

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
FABIANA GAVELAKI

SAZONALIDADE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA RESIDUAL  
AGRÍCOLA NO ESTADO DO PARANÁ

Curitiba  
2018

FABIANA GAVELAKI

SAZONALIDADE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA RESIDUAL  
AGRÍCOLA NO ESTADO DO PARANÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista. Orientador (a): Prof. Dr. Volnei Pauletti

Curitiba  
2018

## RESUMO

A biomassa que sobra das colheitas de grãos ou fibra, além de ser fonte renovável de energia, é produzida sazonalmente e pode, num estado agrícola como o Paraná, atender a demanda energética local. No entanto, a produção desta biomassa depende da época da colheita das culturas. Esse trabalho objetivou determinar a sazonalidade da oferta de biomassa residual agrícola e do potencial energético dessa biomassa, no estado do Paraná. Para isso foram utilizados dados históricos de produtividade dos últimos 10 anos, das espécies: milho, soja, trigo, cevada, aveia branca e aveia preta. A produção de biomassa foi mais significativa para as culturas de milho e soja, correspondendo à 88% da produção total do Estado, com maior pico de produção nos meses de março, abril, junho e agosto. As culturas de inverno trigo, cevada e aveias contribuíram com uma quantidade menor de biomassa com maiores índices de produção em setembro, outubro e novembro. O potencial médio anual estimado de geração de energia elétrica utilizando a biomassa das culturas avaliadas excede à média de energia utilizada no Paraná, se considerado o uso de 100% da biomassa residual, com maior oferta nos meses de março, abril, junho e agosto. O estudo realizado comprova o grande potencial do Estado do Paraná na produção de biomassa e conseqüentemente de energia renovável, que pode ser gerada através de usinas termelétricas.

Palavras – Chave: Agricultura. Meio Ambiente. Sustentabilidade. Energia Renovável.

## **ABSTRACT**

The biomass left over from grain or fiber crops, besides being a renewable source of energy, is produced regionally and can, in an agricultural state like Paraná, meet the local energy demand. However, the production of this biomass depends on the time of crop harvesting. This work aimed to determine the seasonality of the agricultural residual biomass supply and the energy potential of this biomass in the state of Paraná. For this purpose, historical data on yields of the last 10 years were used: corn, soybean, wheat, barley, white oats and black oats. Biomass production was more significant for corn and soybean crops, corresponding to 88% of total State production, with the highest production peak in the months of March, April, June and August. Winter crops wheat, barley and oats contributed a smaller amount of biomass with higher production rates in September, October and November. The estimated annual average potential of electric energy generation using the biomass of the evaluated crops exceeds the average energy used in Paraná, considering the use of 100% of the residual biomass, with a higher supply in March, April, June and August. The study shows the great potential of the State of Paraná in the production of biomass and consequently of renewable energy, which can be generated through thermoelectric plants.

Keywords: Agriculture. Environment. Sustainability. Renewable energy.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivo Geral.....	10
2.2. Objetivos Específicos .....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
4.1. Produção de Biomassa Residual.....	14
4.2. Sazonalidade da Biomassa Residual .....	17
4.3. Potencial teórico de produção de eletricidade .....	19
5. CONCLUSÃO .....	26
6. REFERÊNCIAS .....	27

## 1. INTRODUÇÃO

A questão das mudanças climáticas e a sustentabilidade do planeta é um assunto que está cada vez mais presente em nosso dia a dia. O primeiro item ao se lembrar quando fala-se em mudanças climáticas é o aquecimento global, consequência do uso excessivo dos recursos naturais. Isso é causado devido ao aumento da população mundial ou pelo desenvolvimento e uso de novas tecnologias que demandam energia. Este aumento de consumo é estimulado sem a devida preocupação com a reposição ou substituição dos recursos fósseis, responsáveis estes por grande parte da emissão de gases de efeito estufa no planeta.

O sistema climático do planeta é composto por cinco subsistemas principais que contribuem diretamente, isolados ou em conjunto, com a dinâmica do clima e são eles: a atmosfera (gases, partículas e vapor d'água), a hidrosfera (água superficial e subterrânea), a criosfera (parte gelada do planeta), a superfície terrestre (as terras emersas, com diferentes tipos de solo), e a biosfera (conjunto dos seres vivos terrestres e oceânicos) (TILIO NETO, 2010).

O sistema climático também é afetado pela radiação solar distribuída na forma de luz e calor. Quando a luz é emitida pelo sol a Terra intercepta parte dessa radiação, sendo uma parte refletida pela atmosfera para o espaço e outra parte absorvida pelo planeta. Em contrapartida o planeta também emite alguma radiação ao espaço, o que contribui para compensar a radiação recebida pelo sol e assim manter a temperatura do globo estável (TILIO NETO, 2010). A radiação absorvida pelo planeta é feita através de gases presentes na atmosfera e o aquecimento controlado da temperatura consiste no chamado Efeito Estufa Natural.

Os gases de efeito estufa (GEEs) são gases constituintes naturais da atmosfera, em quantidade da atmosfera total eles representam menos de um milésimo, mas desempenham um importante papel na regulação climática global. Destacam-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) (TASSARA, TASSARA e MIYNARZ, 2008). Porém o aumento da concentração desses gases na atmosfera, devido principalmente pela ação antrópica, provoca um desequilíbrio nas concentrações dos GEEs que de acordo com Tilio Neto (2010) causam uma defasagem entre a radiação que entra e que sai da atmosfera promovendo um acúmulo de calor no sistema climático.

A conferência das partes realizada em Paris 2015, na qual foi afirmado o acordo de Paris, reconhece que as mudanças climáticas representam uma ameaça urgente e potencialmente irreversível para o planeta. Orienta que seja implementada uma ampla cooperação entre todos os países com o objetivo de acelerar a redução das emissões globais de GEE. O acordo ainda cita que são necessárias reduções profundas nas emissões globais a fim de manter o aumento da temperatura média global a menos de 2°C.

As principais fontes não renováveis utilizadas para geração de energia e calor, são o petróleo e carvão mineral. Além de serem matérias primas de material fóssil, são recursos finitos e que emitem GEE à atmosfera acelerando o aumento da temperatura. A substituição parcial ou total dessas fontes energéticas por fontes energéticas renováveis é favorecida pela utilização de uma fonte parcialmente natural e de certa maneira permanente. Entre essas fontes pode-se citar o vento que é matéria prima principal para produção de energia eólica; o sol para produção de energia solar através dos painéis fotovoltaicos e as usinas hidroelétricas que utilizam a água. Embora essas fontes sejam menos poluentes e emitam menos GEE, todas causam impactos à natureza, sociedade e economia regional e global.

O Brasil em 2016 segundo a Empresa de Pesquisa Energética-EPE (2017) obteve um total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira de 428,95 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO<sub>2</sub>eq). Para produção de energia elétrica a emissão foi de 101,3 KgCO<sub>2</sub> MWh<sup>-1</sup>. Embora os valores sejam muito menores quando comparados com União Européia, China e EUA, o Brasil já possui ações em desenvolvimento para redução de emissões.

De acordo com dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética-EPE (2017) o Brasil manteve-se no ano de 2016 entre os países com a maior participação de renováveis na matriz energética com 43,5%. A média mundial foi de apenas 13,5%. Em relação a 2015 (41,3%) houve um leve crescimento, devido à queda da oferta interna de petróleo e derivados e expansão da geração hidráulica. A repartição da oferta interna de energia (OIE) é dada da seguinte maneira: biomassa de cana (17,5%); hidráulica (12,6%); lenha e carvão vegetal (8,0%); lixo e outras renováveis (5,4%).

