

# EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE A PRODUÇÃO DE ARROZ NO SISTEMA DE CULTIVO IRRIGADO E SEQUEIRO NO BRASIL

Elen Presotto<sup>1</sup>  
Gabielli do Carmo Martinelli<sup>2</sup>

## Resumo

Atender a demanda por alimentos, mantendo a eficiência energética dos sistemas produtivos, é um dos grandes desafios no atual contexto mundial. Entretanto, estudos que mensurem a eficiência de sistemas produtivos em arroizais no Brasil ainda são incipientes na literatura. Portanto, o objetivo deste trabalho é mensurar a eficiência do uso de energia para a produção de arroz irrigado e sequeiro no Brasil. Para atender o objetivo proposto, calculou-se os fluxos energéticos equivalente a um hectare de cultivo, considerando todas as atividades ligadas a produção de arroz, incluindo as fases de preparo de solo, plantio e colheita, com o auxílio de dados secundários, tendo como referência os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina para o sistema irrigado e o estado de Mato Grosso para o sistema sequeiro. Ainda, afim de verificar a relação entre a eficiência energética e os custos de produção, acrescentou-se no estudo dois índices. Os resultados obtidos apontam que água (52%), diesel (39%), sementes (5%), máquinas (4%); e diesel (64%), semente (24%), máquinas (11%) consumiram maior parte da energia no sistema de cultivo irrigado e sequeiro, respectivamente. Além disso, o consumo total de energia na produção de arroz foi de 27543,15 Mjha (irrigado) e 4614,35 Mjha (sequeiro). Em geral, a produção de arroz no Brasil, pela cultivar sequeiro, tem se mostrado mais eficiente energeticamente e ainda contribui para o uso e equilíbrio dos recursos hídricos, porém utiliza mais terra se comparada em relação a produtividade de grãos.

**Palavras-chave:** bioeconomia; ecossistema; rizicultura; eficiência produtiva.

## Abstract

*Meeting the demand for food while maintaining the energy efficiency of production systems is one of the major challenges in the current global context. However, studies that measure the efficiency of productive systems in rices in Brazil are still incipient in the literature. Therefore, the objective of this work is to measure the efficiency of energy use for the production of irrigated and dry rice in Brazil. In order to meet the proposed objective, energy flows were calculated on the basis of one hectare of crop, considering all the activities related to rice production, including soil preparation, planting and harvesting phases, with the aid of secondary data. reference the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina for the irrigated system and the state of Mato Grosso for the dry land system. The results obtained indicate that water (52%), diesel (39%), seeds (5%), machinery (4%); and diesel (64%), seed (24%), machines (11%) consumed most of the energy in the irrigated and dry cropping system, respectively. In addition, total energy consumption in rice production was 27543,15 Mjha-1 (irrigated) and 4614,35 Mjha-1 (dryland). In general, rice production in Brazil by the rainforest has been more energy efficient and still contributes to the use and balance of water resources, but uses more land when compared to grain yield.*

**Keywords:** bioeconomics; ecosystem; rhiziculture; productive efficiency

JEL:Q57

---

<sup>1</sup>Economista, Mestra em Economia e Desenvolvimento pela UFSM e Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios – UFRGS; e-mail: <elenpresotto@yahoo.com.br>.

<sup>2</sup>Contadora, Mestra pelo PPGA-UFGD e Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios – UFRGS, e-mail: <gabielli\_martinelli@hotmail.com>.

## 1 Introdução

A agricultura é responsável por utilizar cerca de 40% da superfície terrestre do planeta livre de gelo para produzir alimentos (FOLEY, 2005). Em decorrência do aumento populacional global e mudanças nos padrões de consumo alimentar o setor agrícola torna-se cada vez mais dependente do uso de energia para a produção de alimentos, especialmente em todo o mundo os sistemas alimentares consomem aproximadamente 30% de toda energia disponível (KAZEMI et al., 2016; FAO, 2012). No entanto, o uso excessivo de insumos externos as propriedades podem causar danos ao meio ambiente, desde emissões de gases de efeito estufa até a escassez de recursos naturais, diferindo conforme o tipo de manejo (DELONGE et al., 2016; MARTINELLI et al., 2010).

