo estado possuir menor razão entre o desvio padrão estadual (DP<sub>E</sub>) e a média estadual (M<sub>E</sub>), garantindo a ocorrência de pequena variância no seu montante. Nesta mesma abordagem, São Paulo e Espírito Santo alcançariam valores muito próximo, porém com ligeira vantagem ao estado do Espírito Santo.

O ano de 2012 marca a superação regional da média das médias distinguir-se das outras mesorregiões, com exceção do Sul, pelo fato de o ano anterior não estar próximo ao valor de referência, destaca-se ainda que a região foi a primeira das cinco a ultrapassar sua própria média no período apurado. O ano de 2016, que registra baixa em todas as regiões citadas e no Sul, teve no Sudeste o menor declínio, com aproximadamente 1,12% de redução em comparação com 2015 (Tabela 13).

**Tabela 13** – Valores de PEN da região Sudeste em MW ano<sup>-1</sup>

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>	DP <sub>E</sub>
ES	23,8	24,0	21,9	25,6	27,1	24,1	25,9	19,6	17,2	18,2	25,9	23,0	3,4
MG	546,5	540,7	524,6	550,1	632,6	629,8	590,8	587,0	571,1	636,2	644,6	586,7	43,5
RJ	1,7	1,7	1,6	1,6	1,4	1,4	1,2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,3	0,3
SP	355,0	284,1	311,9	263,3	345,8	349,2	318,0	383,1	390,4	440,9	401,5	349,4	52,9
Total Reg.	927,1	850,5	860,0	840,6	1.006,9	1.004,5	935,8	990,7	979,7	1.096,3	1.073,0	NA	NA
M <sub>Reg</sub>	231,8	212,6	215,0	210,2	251,7	251,1	234,0	247,7	244,9	274,1	268,3	240,1	NA
DP <sub>Reg</sub>	264,8	253,5	250,4	255,6	298,3	298,3	278,0	286,6	282,2	315,7	310,7	280,6	NA

Fonte: O autor, 2019

Na região Sul (Tabela 14), assim como na Sudeste, o ano anterior, a superação da média das médias, registrou um decréscimo em relação à série que se observava até então. Nesta região, apenas em 2013, que ocorreu essa superação cravando 77 MW ano<sup>-1</sup> acima dos 783,3 MW ano<sup>-1</sup>, o Rio Grande do Sul foi o maior envolvido com expansão de 48% (344,3 MW ano<sup>-1</sup>) em relação a 2015, Santa Catarina e Paraná obtiveram aumento, respectivamente, de 17% e 15% em seus valores de PEN. O líder regional é o Paraná, cuja média é mais que o dobro do Rio Grande do Sul (segundo colocado) e quase 5,5 vezes maior que Santa Catarina. Quanto ao

valor das médias das médias, a região Sul é a que se apresenta com o maior valor, 783,3 MW ano<sup>-1</sup>, com vantagem de 8,7 MW ano<sup>-1</sup> frente ao Centro-Oeste (775 MW ano<sup>-1</sup>).

**Tabela 14** – Valores de PEN da região Sul em MW ano<sup>-1</sup>

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>	DP <sub>E</sub>
PR	1.365	1.010	1.297	1.264	1.400	1.596	1.465	1.530	1.406	1.701	1.384	1.402	182,5
RS	563,3	504,9	670,2	715,0	377,5	721,8	728,1	816,0	776,2	936,1	803,2	692,0	157,5
SC	294,6	240,8	278,6	281,7	218,8	263,2	254,0	258,8	227,1	267,3	234,3	256,3	24,0
Total Reg.	2.223	1.756	2.246	2.261	1.997	2.581	2.447	2.605	2.409	2.905	2.422	NA	NA
M <sub>Reg</sub>	741,0	585,2	748,6	753,5	665,6	860,3	815,7	868,3	803,0	968,3	807,2	783,3	NA
DP <sub>Reg</sub>	557,0	390,8	513,7	492,2	641,4	677,0	610,3	637,3	589,8	717,6	574,9	578,2	NA

Fonte: O autor, 2019

Pela Tabela 15, que apresenta os totais regionais por ano ao longo do período apurado, é possível observar que em 2009 o país teve seu menor PEN e o maior em 2017. Como esperado, devido aos apontamentos regionais, 2016 foi um ano de declínio após seis anos de expansão, ainda que com anos de maior intensidade que outros, como exposto, pode correlacionar-se a escassez hídrica naquele ano. Se analisado o biênio 2015-2016, quanto a média nacional, ou mesmo pelo total nacional, vê-se que 2016 em relação a 2015 teve baixa de 19,8% (280 MW ano<sup>-1</sup>), a maior registrada neste estudo na esfera nacional, 2009 e 2018 registraram, respectivamente, redução de 12,3% (124 MW ano<sup>-1</sup>) e 10,2% (181 MW ano<sup>-1</sup>) quando comparados aos anos anteriores. Apenas em 2013 o Brasil superou a sua média das médias. Esse resultado foi estimulado pelo aumento da região Sul em 22,6% (584 MW ano<sup>-1</sup>), Centro-Oeste com 12,4% (427,8 MW ano<sup>-1</sup>), Nordeste com 7,8% (36,7 MW ano<sup>-1</sup>) e Norte com 5,8% (10,6 MW ano<sup>-1</sup>); a região Sudeste recuou em 0,2% (2,4 MW ano<sup>-1</sup>), todos quando comparados com 2015. Tanto no ano de 2013 quanto nas médias regionais, o sudeste é o terceiro em PEN, Centro-Oeste e Sul estão em primeiro e segundo lugar, ficando Nordeste e Norte nas últimas posições, respectivamente.

**Tabela 15** – Valores de PEN em escala Nacional (MW ano<sup>-1</sup>)

Região	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>R</sub>	DP <sub>R</sub>
CO	1.945	1.857	2.013	2.111	3.020	3.448	3.569	3.955	3.068	4.759	4.338	3.099	1.020
NE	433	446	428	513	434	470	633	631	359	691	722	524	123
N	128	128	136	145	173	183	217	277	244	332	323	208	77
SE	927	850	860	841	1.007	1.004	936	991	980	1.096	1.073	960	86
S	2.223	1.756	2.246	2.261	1.997	2.581	2.447	2.605	2.409	2.905	2.422	2.350	309
T <sub>NA</sub>	5.656	5.038	5.683	5.871	6.630	7.687	7.802	8.459	7.060	9.783	8.877	NA	NA
M <sub>N</sub>	1.131	1.008	1.137	1.174	1.326	1.537	1.560	1.692	1.412	1.957	1.775	1.428	NA
DP <sub>NA</sub>	921	774	946	957	1.178	1.414	1.403	1.547	1.265	1.853	1.635	1.242	NA

Fonte: O autor, 2019

#### 4.4 Estimativa da energia equivalente regional e nacional

Os valores de energia equivalente (EEQ) refletem os comportamentos vistos nos valores de PEN, pois, ao se observar a Equação 4, nota-se a presença da variável número de anos apurados (t), e neste estudo, por tratar ano a ano ao longo do período (2008-2018), passa a valer um (1,0), tornando-se assim irrelevante quando se analisa o comportamento da EEQ, porém essencial para quantificá-la (Tabela 16).

**Tabela 16** – Energia elétrica equivalente (EEQ) ao longo do período em cada Estado em GWh ano<sup>-1</sup>

Região e Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
CO	DF	225	202	186	198	276	280	437	348	227	325	289
	GO	4.593	4.576	4.514	5.239	6.838	6.656	7.464	7.624	5.913	8.599	7.998
	MT	8.962	9.221	9.420	9.698	14.475	17.473	17.039	19.260	15.418	24.842	22.968
	MS	3.259	2.271	3.515	3.360	4.869	5.797	6.326	7.415	5.318	7.922	6.747
	<i>Total Reg.</i>	<i>17.039</i>	<i>16.269</i>	<i>17.635</i>	<i>18.494</i>	<i>26.458</i>	<i>30.205</i>	<i>31.265</i>	<i>34.648</i>	<i>26.876</i>	<i>41.688</i>	<i>38.002</i>
<i>M<sub>Reg.</sub></i>	<i>4.260</i>	<i>4.067</i>	<i>4.409</i>	<i>4.624</i>	<i>6.614</i>	<i>7.551</i>	<i>7.816</i>	<i>8.662</i>	<i>6.719</i>	<i>10.422</i>	<i>9.500</i>	
NE	AL	30	24	13	19	1	5	6	9	8	20	15
	BA	1.813	1.892	2.097	2.099	1.925	1.946	2.532	2.727	1.761	2.435	2.952
	CE	433	310	102	525	72	65	200	75	66	214	269
	MA	593	606	641	767	863	1.156	1.344	1.330	705	1.523	1.451
	PB	68	58	7	36	4	16	16	6	7	15	31
	PE	103	111	40	72	13	14	31	15	8	26	35
	PI	391	481	415	677	754	510	969	1.078	507	1.334	1.493
	RN	31	24	5	27	1	7	8	2	2	2	14
	SE	335	403	430	275	166	401	437	284	81	483	61
<i>Total Reg.</i>	<i>3.797</i>	<i>3.910</i>	<i>3.750</i>	<i>4.497</i>	<i>3.799</i>	<i>4.120</i>	<i>5.543</i>	<i>5.528</i>	<i>3.143</i>	<i>6.052</i>	<i>6.321</i>	
<i>M<sub>Reg.</sub></i>	<i>422</i>	<i>434</i>	<i>417</i>	<i>500</i>	<i>422</i>	<i>458</i>	<i>616</i>	<i>614</i>	<i>349</i>	<i>672</i>	<i>702</i>	
N	AC	35	33	47	47	56	72	61	55	48	52	47
	AP	1	2	2	1	1	4	11	8	12	15	14
	AM	18	18	21	21	22	16	12	10	6	5	5
	PA	411	371	362	393	443	481	525	693	698	911	867
	RO	282	324	342	323	446	420	487	661	559	801	707
	RR	13	8	8	9	10	19	17	23	27	35	52
	TO	358	364	412	480	535	594	787	977	790	1.090	1.139
	<i>Total Reg.</i>	<i>1.118</i>	<i>1.121</i>	<i>1.194</i>	<i>1.274</i>	<i>1.513</i>	<i>1.606</i>	<i>1.901</i>	<i>2.427</i>	<i>2.138</i>	<i>2.909</i>	<i>2.831</i>
<i>M<sub>Reg.</sub></i>	<i>160</i>	<i>160</i>	<i>171</i>	<i>182</i>	<i>216</i>	<i>229</i>	<i>272</i>	<i>347</i>	<i>305</i>	<i>416</i>	<i>404</i>	
SE	ES	209	210	192	224	237	211	227	172	150	159	227
	MG	4.788	4.737	4.596	4.819	5.541	5.517	5.175	5.142	5.003	5.573	5.647
	RJ	15	15	14	14	13	12	11	8	9	9	9
	SP	3.110	2.489	2.732	2.306	3.029	3.059	2.785	3.356	3.420	3.862	3.517
<i>Total Reg.</i>	<i>8.121</i>	<i>7.450</i>	<i>7.533</i>	<i>7.364</i>	<i>8.820</i>	<i>8.799</i>	<i>8.198</i>	<i>8.679</i>	<i>8.582</i>	<i>9.604</i>	<i>9.400</i>	
<i>M<sub>Reg.</sub></i>	<i>2.030</i>	<i>1.863</i>	<i>1.883</i>	<i>1.841</i>	<i>2.205</i>	<i>2.200</i>	<i>2.049</i>	<i>2.170</i>	<i>2.146</i>	<i>2.401</i>	<i>2.350</i>	
S	PR	11.959	8.847	11.361	11.072	12.268	13.979	12.835	13.404	12.314	14.905	12.125
	RS	4.935	4.423	5.871	6.263	3.307	6.323	6.378	7.148	6.800	8.200	7.036
	SC	2.581	2.109	2.441	2.468	1.916	2.305	2.225	2.267	1.989	2.341	2.053
	<i>Total Reg.</i>	<i>19.475</i>	<i>15.379</i>	<i>19.673</i>	<i>19.803</i>	<i>17.492</i>	<i>22.608</i>	<i>21.438</i>	<i>22.819</i>	<i>21.103</i>	<i>25.446</i>	<i>21.213</i>
<i>M<sub>Reg.</sub></i>	<i>6.492</i>	<i>5.126</i>	<i>6.558</i>	<i>6.601</i>	<i>5.831</i>	<i>7.536</i>	<i>7.146</i>	<i>7.606</i>	<i>7.034</i>	<i>8.482</i>	<i>7.071</i>	