Ainda segundo Empresa de Pesquisa Energética (2017) a participação das energias não renováveis no Brasil em 2015 foi de 56,5%, sendo petróleo e derivados (36,5%); gás natural (12,3%); carvão mineral (5,5%); urânio (1,5%) e outras não renováveis (0,7%). A utilização de fontes renováveis para matriz elétrica no Brasil em

2016 foi de 81,7%, muito superior à média mundial de 21,2%. A geração de energia através da biomassa também é expressiva, foi de 49.236 GWh, com uma participação de 31,0% da geração termelétrica.

Uma fonte de energia renovável que tem crescido no Brasil e que representa uma das estratégias para a mitigação da emissão dos GEE é a energia gerada através da biomassa, a bioeletricidade. Em 2011 a bioeletricidade gerou no planeta 348 TWh, sendo que a biomassa representou 65% do total, os resíduos 22% e o biogás 12% (WORLD BIOENERGY ASSOCIATION-WBA, 2014).

Biomassa é toda a matéria orgânica que pode ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica e é através da biomassa que é produzida a bioenergia. A energia gerada da biomassa pode ser utilizada para gerar calor e eletricidade ou como combustível. Existem três principais formas de conversão de biomassa em energia, classificados por Hinrichs e Kleinbach (2003) em:

1. Combustão direta – a queima de biomassa para produzir calor para o aquecimento de ambientes ou para a produção de eletricidade através de uma turbina de vapor. Qualquer coisa – de resíduos sólidos e sobras de colheitas a madeira – pode servir como combustível para esse processo.
2. Pirólise – a decomposição térmica de resíduos em um gás ou líquido (com um relativamente baixo valor de aquecimento) sob altas temperaturas (500°C a 900°C) em uma atmosfera pobre em oxigênio.
3. Processos bioquímicos – decomposição de resíduos orgânicos em uma atmosfera deficiente em oxigênio – com a produção de gás metano (digestão anaeróbica) ou a fermentação controlada para a produção dos álcoois etanol e metanol.

Diferentes fontes de materiais podem ser utilizadas para produção de energia entre elas: os vegetais não lenhosos como o bagaço da cana de açúcar, responsável por 80,7% da produção brasileira e sendo a principal biomassa empregada para geração elétrica no Brasil (TOMAQUIM, 2016); e os lenhosos como pinus e eucalipto; lixo; e resíduos orgânicos que são classificados em agropecuários como o esterco e urbanos como lixo residencial e industrial. Segundo Tomaquim (2016), o aproveitamento energético de coprodutos da agricultura e da pecuária além de disponibilizar uma fonte de energia limpa, sustentável e, com grande potencial econômico, agrega valor às cadeias produtivas de base rural. Porém para que as fontes de energia sejam limpas, sustentáveis e com potencial econômico devem estar de acordo com o sistema de manejo que empregarem.

A biomassa também pode ser oriunda dos resíduos que sobram no campo como resíduo da produção agrícola, a exemplo da cana. Embora uma parte da biomassa possa ser utilizada, há a preocupação com a retirada da biomassa da



superfície do solo e os efeitos negativos que podem ser causados à ciclagem de nutrientes, atividade microbiana, controle de plantas daninhas, estabilidade dos agregados e erosão (PIERRI et al, 2016). Porém, estudos realizados por Powers et al. (2011) comprovam que a biomassa residual agrícola destinada à produção de energia é ambientalmente segura e que a utilização de 25% a 30% do total produzido possui pouco efeito sobre as perdas de solo por erosão.

Contudo é necessário também classificar a biomassa quanto a sua qualidade e analisar qual biomassa possui o melhor rendimento e se qualquer fonte pode ser usada. Segundo Friedl et al. (2005) um importante parâmetro a ser utilizado para avaliar o potencial energético da biomassa é o poder calorífico (PC). Parâmetro que determina a quantidade de energia por unidade de massa liberada na oxidação de um determinado material Pinto (2015), ou seja, é a energia necessária para liberar na queima da biomassa o vapor d'água. O PC é classificado em poder calorífico superior (PCS) de forma que a combustão é realizada em volume constante e a água formada durante o processo é condensada e o calor latente do vapor d'água é recuperado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT, 1984); e classificado também em poder calorífico inferior (PCI), considerado como a energia de fato disponível após descontar as perdas ocorridas devido a evaporação da água na combustão (JARA,1989). Quanto melhor a qualidade da biomassa maior é o valor de PCI e menor a poluição emitida pela biomassa, pois de acordo com Genovese, Udaeta e Galvão (2006) o CO<sub>2</sub> emitido durante a queima da biomassa é reabsorvido no processo de fotossíntese da planta, tornando assim a emissão desse gás poluente praticamente nula.

No entanto, cada espécie cultivada possui um ciclo diferente de produção, gerando quantidades de biomassa que variam nas diferentes épocas do ano. Também é possível, especialmente nas regiões tropicais do Brasil e do Paraná, realizar dois cultivos no verão, totalizando até três safras por ano. Além disso as biomassas também diferem quanto ao PC.

Com isso, determinar a variação na oferta de biomassa e respectivo potencial de geração de energia ao longo do ano é a base para um estudo de implantação de uma termoelétrica. Sendo assim o material disponível da colheita agrícola poderia atender demandas locais de energia, gerando empregos e reduzindo a emissão de GEE, sem comprometer a qualidade do solo e a produção de alimentos (OKELLO et al., 2013).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Identificar a sazonalidade da oferta de biomassa residual agrícola e do potencial energético desta biomassa, considerando as principais espécies agrícolas cultivadas no estado do Paraná.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Estimar o potencial energético de diferentes culturas agrícolas através da produção de biomassa residual;

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido considerando as informações contidas na base de dados da Secretaria da Agricultura e Abastecimento-SEAB (2017) do Paraná. Os dados foram divididos de acordo com a divisão regional utilizada pela própria SEAB, considerando suas regionais administrativas (figura 1): Centro-Oeste que compreende a regional de Campo Mourão; Noroeste: Paranavaí e Umuarama; Norte: Apucarana, Cornélio Procópio, Ivaiporã, Jacarezinho, Londrina e Maringá; Oeste: Cascavel, Toledo; Sudoeste: Francisco Beltrão e Pato Branco; região Sul: Curitiba, Guarapuava, Irati, Laranjeiras do Sul, Paranaguá, Ponta Grossa e União da Vitória. Os municípios que compõe cada regional podem ser observados na figura 1.