Dessa forma, nas últimas décadas uma das preocupações que assola a humanidade é como produzir alimentos otimizando a eficiência energética dos sistemas produtivos, de maneira que, os recursos naturais utilizados sejam diminuídos, a fim de evitar a escassez desses, manter o rendimento produtivo, considerando ainda, o equilíbrio entre os efeitos ambientais e energéticos com a produção (MORENO et al., 2010). O uso efetivo de energia na agricultura é uma das condições para a produção agrícola sustentável, pois ajuda a economizar recursos financeiros e ambientais através da substituição e redução de combustíveis fósseis, minimizando assim a poluição ambiental (UHLIN, 1998; MOHAMMADI et al., 2008).

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, devido sua vasta extensão territorial, áreas produtivas férteis, clima e recursos naturais abundantes (MARTINELLI; FILOSO, 2009). Atualmente, o País também é o terceiro maior exportador mundial de produtos agropecuários, em destaque, soja, cana-de-açúcar, café, cereais e carne bovina (FAOSTAT, 2014). Dentre esses principais produtos o arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo. De acordo com a *United States Department of Agriculture* (2018a), no ano de 2019 estima-se que a produção global de arroz supere 0,45 milhões de toneladas quando comparado ao ano anterior, totalizando 487,8 milhões de toneladas, resultando no principal alimento básico para mais da metade da população mundial.

No Brasil, foram utilizados 1.944,0 mil hectares para a produção de arroz na safra de 2017/2018. O País está entre os maiores produtores de arroz (USDA, 2018b). A rizicultura é praticada por duas técnicas de cultivares, o irrigado e o sequeiro, sendo a região Sul, principalmente os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina responsáveis por cerca de 75% da produção nacional, através do sistema irrigado. Já o restante da produção concentra-se nos estados do Mato Grosso, Maranhão e Roraima com o cultivo de arroz sequeiro (CONAB, 2018).

Neste sentido, em decorrência do arroz ser expressivamente consumido tanto nos países desenvolvidos como em desenvolvimento, atender a demanda desse cereal exige dispêndio de energia, uma vez que, se faz necessário nas operações agrícolas, a utilização de insumos (fertilizantes, água, combustível fóssil) e trabalho humano (AGHAALJKHANI et al., 2013). Logo, a quantidade utilizada de recursos renováveis ou não renováveis na fase agrícola de produção tende a influenciar diretamente a eficiência do sistema produtivo, refletindo na cadeia como um todo. Diante disso, garantir a segurança alimentar, mitigar os Gases de Efeito Estufa (GEE) e diminuir a degradação ambiental é um dos grandes desafios no atual contexto mundial (ALLUVIONE et al., 2011; TALUKDER et al., 2019).

Partindo do pressuposto de que a agricultura é tanto produtora quanto consumidora de energia (Elsoragaby et al., 2019), evidenciou-se na literatura um número crescente de estudos que se preocuparam em mensurar a eficiência energética nos mais diversos sistemas de produção. Como exemplo, cita-se os trabalhos de (Mohammadi et al., 2008) batata, (Sarauskis et al., 2014) milho; (Kazemi et al., 2015) feijão-fava; (Kazemi et al., 2016) canola; (Alimagham et al., 2017) soja e (Yuan et al., 2018) trigo. No entanto, muito pouca atenção foi dada à avaliação da eficiência em sistemas produtivos de rizicultura (AghaAlikhani et al., 2013) Irã;

(Soni et al., 2018) Índia e (Talukder et al., 2019) Bangladesh. Pelo visto, até onde se sabe, ainda não foi comparada a eficiência energética de duas técnicas de cultivares de arroz no Brasil. Isto posto, o objetivo do estudo foi mensurar a eficiência do uso de energia para a produção de arroz no cultivo irrigado e sequeiro no Brasil.