Fonte: O autor, 2019



A EEQ nacional seguiu como nos outros casos o mesmo descrito pelo PEN. O pico de produção dar-se-ia no ano 2017 caso todo o potencial fosse utilizado e convertido, gerando então 85.700 GWh<sup>-1</sup> (Tabela 17) equivalente a 7.368.845 tep, valor esse que ao ser comparado com a Tabela 1, no mesmo ano (que para o período apresentado, também é o ápice de produção), representaria acréscimo de 2,38% no total de energia gerada no país.

**Tabela 17 – EEQ Nacional em GWh ano<sup>-1</sup>**

Região	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	MR	DP <sub>R</sub>
CO	17.039	16.269	17.635	18.494	26.458	30.205	31.265	34.648	26.876	41.688	38.002	27.144	8.934
NE	3.797	3.910	3.750	4.497	3.799	4.120	5.543	5.528	3.143	6.052	6.321	4.587	1.080
N	1.118	1.121	1.194	1.274	1.513	1.606	1.901	2.427	2.138	2.909	2.831	1.821	670
SE	8.121	7.450	7.533	7.364	8.820	8.799	8.198	8.679	8.582	9.604	9.400	8.414	757
S	19.475	15.379	19.673	19.803	17.492	22.608	21.438	22.819	21.103	25.446	21.213	20.586	2.710
T <sub>NA</sub>	49.550	44.129	49.786	51.432	58.081	67.339	68.345	74.101	61.843	85.700	77.766	NA	NA
M <sub>N</sub>	9.910	8.826	9.957	10.286	11.616	13.468	13.669	14.820	12.369	17.140	15.553	12.510	NA
DP <sub>NA</sub>	8.065	6.778	8.285	8.385	10.318	12.385	12.293	13.553	11.078	16.232	14.326	10.876	NA

Fonte: O autor, 2019

#### 4.5 Estimativa do número de residências equivalentes regional e nacional

Assim como ocorre com a relação da distribuição da EEQ e PEN, a Tabela 18 quantidade de residências equivalente (REQ) segue a mesma tendência, isto é, onde ocorre maior oferta de energia, ocorre maior número de residências que poderiam ser atendidas, logo, o PEN e as REQ estão diretamente associadas. A mesma caracterização do PEN regional e nacional serve como base novamente.

O número médio de casas no Brasil a serem subsidiadas, isto é, abastecidas pela EEQ, é de 6.950.226 unidades, valor que se enquadra na descrição adotada neste estudo como média das médias (Tabela 19). Devido ao já observado pelo PEN e EEQ, o Brasil só superou a média das médias em 2013, equivalendo à expansão perante ao ano anterior de 1.028.592 residências.

**Tabela 18** – Número de residências equivalentes (REQ) ao longo do período em cada Estado em ordem de 10<sup>3</sup>

Região e Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
CO	DF	125,1	112,0	103,3	109,9	153,2	155,3	242,5	193,6	126,0	180,6	160,5
	GO	2.551,8	2.542,0	2.508,0	2.910,3	3.798,9	3.697,7	4.146,9	4.235,8	3.284,9	4.777,1	4.443,4
	MT	4.978,7	5.122,7	5.233,4	5.387,6	8.041,5	9.707,2	9.466,0	10.699,8	8.565,6	13.801,3	12.760,0
	MS	1.810,7	1.261,5	1.952,6	1.866,9	2.705,2	3.220,4	3.514,4	4.119,6	2.954,7	4.401,2	3.748,1
	<i>Total Reg.</i>	<i>9.466</i>	<i>9.038</i>	<i>9.797</i>	<i>10.275</i>	<i>14.699</i>	<i>16.781</i>	<i>17.370</i>	<i>19.249</i>	<i>14.931</i>	<i>23.160</i>	<i>21.112</i>
<i>MReg.</i>	<i>2.367</i>	<i>2.260</i>	<i>2.449</i>	<i>2.569</i>	<i>3.675</i>	<i>4.195</i>	<i>4.342</i>	<i>4.812</i>	<i>3.733</i>	<i>5.790</i>	<i>5.278</i>	
NE	AL	16,7	13,5	7,5	10,6	0,5	2,8	3,6	5,1	4,3	10,8	8,3
	BA	1.007,3	1.051,2	1.165,1	1.166,3	1.069,2	1.081,0	1.406,9	1.515,0	978,2	1.352,9	1.639,9
	CE	240,3	172,4	56,6	291,7	39,8	36,0	110,9	41,9	36,6	118,9	149,7
	MA	329,7	336,6	355,9	425,9	479,2	642,3	746,6	739,1	391,5	845,9	806,0
	PB	37,9	32,2	3,7	19,9	2,1	8,7	9,0	3,5	4,0	8,3	17,4
	PE	57,2	61,7	22,4	39,8	7,2	7,7	17,0	8,4	4,3	14,6	19,4
	PI	217,1	267,3	230,7	376,0	419,0	283,4	538,6	599,0	281,5	741,2	829,3
	RN	17,1	13,5	2,6	15,2	0,8	3,8	4,2	1,3	0,9	1,3	7,6
	SE	186,1	223,8	238,9	152,9	92,5	223,0	242,6	157,7	44,9	268,5	34,0
	<i>Total Reg.</i>	<i>2.109</i>	<i>2.172</i>	<i>2.083</i>	<i>2.498</i>	<i>2.110</i>	<i>2.289</i>	<i>3.079</i>	<i>3.071</i>	<i>1.746</i>	<i>3.362</i>	<i>3.512</i>
<i>MReg.</i>	<i>234</i>	<i>241</i>	<i>231</i>	<i>278</i>	<i>234</i>	<i>254</i>	<i>342</i>	<i>341</i>	<i>194</i>	<i>374</i>	<i>390</i>	
N	AC	19,7	18,4	26,0	26,3	31,0	39,8	33,8	30,4	26,5	28,8	26,1
	AP	0,8	0,9	1,0	0,8	0,7	2,4	6,3	4,6	6,4	8,1	7,9
	AM	10,2	10,2	11,7	11,9	12,1	9,1	6,9	5,6	3,2	2,9	2,6
	PA	228,2	206,4	201,0	218,1	246,2	267,0	291,6	385,2	387,5	506,3	481,4
	RO	156,5	180,1	190,1	179,2	247,9	233,4	270,3	367,1	310,7	444,8	393,1
	RR	7,2	4,6	4,6	5,2	5,7	10,5	9,6	12,8	14,9	19,5	29,0
	TO	198,6	202,4	228,9	266,7	297,0	330,0	437,4	542,6	438,7	605,8	632,7
	<i>Total Reg.</i>	<i>621</i>	<i>623</i>	<i>663</i>	<i>708</i>	<i>841</i>	<i>892</i>	<i>1.056</i>	<i>1.348</i>	<i>1.188</i>	<i>1.616</i>	<i>1.573</i>
<i>MReg.</i>	<i>89</i>	<i>89</i>	<i>95</i>	<i>101</i>	<i>120</i>	<i>127</i>	<i>151</i>	<i>193</i>	<i>170</i>	<i>231</i>	<i>225</i>	
SE	ES	115,9	116,9	106,4	124,5	131,7	117,4	126,0	95,4	83,5	88,5	126,0
	MG	2.659,8	2.631,4	2.553,3	2.677,3	3.078,5	3.065,2	2.875,1	2.856,9	2.779,3	3.096,0	3.137,2
	RJ	8,5	8,3	7,7	8,0	7,0	6,6	5,9	4,6	5,0	5,1	4,9
	SP	1.727,7	1.382,6	1.517,9	1.281,3	1.682,9	1.699,3	1.547,4	1.864,6	1.900,1	2.145,8	1.953,8
<i>Total Reg.</i>	<i>4.512</i>	<i>4.139</i>	<i>4.185</i>	<i>4.091</i>	<i>4.900</i>	<i>4.889</i>	<i>4.554</i>	<i>4.822</i>	<i>4.768</i>	<i>5.335</i>	<i>5.222</i>	
<i>MReg.</i>	<i>1.128</i>	<i>1.035</i>	<i>1.046</i>	<i>1.023</i>	<i>1.225</i>	<i>1.222</i>	<i>1.139</i>	<i>1.205</i>	<i>1.192</i>	<i>1.334</i>	<i>1.305</i>	
S	PR	6.644	4.915	6.312	6.151	6.816	7.766	7.131	7.447	6.841	8.280	6.736
	RS	2.741	2.457	3.262	3.479	1.837	3.513	3.543	3.971	3.778	4.556	3.909
	SC	1.434	1.172	1.356	1.371	1.065	1.281	1.236	1.259	1.105	1.301	1.140
	<i>Total Reg.</i>	<i>10.819</i>	<i>8.544</i>	<i>10.930</i>	<i>11.001</i>	<i>9.718</i>	<i>12.560</i>	<i>11.910</i>	<i>12.677</i>	<i>11.724</i>	<i>14.137</i>	<i>11.785</i>
<i>MReg.</i>	<i>3.606</i>	<i>2.848</i>	<i>3.643</i>	<i>3.667</i>	<i>3.239</i>	<i>4.187</i>	<i>3.970</i>	<i>4.226</i>	<i>3.908</i>	<i>4.712</i>	<i>3.928</i>	