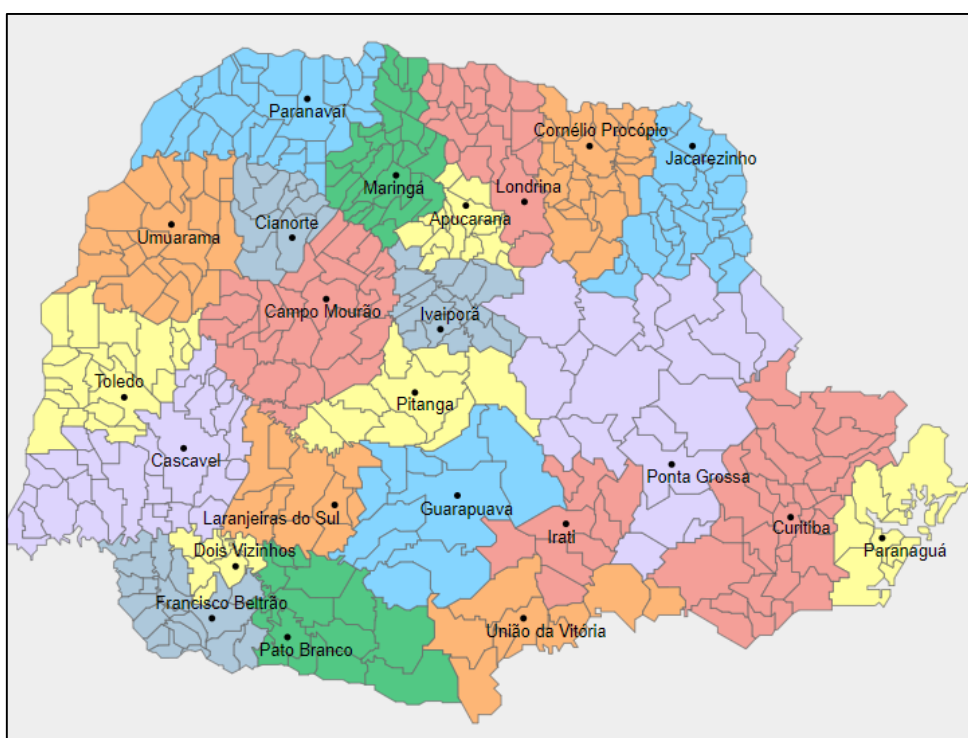


Figura 1: Distribuição das Regionais no estado do Paraná (SEAB, 2017)

Foram analisados os dados de área cultivada, produção total de grãos e produtividade individualmente para cada regional da SEAB, nas safras compreendidas de 2007/2008 a 2016/2017. As espécies agrícolas analisadas foram milho primeira e segunda safra, soja primeira e segunda safra, trigo, cevada, aveia branca e aveia preta.

A partir dos dados individuais obtidos para cada região calculou-se a produção total de grãos por região e a produção total do Estado somando-se todos os valores.

O cálculo da estimativa de produção de biomassa residual foi realizado através dos dados de produção total e o índice de colheita (IC) de cada cultura. O IC representa a quantidade de grãos presentes na biomassa aérea da planta e é calculado a partir da equação 1 (Pierre et al, 2016):

$$PBR = \frac{(PG)}{IC} - PG \quad \text{Equação 1}$$

Sendo: PBR – produção de biomassa residual (kg.ha<sup>-1</sup>); PG – produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), IC – índice de colheita.

Os ICs das culturas analisadas Pierre et al (2016) foram: milho = 0,49; soja = 0,52; trigo = 0,53; cevada = 0,61; aveia branca = 0,56 e aveia preta = 0,25.

A produtividade de biomassa residual em (kg.ha<sup>-1</sup>) foi calculada através da divisão da produção de biomassa residual (PBR) pela área de produção (ha).

Na determinação da sazonalidade da biomassa residual foi considerado o valor total de produção de biomassa do Estado do Paraná para cada cultura e safra no período de 10 anos e o calendário de colheita das espécies agrícolas do Paraná (SEAB, 2017). Os dados dispostos no calendário de colheita são expressos em percentagem em cada mês do ano para cada safra. No presente estudo foi utilizada a média mensal da percentagem de cada cultura e safra no período de 10 anos.

Com os dados de percentagem de colheita mensal e os valores da biomassa residual total do Estado, foi possível determinar a quantidade de biomassa gerada por mês e estimar a quantidade de energia elétrica gerada por cultura e período.

Na determinação do potencial teórico de produção de eletricidade através da biomassa residual foi utilizada a equação (2) segundo Ambrósio (2013):

$$E = \frac{(PCS)}{C1} . C2 . BS \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

E - Energia obtida com a queima da biomassa (kWh ha<sup>-1</sup>);

PCS - Poder calorífico superior (Kcal kg<sup>-1</sup>);

C1 – Coeficiente para transformar a unidade Kcal para kWh (1 kWh = 860 Kcal) (MME, 2012);

C2 – Eficiência média das caldeiras igual a 20% (Nogueira e Lora, 2003);

BS – Biomassa seca (kg ha<sup>-1</sup>).

Os valores de PCS utilizados para cada cultura foram obtidos de Pierri et al (2016), sendo o PCS do milho de 18,6 MJ Kg<sup>-1</sup>, da soja 18,4 MJ Kg<sup>-1</sup>; do trigo 17,3 MJ Kg<sup>-1</sup>; da cevada 17,3 MJ Kg<sup>-1</sup>; da aveia branca 18,1 MJ Kg<sup>-1</sup> e da aveia preta 18,1 MJ Kg<sup>-1</sup>.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Produção de Biomassa Residual

A média de colheita das espécies no período de 10 anos avaliado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Percentagem de área colhida, das principais espécies de grãos cultivadas no Estado do Paraná, num período de 10 anos, nas safras de 2007/2008 a 2016/2017

Cultura	ÁREA COLHIDA %											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	2007/2008-2016/2017											
Aveia Branca	-	-	-	-	-	-	0,6	8,2	37,7	33,4	18,9	1,3
Aveia Preta	-	-	-	-	-	-	0,1	6,5	32,8	41	17,6	1,9
Cevada	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,8	12,1	76,4	10,6
Milho 1° Safra	1,1	17,1	34,3	36,3	9,1	1,4	0,6	0,1	-	-	-	-
Milho 2° Safra	-	-	-	0,1	1,3	4,3	21,9	51,5	19,2	1,8	-	-
Soja 1° Safra	2	19,3	43,6	31,1	4	-	-	-	-	-	-	-
Soja 2° Safra	-	1,2	5	4	29,8	53,9	6,1	-	-	-	-	-
Trigo	-	-	-	-	-	-	-	5,3	37	34,1	20,2	3,3

Fonte: SEAB (2017)

Observa-se que o milho 1° safra possui uma percentagem de área colhida maior no primeiro semestre, destacando-se os meses de março e abril, com 34,3% e 36,3% respectivamente. O período de produção para o milho 1° safra ou safra de verão de acordo com o Conab (2017) é realizado de setembro a dezembro e colheita com previsão de janeiro a junho, período onde se observa maior colheita para a cultura. Já o milho 2° safra ou safrinha foi colhido principalmente em julho, agosto e setembro com 21,9%, 51,5% e 19,2% de área colhida, respectivamente. Segundo a Companhia Nacional do Abastecimento-CONAB (2017) o período de semeadura é de janeiro a abril e a colheita de maio a setembro, o que confirma as maiores percentagens de colheita da cultura no Paraná. Porém a variação entre período de colheita pode estar relacionada ao fato do milho ser uma cultura de grande flexibilidade e assim a melhor época para semeadura é avaliada de acordo com as características climáticas de cada região.

No calendário de plantio e colheita da Companhia Nacional do Abastecimento-CONAB (2017) a soja 1°safra tem o seu período de semeadura de setembro a

dezembro e a colheita de janeiro a abril. Dado observado na Tabela 1 onde os meses de maior colheita para soja foram fevereiro, março e abril com 19,3%, 43,6% e 31,1%, respectivamente.

As culturas de inverno, ou seja, aveia branca, aveia preta, cevada e trigo têm seus períodos de semeadura de abril a julho e o período de colheita de outubro para a cevada, e os meses de agosto a dezembro para as demais culturas estudadas (COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO-CONAB, 2017).

A produção de grãos atingida para o estado do Paraná nas culturas de milho, soja, trigo e cevada ficaram acima da média nacional para o mesmo período de safra (COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO-CONAB, 2017) (Tabela 2).