Além disso, o presente estudo está dividido em quatro seções, além dessa introdução. Nas seções dois e três são definidos os procedimentos metodológicos, resultados e discussão, respectivamente; e por fim constam as considerações finais e as referências que embasaram este estudo.

## **2 Material e Métodos**

Esta seção destaca os procedimentos metodológicos que foram usados na construção deste trabalho. Para a realização desta pesquisa utilizou-se o método quali-quantitativo. A fim de mensurar a eficiência do uso da energia para a produção de arroz irrigado e sequeiro no Brasil foi empregada análise energética, contemplando os fluxos energéticos desse processo, com auxílio de dados secundários.

A escolha da área de estudo ocorreu pelo fato do Brasil ter significativa produção nos estados em análise, sendo que o Rio Grande do Sul e Santa Catarina possuem as maiores participações em relação a produção nacional de arroz irrigado 77% e 11% do total produzido, respectivamente. Enquanto que o estado do Mato Grosso tem destaque na produção nacional de arroz sequeiro, produz cerca de 37% do total. Conjuntamente, os estados estudados produzem aproximadamente 84% da produção total de arroz no Brasil (CONAB, 2018). Dessa forma, dois fatores motivaram a elaboração dessa pesquisa: primeiro, a disponibilidade de dados atuais; e o segundo em função da representatividade dos estados na produção nacional, conforme exposto anteriormente. Então, espera-se que estes estados sejam um espelho para os demais estados produtores do cereal no País.

### **2.1 Fonte de dados**

Os dados deste estudo foram secundários, sendo coletados no banco de dados da AGRIANUAL referente ao ano de 2018. Os mesmos são provenientes da produção de arroz irrigado e sequeiro, em que o cultivo de arroz irrigado foi representado pela região Sul<sup>3</sup> e o sequeiro pelo estado do Mato Grosso. Além disso, a quantidade de hora máquina utilizada em cada etapa da produção foi contabilizada pelo consumo de diesel<sup>4</sup>, já o gasto com maquinário foi calculado pelo tempo de trabalho da máquina durante o processo de produção para ambos os sistemas de cultivo, conforme o estudo de (KAZEMI et al., 2015).

Este estudo considera a energia utilizada, como insumos na produção de arroz, desconsiderando os recursos renováveis da natureza, como a radiação solar, chuva e vento. Em resumo, as variáveis observadas nos dois sistemas de cultivo são: trabalho humano, maquinário, combustível (diesel), fertilizantes, químicos, água, sementes e a quantidade produzida de arroz. Estas variáveis, foram utilizadas para investigar o padrão de energia na produção de arroz. As informações básicas sobre os componentes energéticos e produção de arroz foram calculadas a partir de planilhas construídas no Excel, multiplicando-se pelos equivalentes energéticos nos diferentes sistemas de cultivo e posteriormente executando o somatório dos valores encontrados.

A Tabela 1 resume as quantidades utilizadas de cada insumo para a produção de arroz irrigado e sequeiro no Brasil, as respectivas fontes dos dados e a quantidade utilizada de cada variável observada em cada sistema de cultivo.

Tabela 1- Quantidades de fatores para a produção de arroz irrigado e sequeiro por hectare

Itens considerados	Uni.	Irrigado(Quant.)	Sequeiro (Quant.)	Fonte
<b>Entradas</b>				
Trabalho	h	23,75	4,6	Agrianual (2018)
Máquinas	h	15,38	8,36	Agrianual (2018)
Diesel	l	189,56	52	Agrianual (2018)
Fertilizantes				
Nitrogênio (N)	kg	0,130	0,081	Agrianual (2018)
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	kg	0,142	0,208	Agrianual (2018)
Potássio (K <sub>2</sub> O)	kg	0,142	0,156	Agrianual (2018)
Metano (CH <sub>4</sub> )	kg	0,065	0,026	Agrianual (2018)
Químicos				
Herbicida	kg	12,63	3,5	Agrianual (2018)
Inseticida	kg	0,15	2,4	Agrianual (2018)
Fungicida	kg	1	0,48	Agrianual (2018)
Água <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	14000	0,073	Agrianual (2018); Embrapa (2019)
Sementes	kg	100	75	Agrianual (2018)
<b>Saídas</b>				
Grãos	kg	7000	3900	Agrianual (2018)

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da pesquisa.