Obs.: Valores arredondados para melhor visualização

Fonte: O autor, 2019

**Tabela 19** – REQ Nacional em ordem de 10<sup>3</sup>

Região	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	MR	DP <sub>R</sub>
CO	9.466	9.038	9.797	10.275	14.699	16.781	17.370	19.249	14.931	23.160	21.112	15.080	4.964
NE	2.109	2.172	2.083	2.498	2.110	2.289	3.079	3.071	1.746	3.362	3.512	2.548	600
N	621	623	663	708	841	892	1.056	1.348	1.188	1.616	1.573	1.012	372
SE	4.512	4.139	4.185	4.091	4.900	4.889	4.554	4.821	4.768	5.335	5.222	4.674	421
S	10.819	8.544	10.929	11.001	9.718	12.560	11.910	12.677	11.724	14.137	11.785	11.437	1.506
T <sub>NA</sub>	27.528	24.516	27.659	28.574	32.267	37.410	37.969	41.167	34.357	47.611	43.203	NA	NA
M <sub>N</sub>	5.506	4.903	5.532	5.715	6.453	7.482	7.594	8.233	6.871	9.522	8.641	6.950	NA
DP <sub>NA</sub>	4.481	3.765	4.603	4.658	5.732	6.881	6.829	7.530	6.154	9.018	7.959	6.042	NA

Obs.: Valores arredondados para melhor visualização

Fonte: O autor, 2019

Entretanto, quando observado o cenário pela Tabela 20, a média no período (2008-2018), o valor de residências com possibilidade de subsídio, é de 34.751.000, tomando-se um desvio padrão de 7.397.000 unidades. Ainda que o desvio padrão seja alto (frente ao valor de 34.751.000 residências), observa-se que com exceção de 2016, desde que superado o valor médio real (coincidente com a média das médias) em 2013, o valor vem apenas expandido. Em 2009 o valor do PEN sofreu baixa de 618,84 MW ano<sup>-1</sup>, isto em um período que o Brasil não alcançou nem a marca de 6.000 MW ano<sup>-1</sup>, o que ocorreu apenas em 2012; tal período que antecedeu uma expansão mais acentuada (ainda que não uniforme) justifica a magnitude do desvio padrão das REQ, logicamente explicando o mesmo no valor de EEQ. Caso calculada a razão desvio padrão pela média dos totais, informados nessa mesma tabela, ocorrerá um valor constante, este em porcentagem, acusa 21,285% de variabilidade. O que mais uma vez, reforça a ligação entre PEN, EEQ e REQ; e como a produção de café, milho e soja são as motrizes, estas também se correlacionam.

**Tabela 20** – Compilação dos dados a nível nacional por ano

Ano	PEN [MW ano <sup>-1</sup> ]	EEQ [GWh ano <sup>-1</sup> ]	REQ [x10 <sup>3</sup> unidades]
2008	5.656,44	49.550,38	27.528
2009	5.037,59	44.129,31	24.516
2010	5.683,28	49.785,53	27.659
2011	5.871,28	51.432,42	28.574
2012	6.630,28	58.081,24	32.267
2013	7.687,05	67.338,57	37.410
2014	7.801,95	68.345,07	37.969
2015	8.459,00	74.100,83	41.167
2016	7.059,72	61.843,14	34.357
2017	9.783,07	85.699,67	47.611
2018	8.877,42	77.766,21	43.203
Média	7.140,64	62.552,03	34.751
Desvio Padrão	1.519,89	13.314,24	7.397

Fonte: O autor, 2019

#### 4.6 Atlas da bioenergia de resíduos agrícolas do cafeeiro, milho e soja

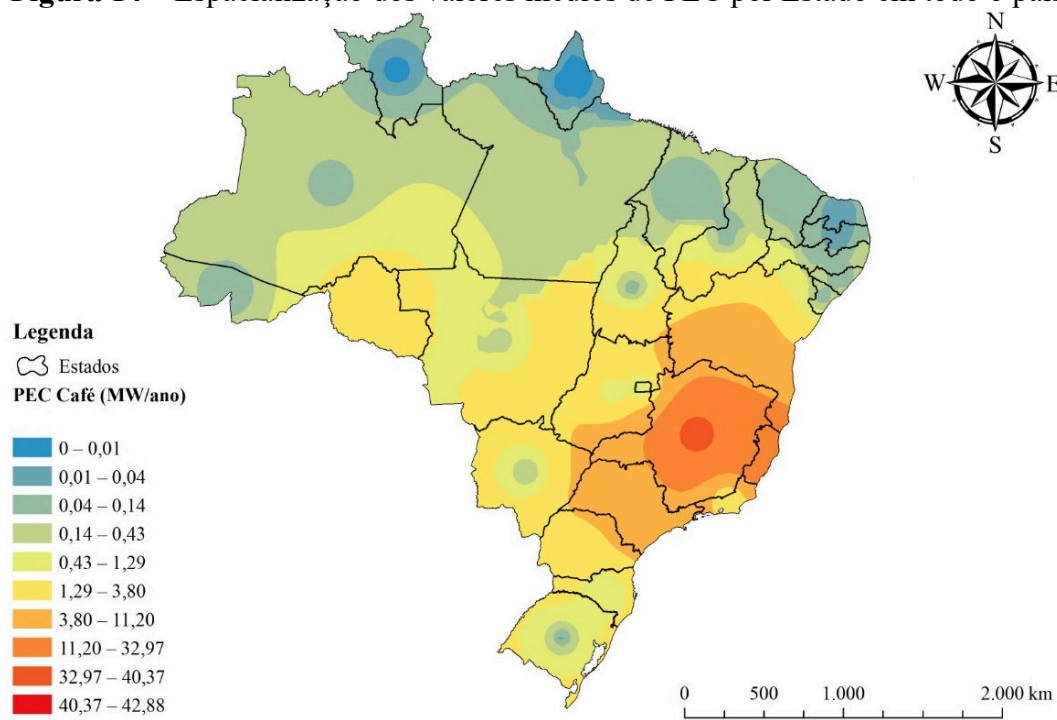
A especialização dos dados obtidos de PEN, bem como PEC, PEM e PES, denota os comportamentos bioenergéticos ao longo do território brasileiro de acordo com sua tendência agrícola das culturas observadas nesse estudo.

Observa-se como esperado (Figura 14), o maior destaque ficou por conta do Sudeste devido a sua tradição na cafeicultura; já o milho possui maior incidência no Centro-Oeste, com participação do Sul e mínima fração do sudeste na zona de maior intensidade de PEM (Figura

15) e a soja tem maior efetividade nos estados do Brasil que fazem fronteira com Uruguai, Argentina, Paraguai e Bolívia (Figura 16).

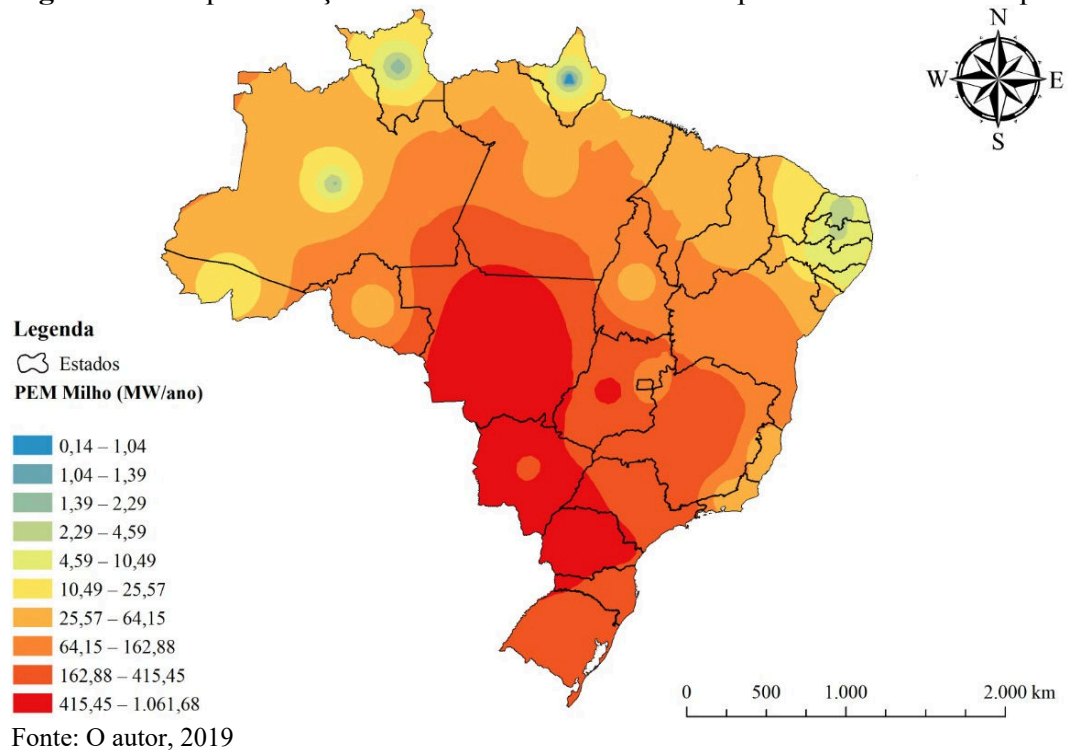
Ao analisar o PEN via Figura 17, nota-se que devido à distribuição das três culturas, com exceção ao Acre e estados acima ou próximos a Linha do Equador, o Brasil possui regiões bioenergéticas bem definidas, onde, a partir da região central do País rumo ao litoral, esses potenciais decaem. A ocorrência deste fenômeno é a partir do Mato Grosso rumo a Roraima (estado mais ao norte do país), apresentando decréscimo do PEN. Isso pode ser interpretado pelo fator da produção agrícola das culturas, além de questões de proteção à Amazônia quanto à conversão da floresta em áreas de cultivo.