Tabela 2: Produção anual total de grãos (PTG), área colhida (AC), produtividade de biomassa (PB) e produção total de biomassa (PTB) das principais espécies de grãos cultivadas no Estado do Paraná, na média de um período de 10 anos, das safras de 2007/2008 a 2016/2017.

Cultura	PTG (t)	AC (ha)	PB (t ha <sup>-1</sup> )	PTB (t)	%
2007/08 - 2016/17					
Aveia Branca	127.577	54.842	1,54	102.145	0,27
Aveia Preta	185.874	146.162	4,19	561.758	1,94
Cevada	171.276	46.883	1,84	109.814	0,28
Milho 1° Safra	6.143.572	831.916	7,29	6.394.330	19,39
Milho 2° Safra	8.923.344	1.858.849	4,51	9.287.562	26,83
Soja 1° Safra	14.480.034	4.640.152	2,81	13.366.185	41,69
Soja 2° Safra	153.371	86.316	1,65	156.472	0,45
Trigo	2.863.943	1.106.983	2,58	2.981.087	9,15
Total	33.048.991	8.772.101	3,51	32.959.353	100

Fonte: SEAB (2017)

Embora o Paraná represente apenas 2,3% da área total do Brasil, o estado mostrou significativa produção de biomassa agrícola, com aproximadamente 33 milhões de toneladas por ano (Tabela 2). O que representa condições vantajosas ao desenvolvimento agrícola, bem como, no uso de energia renovável através da biomassa frente à média nacional. Para Cuiping et al. (2004) um fator determinante para um bom rendimento dos resíduos é o tipo de cultivo e a localização de cultivo das plantas devido as variações de clima e de solo. O Paraná possui um solo fértil e com características que favorecem a produção de diferentes culturas, em especial milho e soja.

O milho e a soja foram as espécies avaliadas que mais contribuíram para a produção de biomassa. As duas espécies representaram 88% do total produzido

(Tabela 2). A espécie mais cultivada no estado nos 10 anos de estudo foi a soja com 4.726.468 ha, sendo o milho a segunda mais cultivada com 2.690.765 ha. E apesar da menor área de plantio destinada ao milho esta espécie proporcionou maior produção de grãos e de biomassa. Estes dados concordam com Pierri et al (2016), que afirma que apesar do milho apresentar uma menor área de cultivo, possui uma alta produtividade de biomassa, sendo assim a espécie estudada com o maior potencial para geração de energia a partir da biomassa agrícola residual.

Na avaliação das culturas de inverno, o trigo apresentou uma expressiva produção de biomassa em comparação às demais, com 9,1% do total, este alto índice está relacionado à importância do trigo para o sistema de produção, pois no inverno esta espécie exerce o papel de rotação de culturas e a cobertura do solo que contribuem primordialmente para o sistema de plantio direto (BRUM, MÜLLER e KETTENHUBER, 2008).

A cevada e a aveia branca tiveram as menores áreas colhidas e conseqüentemente menores contribuições para a produção de biomassa, com apenas 0,28% e 0,27%, respectivamente (Tabela 2). A aveia preta, embora possua um índice de colheita inferior à aveia branca, como foi cultivada em uma área maior, contribuiu com um total de biomassa produzida de 1,4%. Nesta cultura destaca-se também a alta produtividade de 4,19 t ha<sup>-1</sup>, sendo inferior apenas ao milho. Para Pierri et al (2016), a aveia preta pode ser uma espécie interessante, pois além de contribuir para o propósito agrônômico que é a rotação de culturas, sua biomassa pode ser utilizada para produção de energia.

Para fins de produção de biomassa o milho possui a maior contribuição seguida da soja, sendo menor a contribuição das culturas de inverno devido especialmente à menor área colhida dessas espécies, e portanto, contribuindo para uma menor produtividade de biomassa.

A aveia preta embora tenha gerado valores menos expressivos, é utilizada para cobertura do solo, adubação verde, produção de forragem, feno, silagem e grãos (EMBRAPA, 2000). Também é utilizada na alimentação de bovinos e por ser uma cultura de inverno possui resistência ao frio e também às pragas. Além de servir ao propósito agrônômico na rotação de culturas, pode ser utilizada na geração de biomassa para produção de energia, sem, contudo, concorrer por área para a produção de grãos (PIERRI et al, 2016).



## 4.2. Sazonalidade da Biomassa Residual

Na média das safras estudadas em 10 anos a maior disponibilidade de biomassa ocorreu nos meses de março, abril, junho e agosto (Tabela 3), no intervalo em que a maior parte das áreas de milho e soja foram colhidas (Tabela 1).

Tabela 3: Disponibilidade média de biomassa residual agrícola (mil toneladas) ao longo do ano, das principais espécies de grãos cultivadas no Estado do Paraná no período de 10 anos, nas safras 2007/2008 a 2016/2017.

Cultura	Disponibilidade Média de Biomassa Agrícola (mil toneladas)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	2007/2008-2016/2017											
Aveia Branca	-	-	-	-	-	-	0,6	8	38	34	19	1
Aveia Preta	-	-	-	-	-	-	0,7	37	184	231	99	11
Cevada	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	13	84	12
Milho 1° Safra	70	1093	2193	2321	582	90	38	6	-	-	-	-
Milho 2° Safra	-	-	-	12	116	395	2032	4783	1783	167	-	-
Soja 1° Safra	267	2584	5822	4158	535	-	-	-	-	-	-	-
Soja 2° Safra	-	2	8	6	47	84	10	-	-	-	-	-
Trigo	-	-	-	-	-	-	-	159	1103	1017	603	99
Total	338	3679	8023	6497	1279	569	2081	4993	3110	1462	805	123

Fonte: SEAB (2017)

O maior pico de produção de biomassa ocorreu no mês de março quando 34,3% do milho e 43,6% da soja, ambos da 1° safra, foram colhidos, seguido do mês de abril com alta colheita das safras de verão sendo 36,3% do milho 1° safra e 31,1% da soja 1° safra. Para a segunda safra de soja foi utilizada menor área e por isso uma menor colheita com o maior pico em junho quando 84 mil toneladas foram colhidas, sendo que no mês de dezembro não foi semeado em nenhum ano. Segundo Strieder e Bertagnoli (2016), para que a soja obtenha altos índices de colheita é fundamental um solo fértil e estruturado, com capacidade de infiltração e armazenamento de água, ainda sem presença de camada compactada e de doenças. Outro fator importante é a diversificação de cultivos com a rotação de culturas de inverno e verão o que possibilita também a diversificação dos produtos colhidos e alternância de renda da propriedade agrícola.

Para as culturas de inverno a mais expressiva em produção de biomassa, conforme discutido anteriormente, foi o trigo, com maior pico no mês de setembro, com 1103 mil toneladas de biomassa. As demais culturas embora contribuam em menor quantidade devido a área colhida, tiveram seus maiores picos em setembro e

outubro para aveia branca e preta, respectivamente, e novembro para cevada. Sendo a menor oferta compreendida em parte do verão (dezembro e janeiro).

A média de distribuição da biomassa total produzida durante o ano para cada mês foi calculada através do total de cada cultura por mês (tabela 3) dos dados extraídos da (SEAB, 2017). Obtendo um valor de 8,3%, igualmente observado por Pierri et al (2016), o que confirma que nas mesmas culturas estudadas, embora em anos diferentes, há uma homogeneidade na produção de biomassa. Um fator importante, pois torna estimável a oferta de biomassa para produção de energia.