A partir dos dados observados, se faz possível a conversão destas variáveis em energia. Neste estudo optou-se por utilizar o megajoule (Mj unid<sup>-1</sup>) como unidade de conversão para o cálculo da energia equivalente na produção de cada tipo de cultivo de arroz. Cabe salientar que cada sistema de cultivo possui diferentes quantidades de insumos, como os fatores de produção, sendo que essas variações, conseqüentemente impactam diretamente no aumento ou na diminuição dos custos de produção. A produção de arroz em cultivo sequeiro representa um custo total 2.797,24 (R\$/ha) e 35,86 (R\$/sc 60kg). Já a produção em cultivo de arroz irrigado possui um custo total de 5.087,23 (R\$/ha) como média dos estados RS e SC e 36,34 (R\$/sc 50kg). O custo do m<sup>3</sup> da água foi calculado via estimativa tendo como base o valor da taxa<sup>4</sup> de valores segundo dados da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento).

## 2.2 Análise energética

A Tabela 2 foi construída a partir dos equivalentes de energia para cada uma das fases de produção de arroz em ambos os cultivares. Como já mencionado, não foram encontrados estudos que se calcularam equivalentes de energia das variáveis observadas para o Brasil. Os coeficientes dos equivalentes energéticos definidos na Tabela 2, foram obtidos a partir de trabalhos que abordam o assunto em outros países como o de Kazemi et al., (2015).

<sup>3</sup>Os valores estimados do uso de água para a produção de arroz irrigado e sequeiro foram calculados a partir de dados da Embrapa (2019), a água também foi contabilizada no processo de aplicação de químicos em ambos os sistemas, com 10ml da variável química para cada litro de água.

<sup>4</sup>Mais detalhes de valores disponível em: <<http://www.corsan.com.br/upload/arquivos/201707/03114756-tabela-tarifaria-e-precos-servicos-julho-2017-agergs.pdf>>.

Tabela 2- Valor da energia equivalente de consumo na produção de arroz

Variáveis	Unid.	Energia equivalente (Mj unid <sup>-1</sup> )	Fonte
<b>Entradas</b>			
Trabalho	h	1,96	Kazemi et. al (2015)
Máquinas	h	62,7	Kazemi et. al (2015)
Diesel	l	56,31	Kazemi et. al (2015)
Fertilizantes			
Nitrogênio (N)	kg	66,14	Kazemi et. al (2015)
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	kg	12,44	Kazemi et. al (2015)
Potássio (K <sub>2</sub> O)	kg	11,5	Kazemi et. al (2015)
Metano (CH <sub>4</sub> )	kg	55,56	Kitani et. al (1999)
Químicos			
Herbicida	kg	6,3	Kazemi et. al (2015)
Inseticida	kg	5,1	Kazemi et. al (2015)
Fungicida	kg	3,9	Kazemi et. al (2015)
Água	m <sup>3</sup>	1,02	Kazemi et. al (2015)
Sementes	kg	14,7	Kazemi et. al (2015)
<b>Saídas</b>			
Grãos	kg	14,7	Kazemi et. al (2015)

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da pesquisa.

Os valores de uso de energia equivalentes apresentados na Tabela 2 representam o resumo das atividades observadas e dos insumos utilizados na fase de produção, referente às entradas e saídas do sistema produtivo, bem como o valor de conversão e suas respectivas referências.