**Figura 14** – Espacialização dos valores médios de PEC por Estado em todo o país

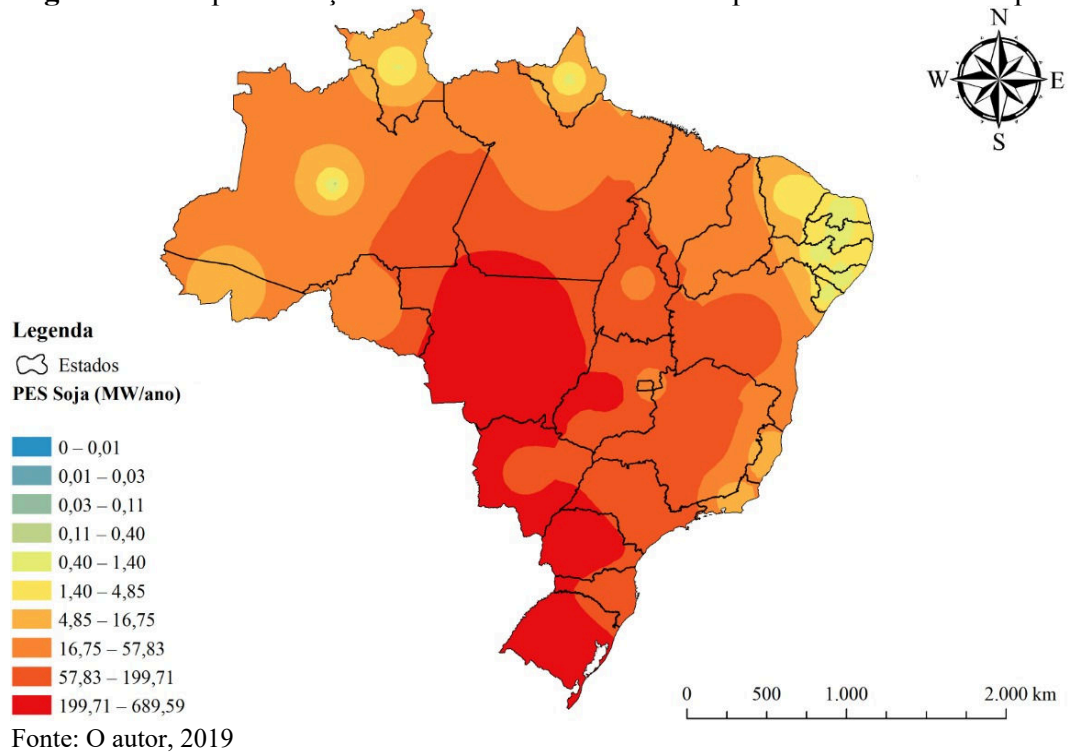


Fonte: O autor, 2019

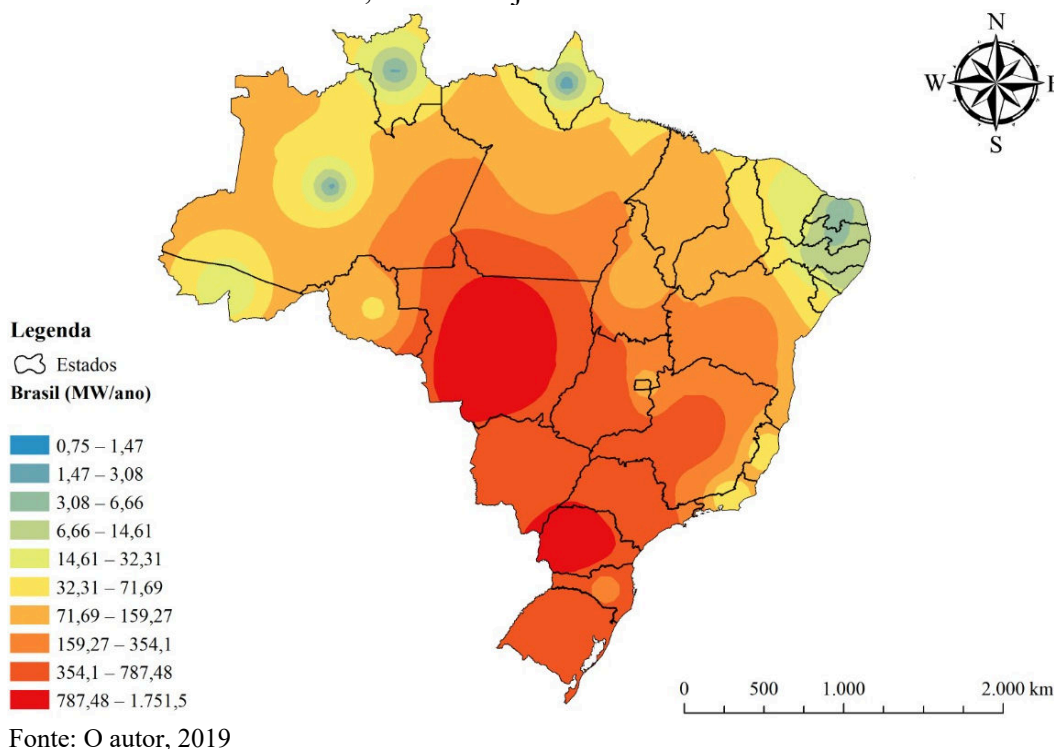
**Figura 15** – Espacialização dos valores médios de PEM por Estado em todo o país



**Figura 16** – Espacialização dos valores médios de PES por Estado em todo o país



**Figura 17** – Espacialização dos valores médios do potencial bioenergético dos resíduos do café, milho e soja unificados - PEN



#### 4.6.1 Regiões com potenciais produtores

Apesar de todas as regiões apresentarem potencial bioenergético nas culturas em estudo, o volume produzido por alguns Estados é baixo quando comparado à média das médias do potencial energético total (PEN) do Brasil,  $1428,1 \text{ MW ano}^{-1}$ . Como há direta ligação entre a produção e consequentemente resíduos, este cenário também indica onde não se teria um nível energético interessante para implantação de unidades de conversão. Para tal, deve-se ponderar os fatores de residências equivalentes que poderiam ser atendidas em cada estado por sua autogeração estadual, cruzando com as quantidades de residências de fato existentes. Apesar de ocorrerem estudos e correções de valores, optou-se pelo uso dos dados do censo de 2010, o qual entregou o valor então real dos domicílios.

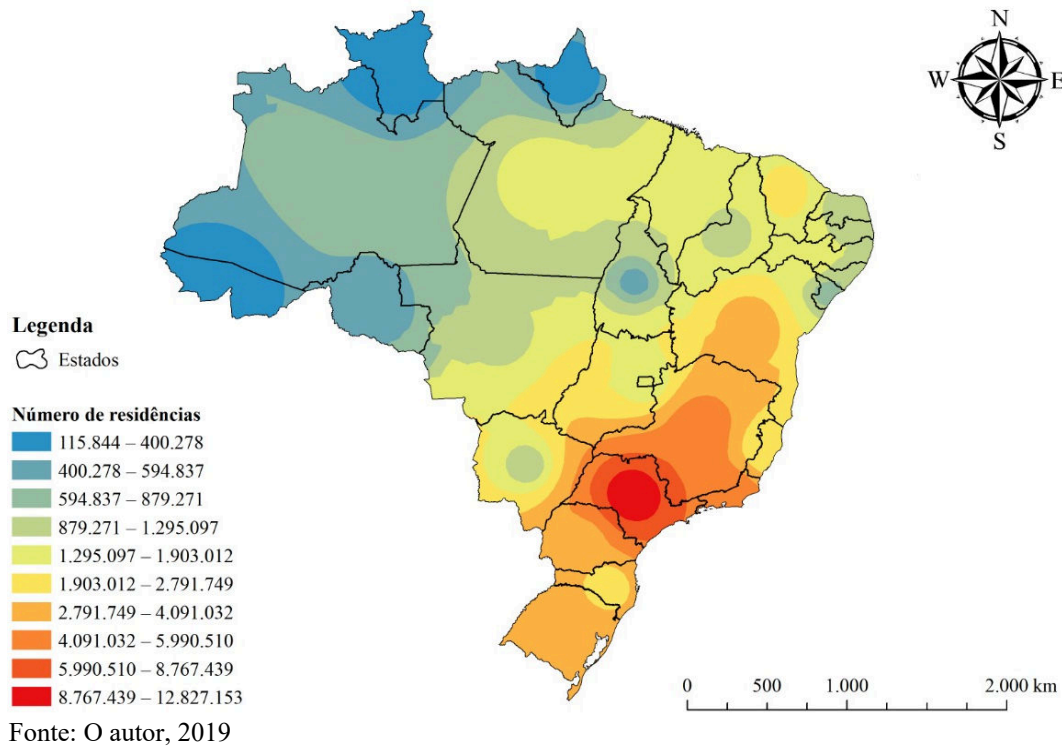
Conforme dados do último censo do IBGE, em 2010, contabilizando o Distrito Federal, tem-se que da média nacional de residências por Estado (2.123.118), Bahia, Ceará, Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul são as unidades da federação que superam esse valor. São Paulo mais do que dobra o valor de Minas Gerais, que ocupa a segunda posição; por conta disso, a região Sudeste é a com maior número de domicílios (25.199.799 unidades), ficando ao Nordeste a segunda posição (14.922.901 unidades). Nenhum Estado do Norte ou Centro-Oeste superam a média por estado. Quando

analisado sobre a média regional, 11.464.837 unidades, novamente apenas o Sudeste e o Nordeste superam (Tabela 32).