A oferta de biomassa não é igualmente distribuída ao longo do ano (Figura 1) com os meses de maior disponibilidade sendo fevereiro, março, abril, agosto e setembro, cujo excedente médio em relação a média de biomassa produzida nos 10 anos, aproximadamente 33 mil toneladas, foi de 2514 mil toneladas. No mês de março houve a maior percentagem excedente de produção de biomassa com 24,34% ou 5276 mil toneladas, seguido do mês de abril com 19,71% ou 3751 mil toneladas, devido a maior contribuição do milho e soja. Nos demais meses houve um déficit médio, tomando como base a produção total de biomassa, de 1796 mil toneladas, sendo os meses de menor produção de biomassa dezembro e janeiro com 0,37% e 1,02% e um déficit de 2409 e 2624 mil toneladas respectivamente. Evans, Strezov e Evans (2010) evidenciou a importância do planejamento da disponibilidade de matéria-prima vegetal que é utilizada em caldeiras de maneira a otimizá-la já que a distribuição não é 100% homogênea. Outras alternativas também podem ser utilizadas para compensar os meses que a oferta de biomassa é pequena. Segundo Matsumura, Minowa e Yamamoto (2005) é possível realizar combustão simultânea da biomassa durante a entressafra com material vegetal lenhoso, como cascas de pinus e eucalipto ou carvão.

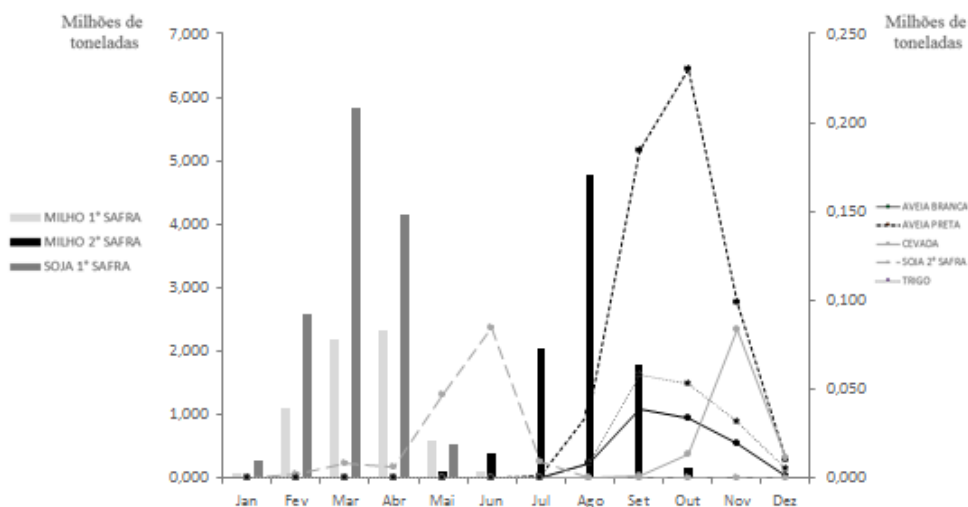


Figura 1: Disponibilidade média da biomassa residual agrícola anual para as principais espécies de grãos cultivadas no Paraná, nas safras 2007/2008 a 2016/2017.

Fonte: Autor (2018)

### 4.3. Potencial teórico de produção de eletricidade

Para o potencial teórico de energia obtido para as principais espécies de grãos do Paraná, as culturas de milho e soja foram as que apresentaram o maior potencial de produção de energia, devido a maior produção de biomassa e por possuírem o PCS mais elevado em comparação às demais. Estas duas espécies respondem por 89% do potencial total da produção (Tabela 4).

Tabela 4: Potencial teórico de produção de energia elétrica anual a partir da biomassa residual das principais espécies de grãos cultivadas no Estado do Paraná, nas safras 2007/2008 e 2016/2017.

Potencial de Produção de Energia (GWh) 2007/08 - 2016/17

Cultura	Biomassa disponível (%)			%
	50	70	100	
Aveia Branca	51	72	102	0,3
Aveia Preta	281	394	563	1,7
Cevada	53	74	106	0,3
Milho 1º Safra	3.305	4.627	6.611	19,7
Milho 2º Safra	4.801	6.721	9.602	28,6
Soja 1º Safra	6.802	9.523	13.604	40,5
Soja 2º Safra	80	112	160	0,5
Trigo	1.433	2.007	2.867	8,5
Total	16.807	23.529	33.613	100

Fonte: SEAB (2017)

O valor estimado do potencial total de produção de energia das seis culturas estudadas no período de 10 anos foi de 33.613 GWh. Considerando o uso de 50% e 70% da biomassa, estes valores ainda se mantêm altos com potencial anual de 16.807 GWh e 23.529 GWh respectivamente.

No Estado do Paraná segundo dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética EPE (2017), o consumo de energia elétrica na média de 10 anos (2007 a 2017) foi de 26.446 GWh, com um crescente valor ao longo dos anos de 2007 a 2014 e um valor estável de 2014 a 2017. Considerando os dados apresentados na (Tabela 4), onde os valores foram obtidos considerando o valor total de biomassa produzida (100%) e a partir dessa, estimado o valor para 50 e 70% do uso da biomassa. Dentre as culturas se fossem utilizadas apenas as biomassas do milho e da soja e considerando 100% biomassa da soja, já poderia ser gerada energia suficiente para atender a demanda média do Estado com um potencial energético de 29.976 GWh e haveria um excedente de 3.530 GWh que poderia ser fornecido a outros estados e conseqüentemente gerar recursos financeiros ao Paraná. Porém, utilizando 50% e 70% da biomassa, seria possível produzir aproximadamente 14.988 GWh e 20.983 GWh respectivamente, ou seja, 56,67% e 79,34% da energia consumida atualmente pelo Estado. Porém se utilizado o potencial fornecido também pelas culturas de inverno este valor se eleva para 16.807 e 23.529 GWh (Tabela 4).

Como a eficiência de conversão termoelétrica pode sofrer uma variação de 20 a 40% Evans et al, (2010), os dados obtidos podem ser ainda maiores, uma vez que para o cálculo do potencial teórico de produção de energia, conforme a equação 1, foi considerado o valor de eficiência média das caldeiras de 20%. Ou seja, a eficiência pode variar de acordo com a usina termoelétrica e com isso obter mais energia. Os valores também podem variar em função da quantidade de biomassa que deve permanecer sobre o solo para o plantio direto e manutenção do sistema, obtendo assim valores reais de potencial energético inferiores (PIERRI et al, 2016).

A média de distribuição do potencial de geração de energia durante o ano foi de 8,3% ao mês, sendo nos meses de fevereiro, março, abril, agosto e setembro a maior disponibilidade de oferta de energia, seguindo a tendência da produção de biomassa. Nos meses de maior produção houve um excedente médio de energia de 2.577GWh, sendo nos meses de março e abril observado um alto índice acima da média com oferta de 5400 GWh e 3849 GWh, respectivamente. Valores alcançados principalmente devido às safras de milho e soja (Tabela 5).