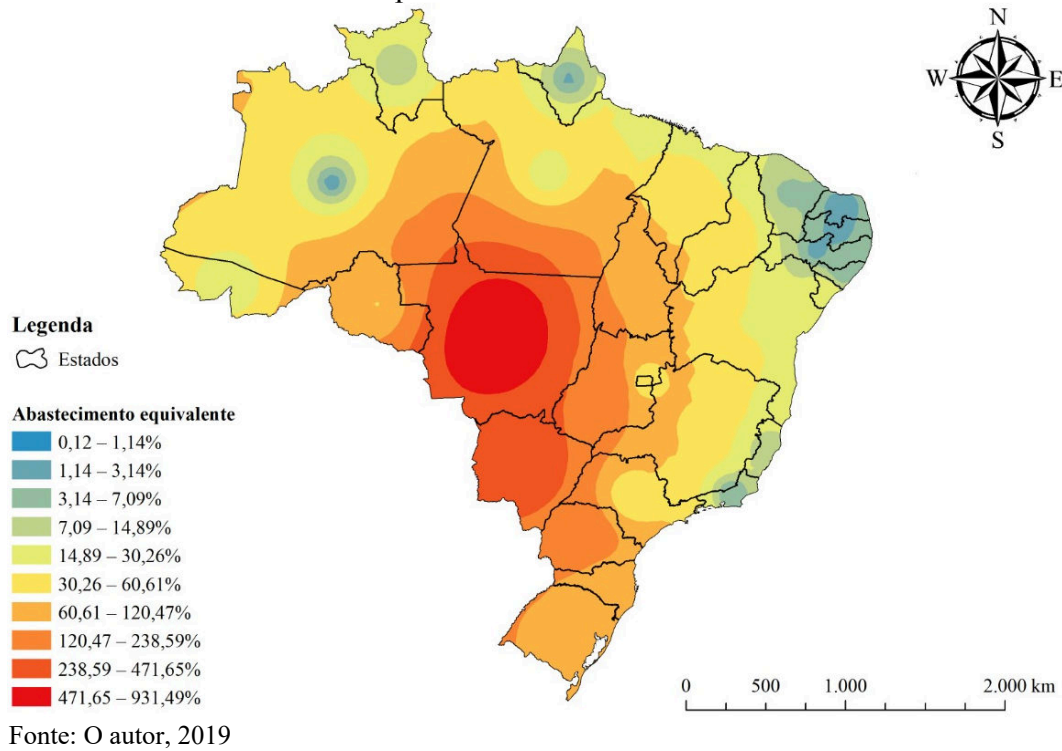
Através da Tabela 22 e Tabela 23, vê-se que ao cruzar as informações sobre o número de residências equivalentes – REQ (Tabelas 18 e 19) com os valores de distribuição de residências no Brasil conforme Censo 2010 (Tabela 21), pode-se chegar ao índice que indica quantos domicílios poderiam ser abastecidos com a produção interna de energia elétrica oriunda dos resíduos do cafeeiro, milho e soja. Para tal, supôs-se que a totalidade das residências enquadraria no consumo limite de 150 kWh mês<sup>-1</sup>, mesmo valor utilizado por Reis e Reis (2017). Mato Grosso conseguiria suprir sua demanda interna em mais de nove vezes (931,49%), isto se deve à combinação de ser o estado com maior REQ e 15º em número de domicílios, pois a relação torna-se atraente do ponto de vista energético quando a produção local é grande e o número de residências a abastecer é reduzido. Mato Grosso do Sul detém percentual expressivo, podendo então suprir sua demanda interna em quase quatro vezes (377,85%). O Estado ocupa a quinta colocação no ranking geral de REQ, deve-se a isso ao fato de ser o 21º estado em número de domicílios e possuir o quinto maior potencial energético (PEN). Já no sudeste, São Paulo, que é líder no ranking de moradias (Tabela 21), e sétimo maior em REQ fica em 17º colocação quanto ao fator de auto abastecimento, marcando 13,26% (Tabela 22). Rio de Janeiro, terceiro maior em número de domicílios que conta com o terceiro menor valor de REQ, fica na última colocação quanto a poder suprir sua necessidade.

A diferença entre a Figura 18 e Figura 19 denota que São Paulo tem a maior concentração de residências e, assim, supõem-se a maior população. Por essa razão, sua própria produção não supriria a demanda, dentro da especificação de apenas domicílios com consumo de até 150 kWh mês<sup>-1</sup>. Em situação oposta, conforme apresentado nas Tabelas 30 e 31, o Mato Grosso fica em evidência pela alta produção e valor populacional moderado (perante São Paulo).

**Figura 18** – Espacialização do número de residências no Brasil conforme Censo 2010.



**Figura 19** – Espacialização do percentual de abastecimento equivalente no Brasil conforme a capacidade de cada Estado





**Tabela 21 – Distribuição de residências no Brasil conforme Censo 2010**

<b>Região</b>	<b>Estado</b>	<b>Domicílios particulares permanentes</b>
CO	Distrito Federal	774.021
	Goiás	1.886.264
	Mato Grosso	915.089
	Mato Grosso do Sul	759.299
	<b>Total regional</b>	<b>4.334.673</b>
	<b>Média regional</b>	<b>1.083.668</b>
NE	Alagoas	842.884
	Bahia	4.094.405
	Ceará	2.365.276
	Maranhão	1.653.701
	Paraíba	1.080.672
	Pernambuco	2.546.872
	Piauí	848.263
	Rio Grande do Norte	899.513
	Sergipe	591.315
	<b>Total regional</b>	<b>14.922.901</b>
	<b>Média regional</b>	<b>1.658.100</b>
N	Acre	190.645
	Amapá	156.284
	Amazonas	799.629
	Pará	1.859.165
	Rondônia	455.599
	Roraima	115.844
	Tocantins	398.367
		<b>Total regional</b>
	<b>Média regional</b>	<b>567.933</b>
SE	Espírito Santo	1.101.394
	Minas Gerais	6.028.223
	Rio de Janeiro	5.243.029
	São Paulo	12.827.153
	<b>Total regional</b>	<b>25.199.799</b>
	<b>Média regional</b>	<b>6.299.950</b>
S	Paraná	3.298.578
	Rio Grande do Sul	3.599.604
	Santa Catarina	1.993.097
	<b>Total regional</b>	<b>8.891.279</b>
	<b>Média regional</b>	<b>2.963.760</b>
<b>Total nacional</b>		<b>57.324.185</b>
<b>Média de domicílios por Estado</b>		<b>2.123.118</b>
<b>Média de domicílios por Região</b>		<b>11.464.837</b>

Fonte: Adaptado do IBGE, 2010.

**Tabela 22** – Cruzamento de dados entre o número de residências atendidas em média por Estado e quantidade existente segundo o Censo 2010

Região	Estado	Média de REQ em ordem de 10 <sup>3</sup>	Abastecimento equivalente de residências por Estado*
CO	Distrito Federal	151,0	19,51%
	Goiás	3.536,0	187,46%
	Mato Grosso	8.524,0	931,49%
	Mato Grosso do Sul	2.869,0	377,85%
NE	Alagoas	7,6	0,90%
	Bahia	1.221,2	29,83%
	Ceará	117,7	4,98%
	Maranhão	554,4	33,52%
	Paraíba	13,3	1,23%
	Pernambuco	23,6	0,93%
	Piauí	434,8	51,26%
	Rio Grande do Norte	6,2	0,69%
N	Sergipe	169,5	28,66%
	Acre	27,9	14,63%
	Amapá	3,6	2,30%
	Amazonas	7,8	0,98%
	Pará	310,8	16,72%
	Rondônia	270,3	59,33%
	Roraima	11,2	9,67%
Tocantins	380,1	95,41%	
SE	Espírito Santo	112,0	10,17%
	Minas Gerais	2.855,5	47,37%
	Rio de Janeiro	6,5	0,12%
	São Paulo	1.700,3	13,26%
S	Paraná	6.822,0	206,82%
	Rio Grande do Sul	3.368,0	93,57%
	Santa Catarina	1.247,0	62,57%

\*Idealizando que todas as residências se enquadrassem no consumo de até 150 kWh mês<sup>-1</sup>, condicionado as etapas anteriores deste estudo, conforme metodologia de Reis e Reis (2017).

Fonte: O autor, 2019.

A Tabela 23 mostra que a média nacional é de 99,64%; tal valor deriva da média sobre os valores de acesso à energia elétrica em cada estado de 2016 a 2018 (período disponível no SIDRA). De tal forma, adotou-se para este estudo o valor mínimo de 99,64% como critério de abastecimento.

**Tabela 23** – Proporção da população com acesso à energia elétrica

Região	Estado	2016	2017	2018	Média estadual
CO	Distrito Federal	100,0%	100,0%	99,9%	99,97%
	Goiás	99,8%	99,7%	99,9%	99,80%
	Mato Grosso	99,8%	99,8%	99,8%	99,80%
	Mato Grosso do Sul	99,9%	99,9%	99,9%	99,90%
	<b>Média regional</b>	<b>99,88%</b>	<b>99,85%</b>	<b>99,88%</b>	<b>NA</b>
NE	Alagoas	99,8%	99,8%	99,6%	99,73%
	Bahia	99,3%	99,2%	99,3%	99,27%
	Ceará	99,8%	99,9%	99,8%	99,83%
	Maranhão	99,4%	99,5%	99,4%	99,43%
	Paraíba	99,9%	100,0%	99,9%	99,93%
	Pernambuco	99,9%	99,7%	99,5%	99,70%
	Piauí	98,6%	98,4%	99,1%	98,70%
	Rio Grande do Norte	99,9%	100,0%	99,7%	99,87%
	Sergipe	99,9%	99,8%	99,6%	99,77%
<b>Média regional</b>	<b>99,61%</b>	<b>99,59%</b>	<b>99,54%</b>	<b>NA</b>	
N	Acre	96,6%	96,9%	97,0%	96,83%
	Amapá	99,4%	99,6%	100,0%	99,67%
	Amazonas	98,9%	98,7%	98,3%	98,63%
	Pará	98,5%	98,8%	98,9%	98,73%
	Rondônia	99,5%	99,9%	99,7%	99,70%
	Roraima	99,7%	99,4%	99,4%	99,50%
	Tocantins	98,9%	99,4%	98,7%	99,00%
	<b>Média regional</b>	<b>98,79%</b>	<b>98,96%</b>	<b>98,86%</b>	<b>NA</b>
SE	Espírito Santo	100,0%	99,9%	99,9%	99,93%
	Minas Gerais	99,8%	99,9%	99,8%	99,83%
	Rio de Janeiro	100,0%	100,0%	100,0%	100,00%
	São Paulo	100,0%	100,0%	100,0%	100,00%
	<b>Média regional</b>	<b>99,95%</b>	<b>99,95%</b>	<b>99,93%</b>	<b>NA</b>
S	Paraná	99,9%	100,0%	99,9%	99,93%
	Rio Grande do Sul	99,9%	99,9%	99,9%	99,90%
	Santa Catarina	100,0%	100,0%	99,9%	99,97%
	<b>Média regional</b>	<b>99,93%</b>	<b>99,97%</b>	<b>99,90%</b>	<b>NA</b>
<b>Média nacional</b>		<b>99,63%</b>	<b>99,66%</b>	<b>99,62%</b>	<b>99,64%</b>

Fonte: O autor, 2019, baseado em dados do SIDRA (2019).