Tabela 5: Potencial médio de geração energia elétrica anual a partir da biomassa residual das principais espécies de grãos cultivadas no Estado do Paraná, nas safras 2007/2008 a 2016/2017

Cultura	Potencial médio de geração de Energia											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	2007/2008-2016/2017											
Aveia Branca	-	-	-	-	-	-	1	8	39	34	19	1
Aveia Preta	-	-	-	-	-	-	1	37	185	231	99	11
Cevada	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,9	13	81	11
Milho 1° Safra	73	1.130	2.267	2.400	602	93	40	7	-	-	-	-
Milho 2° Safra	-	-	-	12	120	408	2.100	4.945	1.844	173	-	-
Soja 1° Safra	272	2.630	5.925	4.232	544	-	-	-	-	-	-	-
Soja 2° Safra	-	2	8	6	48	86	10	-	-	-	-	-
Trigo	-	-	-	-	-	-	-	153	1.061	977	580	96
Total	345	3.762	8.201	6.650	1.313	587	2.151	5.149	3.129	1.428	779	119

Fonte: SEAB (2017)

Avaliando os dados apresentados na Tabela 5 se observa que a oferta de energia não é homogênea ao longo do ano, sendo assim importante elaborar um planejamento para o armazenamento da biomassa produzida nos meses de alta produção. Holdrich, EPP e Witzelsperger (2009) citam que a distância ideal para o transporte da biomassa às caldeiras é de 5Km, para que o custo com transportes não torne economicamente inviável o uso da biomassa como fonte energética. Porém há uma distribuição de biomassa para produção de energia que excede significativamente esta distância, sendo mesmo assim economicamente viável. Devido ao custo dos transportes, são necessários também locais para armazenamento da biomassa produzida nos meses excedentes, fator que contribuiria para uma homogeneidade na distribuição e não haveria efeitos significativos de situações adversas como clima, pragas entre outros, tornando-se uma fonte renovável duradoura.

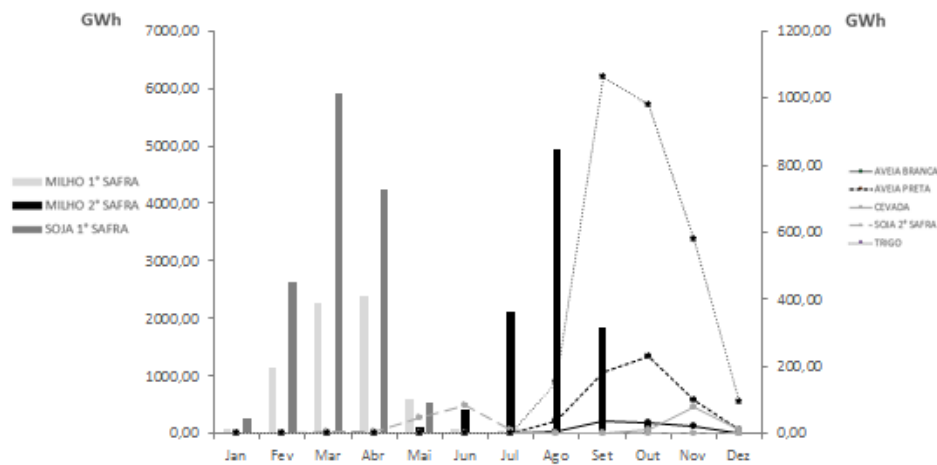


Figura 2: Potencial médio de geração energia anual para as principais espécies de grãos cultivadas no Paraná, nas safras 2007/2008 a 2016/2017.

Fonte: Autor (2018)

Porém nem toda a biomassa residual disponível pode ser retirada do solo para ser utilizada como matéria-prima para produção de energia, pois a biomassa possui uma importante função no sistema de cultivo, especialmente no plantio direto. De acordo com Heckler e Salton (2002) a presença da palha na superfície do solo impede o impacto direto das gotas da chuva sobre o solo; minimiza a erosão, pois atua impedindo o arrastamento de partículas de solo pela chuva; impede que os raios solares penetrem no solo e com isso melhora a infiltração e o armazenamento de água, assim como auxilia a manter a temperatura do solo favorável ao desenvolvimento de plantas e organismos. De acordo com Wilhelm et al, (2004) é recomendável deixar (cerca de 30%) do resíduo no solo para evitar a erosão.

A decomposição da palha é lenta e gradativa o que promove um aumento da matéria orgânica no solo (Heckler et al, 1998). O que aumenta a ação dos microrganismos, contribuindo assim para uma maior disponibilidade de nutrientes às plantas, e conseqüentemente um aumento na produtividade das espécies cultivadas.

Na figura 3 é apresentada a média da produção total do estado e as percentagens de biomassa utilizada.

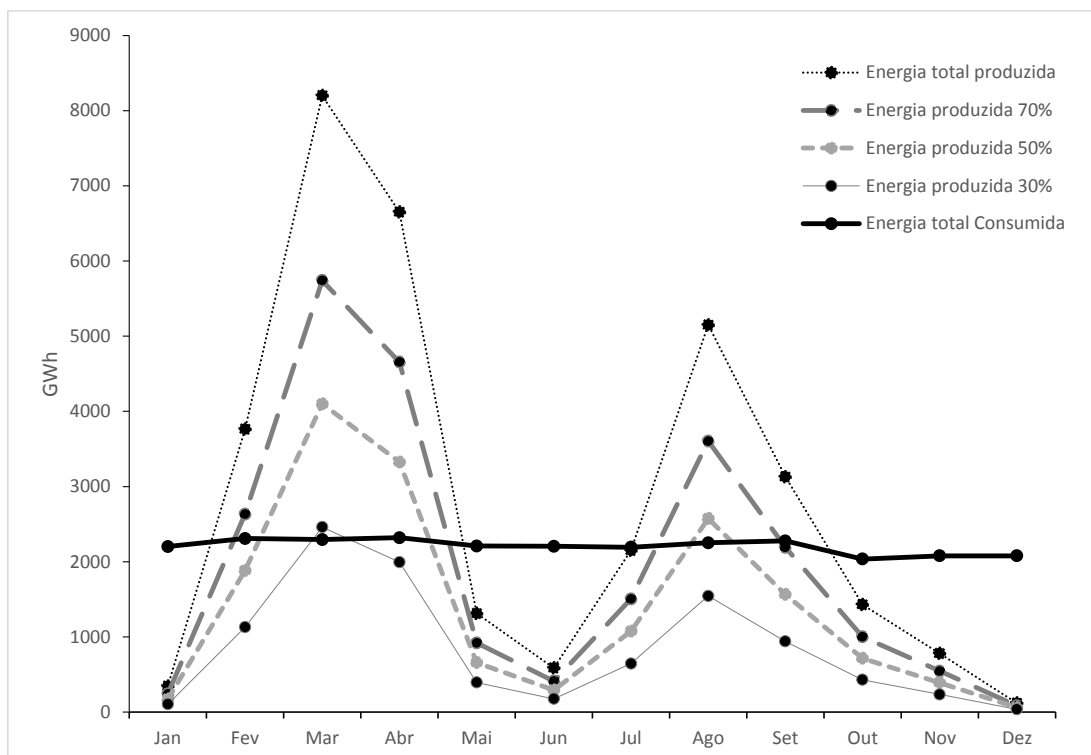


Figura 3: Potencial médio mensal de geração de energia, com o uso de diferentes percentagens de biomassa das principais espécies de grãos cultivadas no Paraná, nas safras 2007/2008 a 2016/2017. Fonte: Autor (2018)

Considerando que a média anual de energia total consumida no Estado é de 26.446GWh, o uso de 100% da biomassa para geração de energia supriria o consumo energético do estado em seis meses com excedente que poderia ser utilizado nos demais meses onde a produção é menor. Porém avaliando que parte da biomassa deve permanecer no solo, a utilização de 50% da biomassa ainda supriria a demanda total dos meses de março, abril e agosto, e nos meses de fevereiro e setembro, próximo ao consumo de energia, suprimindo a demanda de energia anual do estado em 63,5%. Contudo, quando aplicado apenas 30% há um déficit de oferta de biomassa para produção de energia em todos os meses do ano, com excessão de março.

A produção média de biomassa e o potencial de geração de energia produzida através da biomassa nas diferentes regiões do Estado, demonstrando as diferentes produções de cada região.

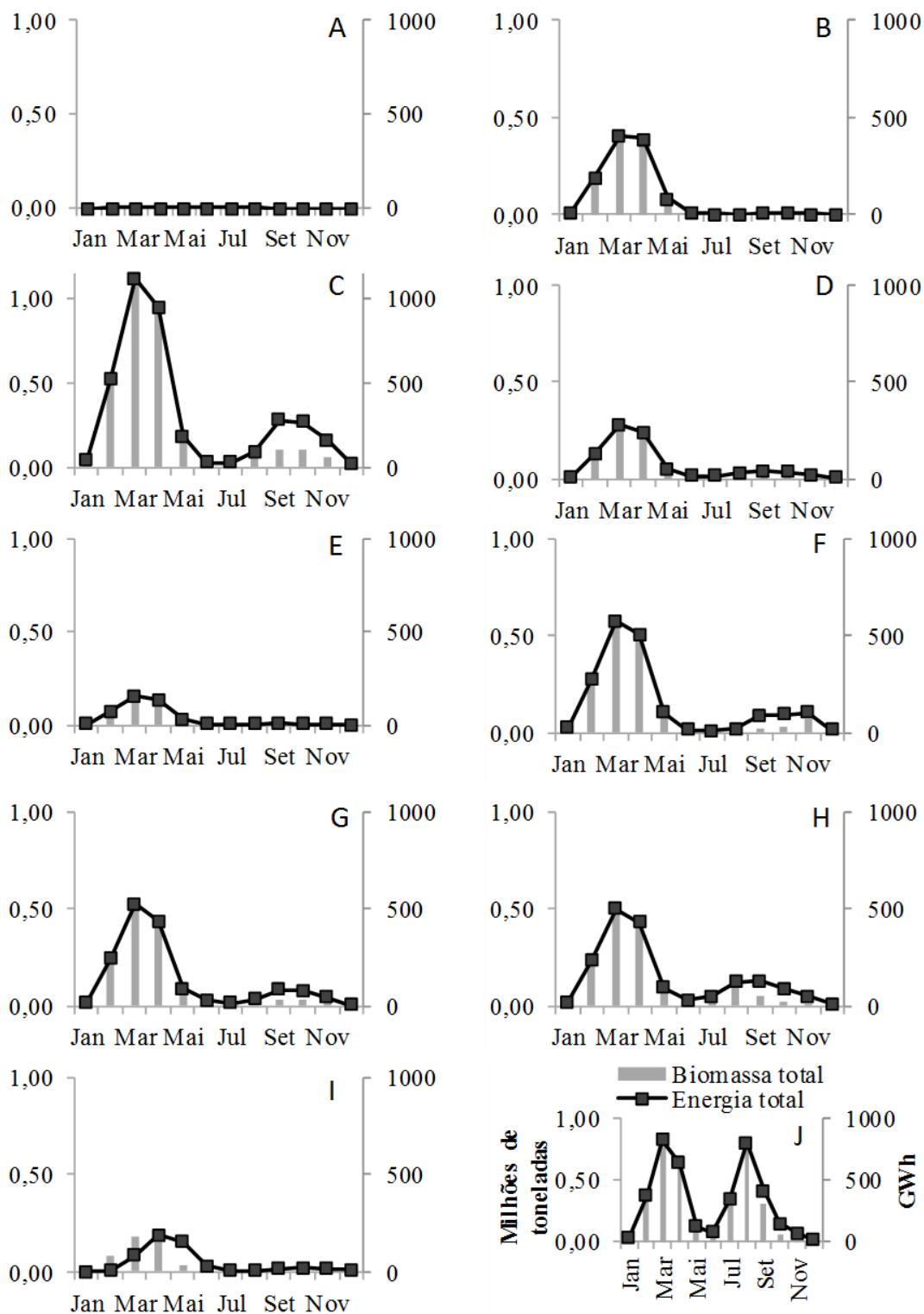


Figura 4: Produção média de biomassa e potencial de geração de energia a partir da biomassa das principais espécies cultivadas no Paraná, de acordo com a regional da SEAB. Paranaguá (A); Curitiba (B); Ponta Grossa (C); Irati (D); União da Vitória (E); Guarapuava (F); Pato Branco (G); Francisco Beltrão (H); Laranjeiras do Sul (I); Cascavel (J).

Fonte: Autor (2018)



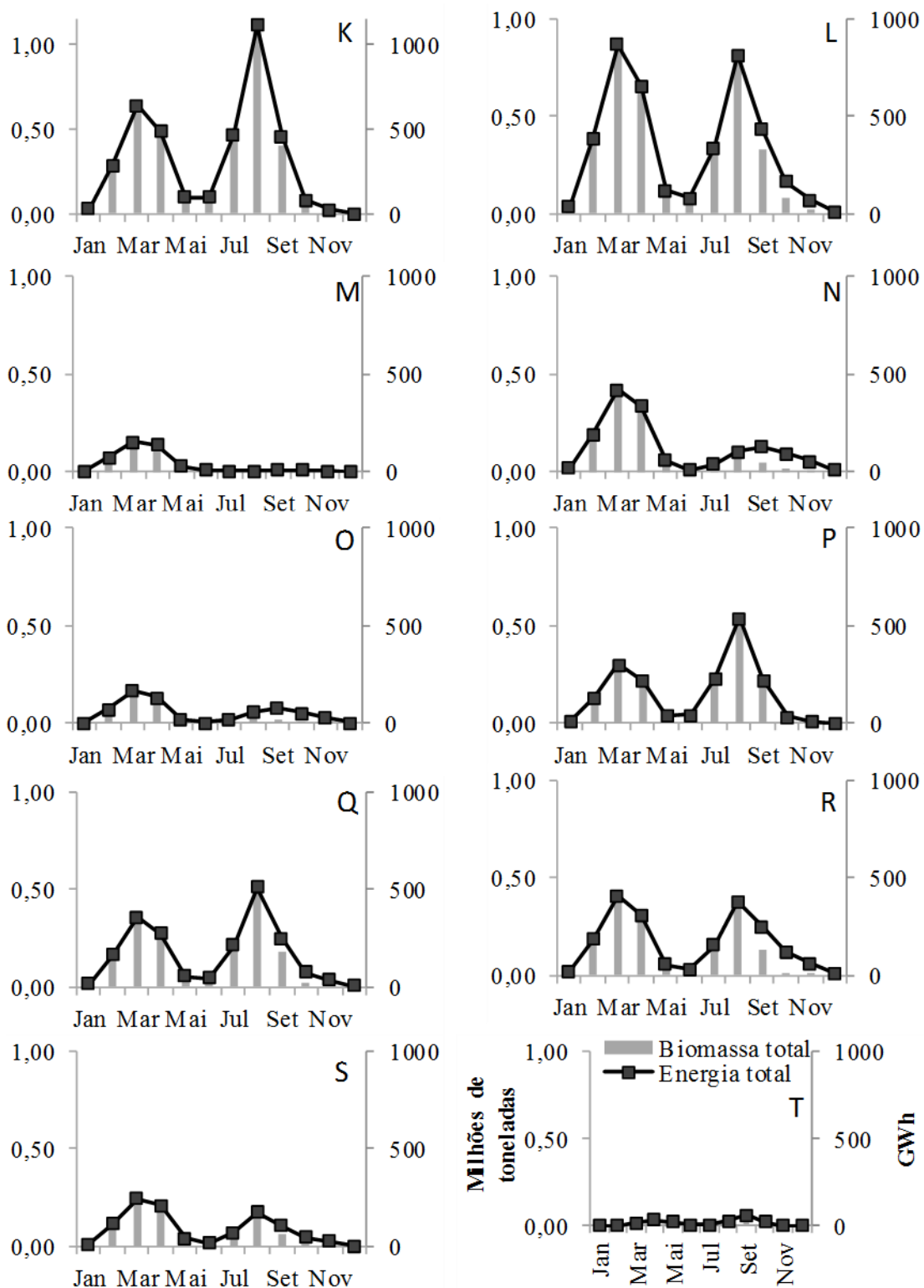


Figura 5: Produção média de biomassa e potencial de geração de energia a partir da biomassa das principais espécies cultivadas no Paraná, de acordo com a regional da SEAB. Toledo (K); Campo Mourão (L); Umarama (M); Ivaiporã (N); Apucarana(O); Maringá (P); Londrina (Q); Cornélio Procópio (R); Jacarezinho (S); Paranavaí (T).