A Tabela 24 cruza os dados da Tabela 22 e Tabela 23, logo, evidencia os Estados que poderiam suprir a demanda local de energia elétrica (autossuficiência) quando comparado o percentual de abastecimento equivalente com as médias estaduais de acesso à energia elétrica. Percebe-se que o Centro-Oeste, com exceção do Distrito Federal, conseguiria o feito de autossuficiência. Tomando-se o fator geográfico, por tratar-se da mesma região, e Goiás ser ligada ao Distrito Federal por ampla faixa territorial e este ter grade geração via resíduos, pode-

se supor que por uma rede interligada na região, ter-se-ia por completo a autossuficiência regional, logo, a única região com essa capacidade.

Ainda segundo a Tabela 24, Paraná é a única Unidade da Federação da região Sul com a autossuficiência nas condições descritas, isto é, igualar ou superar o abastecimento equivalente com a média estadual da população com acesso à energia elétrica; o Rio Grande do Sul está à 6,33% de alcançar sua autossuficiência. Porém, apesar do Paraná ter excedentes, Santa Catarina está entre os dois, e com valores bem abaixo do necessário para autossuficiência, fazendo mais sentido (levando critérios econômicos e logísticos) que o excedente seja direcionado então para Santa Catarina. Os demais estados não teriam condições de autossuficiência.

Complementando esse raciocínio, ao ver-se em nível regional, Tabela 25, confirma-se que a interligação dos estados faz-se interessante por logística e economia para as regiões Centro-Oeste e Sul apenas. As demais possuiriam baixo nível de abastecimento equivalente, o que se deve aos fatores de quantidade de domicílios e sua produção. Ainda que Minas Gerais e São Paulo representem, respectivamente, a sexta e sétima maior produção energética, e consequentemente mesmas posições para REQ, por estarem na região mais populosa, esse valor é fortemente diluído. Fora isso, a baixa produção do Rio de Janeiro com sua alta população, semelhante ao que ocorre no Espírito Santo, faz com que a região sudeste assumam a penúltima posição.

**Tabela 24** – Avaliação da autossuficiência energética por Estado em relação a sua própria geração e população com acesso à energia elétrica

Região	Estado	Abastecimento equivalente de residências por Estado*	Média estadual	Autossuficiência
CO	Distrito Federal	19,51%	99,97%	Não
	Goiás	187,46%	99,80%	Sim
	Mato Grosso	931,49%	99,80%	Sim
	Mato Grosso do Sul	377,85%	99,90%	Sim
NE	Alagoas	0,90%	99,73%	Não
	Bahia	29,83%	99,27%	Não
	Ceará	4,98%	99,83%	Não
	Maranhão	33,52%	99,43%	Não
	Paraíba	1,23%	99,93%	Não
	Pernambuco	0,93%	99,70%	Não
	Piauí	51,26%	98,70%	Não
	Rio Grande do Norte	0,69%	99,87%	Não
	Sergipe	28,66%	99,77%	Não
N	Acre	14,63%	96,83%	Não
	Amapá	2,30%	99,67%	Não
	Amazonas	0,98%	98,63%	Não
	Pará	16,72%	98,73%	Não
	Rondônia	59,33%	99,70%	Não
	Roraima	9,67%	99,50%	Não
	Tocantins	95,41%	99,00%	Não
SE	Espírito Santo	10,17%	99,93%	Não
	Minas Gerais	47,37%	99,83%	Não
	Rio de Janeiro	0,12%	100,00%	Não
	São Paulo	13,26%	100,00%	Não
S	Paraná	206,82%	99,93%	Sim
	Rio Grande do Sul	93,57%	99,90%	Não
	Santa Catarina	62,57%	99,97%	Não

\*Idealizando que todas as residências se enquadrassem no consumo de até 150 kWh mês<sup>-1</sup>, condicionado as etapas anteriores deste estudo.

Fonte: O autor, 2019

**Tabela 25** – Cruzamento de dados entre o número de residências atendidas em média por Região e quantidade existente segundo o Censo 2010

Região	Média de REQ em ordem de 10 <sup>3</sup>	Total de domicílios particulares permanentes	Abastecimento equivalente de residências por região
CO	15.079,81	4.334.673,00	347,89%
NE	2.548,45	14.922.901,00	17,08%
N	1.011,81	3.975.533,00	25,45%
SE	4.674,27	25.199.799,00	18,55%
S	11.436,80	8.891.279,00	128,63%

Fonte: O autor, 2019

#### 4.7 Análises de eficácia da aplicação da biomassa de resíduos do cafeeiro, milho e soja

Nesta seção, comparam-se os dados apurados com os de autores referência para este estudo. Salienta-se que, por apresentação de dados, os estudos tendem não exporem os valores exatos utilizados como base e/ou dos próprios resultados, logo espera-se variação sutil ao se cruzar os dados. A mesma pode ocorrer pela fonte das informações de produção de cada cultura que não foram evidenciadas.

Reis e Reis (2017) estimaram que entre 2010 e 2015, para Minas Gerais, 192.136 residências seriam abastecidas pelos resíduos do cafeeiro, 2.091.018 via milho e 425.345 oriundas da soja, totalizando 2.708.499, conforme Tabela 6. Apesar deste estudo não especificar a EEQ e REQ de cada ano, tomando-se para comparativo, esses valores, conforme média de cada cultura dos referidos anos, são apontados para comparação na Tabela 26.

Observa-se que para a média de produção e de potencial energético, as diferenças são irrelevantes, podendo ser tomadas como meramente arredondamento. Porém, quanto à energia disponível, ocorre uma diferença moderada entre os valores que conseqüentemente reflete no número de residências atendidas. Essas diferenças tendem decorrer da natureza da abordagem ao calcular, tomando-se arredondamentos em etapas parciais e até mesmo pela metodologia ao calcular a energia a ser gerada, uma vez que Reis e Reis (2017) não deixam evidente a equação utilizada em seu trabalho. Como o número de residências, que podem ser atendidas deriva da etapa de cálculo da EEQ, esta também sofre influência.

**Tabela 26** – Comparativo com o estudo de Reis e Reis (2017)

Fonte	Produção média		PEN (MW)		EEQ (MWh)		REQ	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Cafeeiro	1.458.062	1.458.062,33	42	41,56	345.846	364.048,00	192.136	202.248.891
Milho	6.917.527	6.917.527,17	452	452,28	3.763.833	3.961.929,44	2.091.018	2.201.071.910
Soja	3.193.685	3.193.685,67	92	92,00	765.620	805.916,12	425.345	447.731.178

A: Dados do estudo de Reis e Reis (2017).

B: Dados deste estudo

Fonte: O autor, 2019

Como objetiva-se dimensionar o potencial bioenergético ao longo dos Estados no Brasil, e que a energia gerada pode ter outras utilidades além dos abastecimentos de casas, toma-se por comparação no mesmo período que os dados apurados e resultados apresentados tornam-se aptos e coerentes.

Assim posto, no estudo de 2017 da WBA, os valores mostrados na Figura 2 e Tabela 5 que indicava os Estados Unidos com 4,41 EJ de energia de origem de biomassa enquanto o

Brasil marcava 3,48 EJ, e no mesmo ano, 2014, segundo a Tabela 20, poderiam ter sido obtidos outros 68.345,07 GWh, que equivale a 0,000245846 EJ, equivalendo à módica fração não representativa. Mesmo no ano de 2017, recordista em EEQ, não se obteria a marca de 3,5 EJ, pois o aumento seria de 0,000308272 EJ.

Segundo os dados da EPE (2018) apresentados na Tabela 2, e os valores de PEN obtidos para o mesmo período (Tabela 15), na Tabela 27 observa-se que o acréscimo relativo ao montante apurado pela EPE tem média 30,96%, e vê-se que na maior parte do período, os valores vêm se superando, ou com pequeno declínio, com exceção de 2016 para 2017. O último ano do período ainda não teve o valor publicado, dessa forma, o acréscimo relativo não pode ser calculado.

**Tabela 27** – Mensuração de potência energética que poderia ser acrescida na matriz de biomassa

Ano base	EPE (MW)	Resultados (MW)	Acréscimo relativo
2008	5.054,00	5.656,44	11,92%
2009	5.717,00	5.037,59	11,88%
2010	7.927,00	5.683,28	28,30%
2011	9.028,00	5.871,28	34,97%
2012	9.923,00	6.630,28	33,18%
2013	11.601,00	7.687,05	33,74%
2014	12.341,00	7.801,95	36,78%
2015	13.257,00	8.459,00	36,19%
2016	14.147,00	7.059,72	50,10%
2017	14.505,00	9.783,07	32,55%
2018	ND	8.877,42	ND

ND: Não disponível

Fonte: O autor, 2019.

Confrontando os dados deste estudo com publicações, percebe-se que não houve trabalhos visando à produção de bioenergia em massa para ser adicionada à matriz energética brasileira, e sim fornecimento em uma modalidade específica de conversão de energia, para suprir uma demanda local, ou se utilizando de fontes mistas de origem animal e vegetal.

Também se denota que podem ser encontrados estudos que visem à análise do potencial de cada variedade isoladamente, sejam convencionais ou transgênicos, em prol de expor maiores detalhes quanto ao poder calorífico, teor de cinzas, umidades, dentre outras variáveis estudadas em laboratório. Tais características não são o foco deste estudo.

De tal maneira, pode-se ver que, conforme os resultados de Albuquerque e Araújo (2016), que avaliaram no estado do Espírito Santo a produção do biogás via biodigestão anaeróbica de resíduos de café conilon (seguindo granulometria, análise imediata, análise somativa; todas nas conformidades da Embrapa) e dejetos bovinos (teor de sólidos totais de

20%), denotou-se que a casca é sim um insumo viável como fonte de biogás quando em condições adequadas, observando-se que o volume de biogás durante a cogeração, a 37°C, é três vezes maior que em condições ambientais, ou seja, uma otimização do processo em condições mesofílicas.

Batista (2014), por meio de análises heurísticas, com representação por árvore de estados, para a parcela relativa ao café em seu estudo (que também analisou a casca de coco e cacau) posiciona que a conversão termoquímica por pirólise, com prévia peletização, mostrou-se um caminho promissor para a geração energética.

Risques (2015) aborda a utilização da palha de milho como recurso bioenergético em três distritos em Portugal. No estudo, a autora explica que há viabilidade do processo ainda que seja utilizada apenas a remoção parcial dos resíduos, fora a confirmação de encontro ao que outras literaturas indicam quanto a permanências de uma parcela dos resíduos em campo em prol de proteger o solo (danos físicos e perda de nutrientes, por exemplo), mas que a fração que pode ser removida é de interesse para a conversão em energia.

Pereira (2018), também quanto a cultura do milho, focou-se no sabugo como insumo e estudou formas de otimizar os resultados, concluindo que codigestão anaeróbia com hidrolisado de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos entregaria uma melhor performance/qualidade do biogás gerado.

Castilho e Nogueira (2018) apresentam que para o estado do Paraná, local onde se passa o estudo, pensando-se na geração de energia elétrica por meio de conversão da energia química oriunda da biomassa, nas culturas de milho e soja; concluíram que o Estado detém potencial bioenergético; o que corrobora diretamente com os dados da Tabela 24.

Nones (2014) averigua que para as regiões oeste, norte e serrana de Santa Catarina, os resíduos de milho se destacam por serem um dos meios de gerar biomassa no estado e o panorama se completa com a soja também como possível fonte nesse mesmo Estado, o que vai de encontro ao apurado neste estudo em igual período.

Em um contexto mais amplo, por analisar outras culturas, mas também a soja e milho, Rocha, Almeida e Cruz (2017) corroboram e completam que o Brasil possui sim potencial para promoção de biomassa e isto deve-se ao fato da intensa radiação solar anual e seu clima diversificado. Os autores ainda ressaltam quanto a analisar a distribuição destes resíduos ao longo do país em decorrência dos custos agregados (transporte e armazenamento), o que encareceria e poderia inviabilizar o processo, mas que podem ser minimizados; e assim, tornarem-se uma nova alternativa para os problemas ambientais.



## 5 CONCLUSÃO

O potencial agrícola brasileiro também caracteriza o país como potencial produtor de bioenergia por meio da biomassa de resíduos agrícolas, tal como observado nas culturas do cafeeiro, milho e soja ao longo do território brasileiro. Quando respeitadas as indicações de parcela a ser deixada em campo, em prol de proteção/beneficiamento do solo, tendo valores médios de poder calorífico e uma metodologia de conversão de energia química em elétrica (eficiência do processo) assegurados, o Brasil poderia manter-se como produtor das culturas aqui estudadas e com a fração livre dos resíduos, aumentar sua parcela de energia renovável via biomassa.

Quanto ao potencial de geração de bioenergia do Brasil, este vai de encontro com os dados da produção de grãos ao longo do território nacional, variando conforme a cultura analisada, mas com forte presença das regiões Centro-Oeste e Sul, devido principalmente às produções do Mato Grosso e Paraná. Os Estados vizinhos a estes, dentro destas regiões, possuem potenciais, ainda que não tão grandes. Porém, devido aos números do Mato Grosso e Paraná, estima-se que suas regiões, por meio de sistema interligado, caibam como autossuficientes.

Devido às políticas externas, como o Acordo de Paris, um olhar mais atento às energias renováveis deverá ser crescente nos próximos anos. Um caminho possível para que o Brasil continue a ocupar posição de destaque no mercado da energia limpa e renovável passa muito possivelmente pela utilização dos resíduos agrícolas, estendendo-se a outras culturas inclusive.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Lais Schmidt; ARAUJO, Jesúna Cássia Santiago de. Produção de biogás por co-digestão utilizando uma mistura de dejetos bovinos e casca de café conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 2, n. 3, p. 44-54, 2016.

ALMEIDA, Marlon Brando Bezerra de. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008.

ANA, A. N. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Relatório da ANA apresenta situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>>. Acesso em 17 nov. 2019.

ANEEL, A. N. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 1 ed. Brasília, DF: ANEEL, 2002.

\_\_\_\_\_. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 3 ed. Brasília, DF: ANEEL, 2008.

ARDILA, Yurany Camacho. **Gaseificação da biomassa para a produção de gás de síntese e posterior fermentação para bioetanol: modelagem e simulação do processo**. 2015.

BAIRRES, Hugo Alexandre Cabral Martins de. **Projeto de um sistema para liquefação de biomassa**. 2016. Tese de Doutorado.

BATISTA, Renato Rocha. **Rotas de aproveitamento tecnológico de resíduo orgânico agrícola: casca de coco, casca de cacau e casca de café: destinadas à geração de energia**. 2016. Dissertação de Mestrado.

BRANNSTROM, C., GORAYEB, A., SOUZA, W. F., LEITE, N. S., CHAVES, L. O., GUIMARÃES, R., GÊ, D. R. F. Perspectivas geográficas nas transformações do litoral brasileiro pela energia eólica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 63, p. 3-28, 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: MME, 2007.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em 27 mai. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Plano Amazônia Sustentável**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-amaz%C3%B4nia-sustent%C3%A1vel-pas>>. Acesso em 17 nov. 2019.

CARDOSO, B.M. Uso da biomassa como alternativa energética. Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) - **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Escola Politécnica, 2012.

CASTILHO, André Vinicius de; NOGUEIRA, Lucas de Souza. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica a partir da biomassa proveniente da indústria agropecuária nas mesorregiões paranaenses**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CHRISTO, G. L. de J.; SANQUETTA, C. R.; PIVA, L. R. de O.; CORTE, A. P. D.; MAAS, G. C. B. Potencial de produção de biogás e energia elétrica a partir de resíduos de hortifruticultura em Colombo-PR. Universidade Federal do Paraná **BIOFIX Scientific Journal** v. 3 n. 1 p. 72-83. 2018. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.56058](https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.56058)

CIFERNO, Jared P.; MARANO, John J. Benchmarking biomass gasification technologies for fuels, chemicals and hydrogen production. **US Department of Energy. National Energy Technology Laboratory**, 2002.

COELHO, Suani Teixeira; VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González; MARTINS, Osvaldo Stella; ABREU, Fernando Castro de. A conversão da fonte renovável biogás em energia. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café** – Safra 2018. V.5, n.3. Set. 2018. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/22249\\_796d70cec80b021e204b5514764e77b4](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/22249_796d70cec80b021e204b5514764e77b4)

\_\_\_\_\_. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos** – Safra 2018/19. V.6, n.1. Out. 2018. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/22459\\_07172d10b7104ce2765c1734d0f7e857](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/22459_07172d10b7104ce2765c1734d0f7e857)

DANTAS, Vandui Francisco de Siqueira. **Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays* L.) e do epicarpo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2013. xi, 38 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ECYCLE. O que é biogás e como ele é transformado em energia elétrica. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/2972-biogas> Acesso em 31 mai. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano Base 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano Base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional 2018: Ano Base 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

\_\_\_\_\_. **Inventário energético de resíduos rurais**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

FACCINI, C.S. **Obtenção de bio-óleos por pirólise de resíduos da indústria de celulose e sua caracterização por cromatografia gasosa**. 2012. Tese Doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

FARINA, Elizabeth; RODRIGUES, Luciano. Acordo de Paris e a necessidade de um plano estratégico. **Agroanalysis**. v. 37, n. 5. p.26-27, Maio. Rio de Janeiro. 2017

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi de. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica-Estudo de caso**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERREIRA; Omar Campos. Teor de carbono em combustíveis da biomassa. **Economia e Energia – e&e**. n. 57, p.41-47, Agosto-Setembro. 2006.

FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BON, E. P. S. Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. **Waste and Biomass Valorization**, v. 1, n. 1, p. 65-76, Mar. 2010.

FURTADO, Thielly Schmidt; FERREIRA, Juliana Ceccato; BRAND, Martha Andreia; NEVES, Márcio Daian. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de Pinus taeda em diferentes idades. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, 2012.

GENTIL, Luiz Vicente Bocorny. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. 2008. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Distrito Federal.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **How2guide for Bioenergy Roadmap Development and Implementation**. Paris, 2017b.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Technology Roadmap Delivering Sustainable Bioenergy**. Paris, 2017a.

LIMA, M. J. Pirólise da casca de café: estudo cinético e de condições operacionais. **Universidade Federal do Espírito Santo**. Espírito Santos. 2018. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_11881\\_Disserta%E7%E3o\\_Defesa%20\\_Mariana\\_Lima.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_11881_Disserta%E7%E3o_Defesa%20_Mariana_Lima.pdf)>

LORA, E. E; ANDRADE, R. V; ÁNGEL. J. D.M; LEITE, M. A; ROCHA. M. H; SALES. C; MENDOZA, M. A; CORAL, D. Biocombustíveis. Capítulo 6: Gaseificação e Pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. Editora Interciência, 2012.

MILANEZ, A. Y.; MANCUSO, R. V.; GODINHO, R. D.; POPPE, M. K. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 45, p. [285]-340, mar. 2017.

MIYAWAKI, Bruno. **Purificação de biogás através de cultivo de microalgas em resíduos Agroindustriais**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014.

NONES, Daniela Letícia. **Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina**. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2014

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; AMPESSAN, C. G. M.; FRIEDERICHS, G. Biomassa residual agrícola e florestal na produção de compactados para geração de energia. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.2, p.155-164, 2017

ORSINI, RDR. **Estudo do aproveitamento do resíduo da lavoura cafeeira como fonte de biomassa na produção de hidrogênio**. 2012. Tese de Doutorado. Tese, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo.

PEDROSO, Luiz L. A.; SILVA, Fabrício F. da; SILVA, Fábio F. da; MELO, Álvaro M.; ERTHAL JUNIOR, Milton; SHIMOYA, Aldo; MATIAS, Ítalo de O.; SOUZA, Claudio L. M. de. 2018. Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 5, p. 1980-1996, 2018.

PEREIRA, Hélio Filipe Araújo. **Produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia entre FORSU e Resíduos da Cultura do Milho**. Tese de Doutorado. Universidade Nova e Lisboa. 2018.