Fonte: Autor (2018)

## 5. CONCLUSÃO

Através do estudo dos dados é possível perceber que as duas espécies mais cultivadas e que contribuem para a geração de biomassa no Estado do Paraná são o milho e a soja e que possuem um intervalo grande de colheita de fevereiro a setembro. Esta condição proporciona uma segurança na instalação de usina termoelétrica que terá um bom período de oferta de matéria-prima, ou seja, biomassa. E para os meses seguintes, embora em menor quantidade, ocorre a colheita das espécies de inverno com maior expressividade para o trigo.

O potencial energético teórico do Paraná está acima da média do consumo real no Estado se considerado o uso de 100% da biomassa residual produzida. Levando em consideração fatores como eficiência da usina, porcentagem que deve permanecer na área e os sistemas de cultivo, especialmente o plantio direto, ainda o uso de 50% da quantidade de biomassa produzida no Estado atenderia a demanda interna de energia em 63,5%.

A colheita, considerando as espécies avaliadas, ocorre praticamente durante o ano todo (fevereiro a outubro). Ou seja, seria viável a construção de uma usina termoelétrica que seria abastecida de matéria-prima regularmente e forneceria energia de maneira constante. No entanto, deve ser avaliada a distância viável economicamente para o transporte da biomassa do local de colheita até a usina.

O uso da biomassa residual da colheita de grãos contribui para a sustentabilidade do planeta por substituir combustíveis fósseis na geração de energia, reduzindo as emissões de GEE à atmosfera e por não competir com a produção de grãos para a alimentação.

## 6. REFERÊNCIAS

AMBRÓSIO, R. Potencial Bioenergético da Biomassa Residual do Milho e Exportação de Nutrientes Considerando Espaçamento Entre Linhas e Adubação Nitrogenada. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8633 Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. São Paulo, 1984.

BRUM, A.; MULLER, L.; KETTENHUBER, P. A realidade da cadeia do trigo no Brasil: o elo produtores/cooperativas. Rev. Econ. Sociol. Rural [online], V46, n.1, p.145-169, 2008.

COP 21 - Conference of the Parties Twenty-first session Paris, 2015. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>. Acesso em: 17/11/2017.

Companhia Nacional do Abastecimento-CONAB Safras (2017). Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>. Acesso em: 06/01/2018.

CUIPING, L.; YANYONGJJE; CHUANGZHI, W.; & HAITAO, H. Study on the distribution and quantity of biomass residues resource in China. Biomass and Bioenergy, 27, P.111-117, 2004.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Aveia: Forragem e Cobertura do Solo, Dourados, MS, 2000.

Empresa de Pesquisa Energética EPE. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese Ano Base 2016 (2017). Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em: 12/11/2017.

EVANS, A.; STREZOV, V.; EVANS, T.J. Sustainability considerations for electricity generation from biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, P.1419-1427, 2010.

FRIEDL, A., PADOUVAS, E., ROTTER, H. and VARMUZA, K. Prediction of Heating Values of Biomass Fuel from Elemental Composition. Analytica Chimica Acta, 544, 191-198, 2005.

GENOVESE, A.L.; UDAETA, M. E. M.; GALVAO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006, Campinas/SP, 2006.

HECKLER, J.C.; SALTON. J.C. Palha: Fundamento do Sistema Plantio Direto. Embrapa, Dourados, MS, nov 2002.

HECKLER, J. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. Palha. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Org). Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Brasília: EMBRAPA-SPI; Dourados: EMBRAPA-CPAO, p. 37-49. (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas), 1998.

HINRICHS, R.; KLEINBACH, M. H. Energia e meio ambiente. São Paulo: Thomson, p. 445, 2003

HÖLDRICH, A.; EPP, C.; WITZELSPERGER, J. Feasibility study for mixed biomass pellets production in the German sample region: Straubing, Bavaria. Munich, WIP Renewable Energies, 20p,2009.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica N° 1797)

MATSUMURA, Y.; MINOWA, T.; YAMAMOTO, H. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. Biomass and Bioenergy, 29, p. 347-354,2005.

Ministério de Minas e Energia-MME. Balanço Energético Nacional 2011, Brasília, DF. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br.htm>>. Acesso em 17/02/2018.

NOGUEIRA, L.; LORA, E.E.S. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2ª ed. Rio de Janeiro, Interciência, p. 199, 2003.

OKELLO, C.; PINDOZZI, S.; FAUGNO, S.; BOCCIA, L. Bioenergy potential of agricultural and forest residues in Uganda. Biomass and Bioenergy, 56, p. 515-525,2013.

PIERRI, L.; PAULETTI, V.; SILVA, D. A.; SCHERAIBER, C.F.; SOUZA, J.L.M.; MUNARO, F.C. Sazonalidade e potencial energético da biomassa residual agrícola na região dos Campos Gerais do Paraná. Rev. Ceres, Viçosa, v. 63, n.2, p. 129-137, mar/abr, 2016.

PINTO, C.W. Variação Genotípica e Ambiental no Potencial de Cogeração de Energia Elétrica a partir da Biomassa da Aveia. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

POWERS, S.E.; ASCOUGH II, J.C.; NELSON, R.G.; LAROCQUE, G.R. Modeling water and soil quality environmental impacts associated with bioenergy crop production and biomass removal in the Midwest USA. Ecological Modelling, 222, p. 2430-2447, 2011.

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento-SEAB. DERAL. Estimativa de Safra. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137>. Acesso em:15/09/2017.

STRIEDER, M.L.; BERTAGNOLI, P.F. A Soja no Sistema de Cultivo. Pesquisadores de Soja na Embrapa Trigo. Disponível em: <http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-noticia/8901995/artigo-a-soja-no-sistema-de-cultivo>. Acesso em:16/02/2018

TASSARA, E.; TASSARA H.; MIYNARZ, R.B. Dicionário Socioambiental. Ideias, definições e conceitos. Brasília: Brasil Sustentável, 2008.

TOMALQUIM, M. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa energética – EPE, 2016.

TILIO NETO, P.D. Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais. As mudanças climáticas na ordem ambiental internacional. p. 37-81, 2010.

World Bioenergy Association-WBA. Global Bioenergy Statistics. 2014.

WILHELM, W.W.; JOHNSON, J.M.F.; HATFIELD, J.L.; VOORHEES, W.B.; LINDEN, D.R. Crop and Soils Productivity response to corn residue removal: a literature review. Agron J, v.96, p.1-17, 2004.