REIS, R. J.; REIS, L. S. **Atlas de biomassa de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Rona Gráfica e Editora, 2017. 100 p. ISBN 978-85-8239-05208.

RISQUES, Ana Cláudia M. Vila Lobos (2015). **Avaliação do aproveitamento da palha do milho (Zea mays L.) para bioenergia, nos sistemas de produção do Vale do Tejo**. 83 p. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre na área de Agricultura Sustentável, na Escola Superior Agrária de Santarém.

ROCHA, Martha Suzana Rodrigues dos Santos; ALMEIDA, Renata Maria Rosas Garcia; DA CRUZ, Antonio José Gonçalves. Avaliação do potencial energético de resíduos agroindustriais provenientes de diferentes regiões brasileiras. **Engevista**, v. 19, n. 1, p. 217-235.

ROYA, B. Biogás - uma energia limpa. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, v. 13, n. 13, p. 142-149, 2011.

SANTOS, G. F. L.; ÁVILA, J. A. M. **Caracterização físico-química da biomassa da casca do café**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção), FAPI Faculdade de Pindamonhangaba. Disponível em: <<http://177.107.89.34:8080/jspui/handle/123456789/361>>

SANTOS, Diego Felipe dos; GUIMARÃES, Willian Franklin Ferreira; GONÇALVES, Claudio Ubiratan. Biodigestores como alternativa à sustentabilidade ambiental no campo brasileiro: um balanço bibliográfico acerca dos modelos Indiano, Chinês e Batelada. **Revista Ciência Agrícola**, v. 15, p. 35-39, 2017.

SCHIRMER, W. N.; FERREIRA, I. T. M.; RIBEIRO, C. B.; PAVANELLO, G. P.; de Oliveira Machado, G., & Rodrigues, P. R. P. Caracterização de biomassa residual de fábrica de papel-cartão para aproveitamento energético. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 4, p. 1113-1132, 2017.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M., RAYMUNDO, J. C., PINTO, R.S. Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, [S.l.], v. 4, n. 11, p. 182, ago. 2018.

TIBA, Chigueru; FRAIDENRAICH, N. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Recife. **Ed. Universitária da UFPE**, 2000.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. 5a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VALE, A. T.; DANTAS, V. F. S.; ZAMBRZYCKI, G. C. Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays*). **Evidência-Ciência e Biotecnologia**, v. 13, n. 2, p. 153, 2014.

VIDAL, André Carvalho Foster; HORA, André Barros da. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**. Rio de Janeiro, n. 33 , p. 261-314, mar. 2011.

WORLD BIOENERGY ASSOCIATION – WBA. **Global Bioenergy Statistics**. 2017.

ZANATTA, Elciane Regina. **Estudo cinético da pirólise das biomassas: bagaço de mandioca, casca de soja e bagaço de cana**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2012.

ZILOTTI, H. A. R. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica**. UNIOESTE, 2012.

## APÊNDICE A – VALORES DE PEC, PEM E PES ENTRE 2008 E 2018

Valores de PEC, em MW ano<sup>-1</sup>, entre 2008 e 2018 em cada Unidade da Federação

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>
DF	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
GO	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,52
MT	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,23
MS	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04
AL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
BA	4,6	5,0	4,4	4,3	4,0	4,5	5,7	6,0	3,8	4,6	7,1	4,92
CE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,06
MA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04
PI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
RN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
AC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05
AP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
AM	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,07
PA	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,18
RO	3,2	2,6	4,0	2,5	2,4	2,0	2,4	2,4	2,6	4,0	3,9	2,92
RR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
TO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
ES	17,6	17,7	17,6	20,2	22,0	20,0	22,1	17,6	14,7	15,7	23,1	18,94
MG	40,4	34,1	42,9	38,1	45,5	45,7	38,9	38,4	52,3	41,5	54,2	42,88
RJ	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,49
SP	7,3	5,6	7,9	6,8	7,8	7,8	8,2	7,3	9,7	7,5	9,8	7,80
PR	4,5	2,5	4,0	3,2	3,0	2,9	1,0	2,3	1,8	1,9	1,9	2,62
RS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
SC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
M <sub>ano</sub>	3,0	2,6	3,1	2,9	3,2	3,1	3,0	2,8	3,2	2,8	3,8	NA

Fonte: O autor, 2019

Valores de PEM, em MW ano<sup>-1</sup>, entre 2008 e 2018 em cada Unidade da Federação

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>
DF	21,3	18,5	16,1	17,3	26,4	27,5	43,6	34,5	19,1	30,1	25,7	25,45
GO	333,5	325,6	305,8	375,5	538,1	502,6	594,2	621,9	379,5	653,6	584,2	474,05
MT	509,9	534,9	533,8	507,6	1.023,0	1.319,8	1.181,5	1.396,1	1.002,9	1.957,7	1.711,2	1.061,68
MS	240,3	142,6	247,3	237,2	423,5	495,2	539,5	636,0	394,2	642,2	485,8	407,62
AL	3,4	2,8	1,5	2,2	0,1	0,6	0,7	1,0	0,9	2,2	1,6	1,55
BA	123,2	141,1	145,4	134,1	123,1	137,9	191,0	175,3	103,3	125,2	148,1	140,71
CE	49,2	35,2	11,4	59,8	8,0	7,4	22,7	8,6	7,5	24,4	30,7	24,10
MA	31,4	34,3	35,0	42,2	51,2	86,4	99,4	91,4	44,6	106,6	86,4	64,45
PB	7,8	6,6	0,8	4,1	0,4	1,8	1,8	0,7	0,8	1,7	3,6	2,74
PE	11,7	12,6	4,6	8,1	1,4	1,6	3,5	1,7	0,9	3,0	3,9	4,81
PI	21,0	32,4	22,4	44,3	50,3	31,7	67,8	72,0	39,3	94,1	99,3	52,24
RN	3,5	2,8	0,5	3,1	0,2	0,8	0,9	0,3	0,2	0,3	1,6	1,28
SE	38,2	46,0	49,1	31,4	19,0	45,8	49,9	32,4	9,2	55,2	7,0	34,83
AC	4,0	3,7	5,3	5,3	6,3	8,1	6,9	6,2	5,4	5,8	5,3	5,67
AP	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,14
AM	1,9	1,9	2,3	2,4	2,4	1,8	1,4	1,1	0,6	0,6	0,5	1,54
PA	40,7	36,1	33,9	35,4	39,5	40,1	38,6	49,7	42,0	57,0	51,7	42,25
RO	20,0	24,1	23,9	22,2	34,9	29,4	35,5	51,5	39,4	61,1	48,1	35,46
RR	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,1	2,7	2,9	1,26
TO	15,1	16,4	18,5	20,4	24,3	22,9	29,6	41,8	34,8	55,0	53,1	30,17
ES	6,2	6,4	4,3	5,4	5,0	4,1	3,8	2,0	2,5	2,4	2,8	4,07
MG	432,2	427,4	398,2	427,3	498,5	486,9	455,5	447,2	382,1	441,5	433,8	439,14
RJ	1,3	1,2	1,2	1,2	1,0	0,9	0,7	0,4	0,5	0,5	0,5	0,85
SP	306,1	240,2	263,3	219,8	292,8	288,2	260,5	306,6	300,3	338,6	293,5	282,71
PR	1.020,8	736,3	887,0	815,5	1.082,4	1.133,9	1.034,5	1.031,5	910,8	1.147,0	834,1	966,71
RS	342,1	273,7	368,4	377,4	206,3	354,4	352,4	363,8	309,2	396,1	298,0	331,06
SC	267,4	212,1	238,9	238,8	187,7	217,5	205,9	201,1	165,4	196,8	166,7	208,94
M <sub>ano</sub>	142,7	122,8	134,1	134,8	172,1	194,4	193,4	206,5	155,4	237,1	199,3	NA

Fonte: O autor, 2019



Valores de PES, em MW ano<sup>-1</sup>, entre 2008 e 2018 em cada Unidade da Federação

Estado	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	M <sub>E</sub>
DF	4,4	4,5	5,1	5,3	5,1	4,4	6,2	5,2	6,7	7,0	7,3	5,56
GO	190,3	196,2	208,9	221,9	241,9	256,8	257,5	247,9	295,0	327,6	328,3	252,02
MT	512,8	517,4	541,2	599,2	629,2	674,6	763,3	802,3	757,0	878,0	910,5	689,59
MS	131,7	116,6	153,8	146,3	132,3	166,5	182,6	210,5	212,9	262,2	284,3	181,79
AL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,02
BA	79,2	69,9	89,7	101,2	92,5	79,7	92,4	130,0	93,8	148,2	181,8	105,30
CE	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03
MA	36,4	34,9	38,1	45,3	47,2	45,6	54,0	60,5	35,8	67,2	79,3	49,47
PB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PI	23,6	22,5	25,0	33,0	35,8	26,5	42,9	51,1	18,6	58,2	71,1	37,11
RN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
AC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01
AP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,2	0,8	1,2	1,6	1,5	0,61
AM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01
PA	5,8	5,9	7,0	9,1	10,8	14,6	21,2	29,5	37,6	47,0	47,2	21,43
RO	9,0	10,3	11,1	12,1	13,6	16,6	17,7	21,6	21,9	26,3	28,8	17,17
RR	0,6	0,1	0,1	0,3	0,4	1,2	1,0	1,6	1,9	1,3	3,0	1,05
TO	25,8	25,2	28,6	34,4	36,8	44,9	60,3	69,7	55,4	69,4	76,9	47,93
ES	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
MG	73,9	79,3	83,6	84,7	88,5	97,2	96,4	101,5	136,8	153,2	156,7	104,71
RJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
SP	41,7	38,2	40,7	36,6	45,1	53,1	49,2	69,3	80,5	94,8	98,2	58,87
PR	339,9	271,0	405,9	445,3	315,1	459,1	429,6	496,3	493,2	552,6	548,1	432,38
RS	221,2	231,2	301,9	337,5	171,3	367,5	375,7	452,3	467,0	540,0	505,2	360,97
SC	27,3	28,6	39,7	42,9	31,1	45,7	48,1	57,6	61,6	70,5	67,6	47,34
M <sub>ano</sub>	63,8	61,2	73,4	79,8	70,3	87,2	92,6	104,0	102,8	122,4	125,8	NA

Fonte: O autor, 2019