A entrada de energia ( $\delta_{entrada}$ ), de cada um dos sistemas de cultivo, é calculada pela multiplicação das quantidades, via Tabela 1, de cada variável pelo valor de equivalência energética (definida na Tabela 2); o somatório da conversão das entradas em energia equivalente representa o total de energia de entrada ( $\sum_{i=1}^N \delta_{entrada}$ ). A energia total produzida é o valor observado de produção multiplicado pelo coeficiente de energia equivalente ( $\sum_{i=1}^N \alpha_{saída}$ ). O valor da energia de saída ( $\delta_{saída}$ ) é calculado pelo valor total da entrada de energia ( $\sum_{i=1}^N \delta_{entrada}$ ) somado ao valor total de energia produzida resultando em  $\sum_{i=1}^N \delta_{saída}$ .

Com base nos valores de consumo energético calculados a partir das entradas, saídas e produção de energia, é possível auferir alguns parâmetros para a análise como a Eficiência Energética ( $\Omega$ ), Produtividade Energética ( $\rho$ ), Energia Específica ( $\Psi$ ) e a Energia Líquida ( $\pi$ ) para o cultivo de arroz irrigado e sequeiro no Brasil, matematicamente definido por:

$$\Omega: \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{saída} (Mjha^{-1})}{\sum_{i=1}^N \delta_{entrada} (Mjha^{-1})} \quad (1)$$

$$\rho: \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_{saída} (kg ha^{-1})}{e \sum_{i=1}^N \delta_{entrada} (Mjha^{-1})} \quad (2)$$

$$\Psi: \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{entrada} (Mjha^{-1})}{\sum_{i=1}^N \alpha_{saída} (kg ha^{-1})} \quad (3)$$

$$\pi: \sum_{i=1}^N \delta_{saída} (Mjha^{-1}) - \sum_{i=1}^N \delta_{entrada} (Mjha^{-1}) \quad (4)$$

em que,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $\delta_{entrada}$ ,  $\sum_{i=1}^N \delta_{entrada}$ ,  $\sum_{i=1}^N \delta_{saída}$  e  $\sum_{i=1}^N \alpha_{saída}$  seguem as definições apresentadas anteriormente e  $\Omega$ ,  $\rho$ ,  $\Psi$ , e  $\pi$  são os coeficientes com os valores a serem calculados.

Intuitivamente, a Equação (1) pode ser interpretada como um Índice de Eficiência Energética ( $\Omega$ ), caso o valor encontrado de  $\Omega = 1$ , significa que a quantidade de energia produzida é igual a quantidade de energia de entrada (gasto com insumos energéticos). Quanto

maior o valor encontrado maior será a Eficiência Energética da produção, ou seja, mais energia consegue-se com menos insumos de entrada.

A Equação (2), calcula a Produtividade Energética ( $\rho$ ), o valor de  $\rho$  calculado define quantos kg de arroz são produzidos com cada unidade de insumo energético de entrada ( $Mj$ ). A Equação (3), calcula a Energia Específica ( $\Psi$ ) que representa o inverso da Equação 2, ou seja,  $\Psi$  caracteriza a quantidade necessária em  $Mj$  para a produção de 1kg de arroz.

Por último, a Equação (4) mensura a Energia Líquida ( $\pi$ ) dos sistemas de cultivos analisados, ou seja,  $\pi$  mensura a quantidade de energia líquida obtida na produção. Se o valor de  $\pi > 1$  representa ganhos de energia, o sistema foi eficiente e produziu mais energia do que foi gasta com a produção, se  $\pi = 1$  a energia gasta foi igual a produzida, o contrário  $\pi < 1$  identifica que a produção de energia foi inferior a energia gasta para a produção.

No desenvolvimento e crescimento de uma planta, a mesma necessita de energia. Dentre as energias essenciais destacam-se a energia natural, como por exemplo, o sol, chuva e várias outras formas de energias armazenadas no solo e a energia auxiliar, que ainda pode ser classificada por tipo de recurso renovável e não renovável, assim como, por tipo de energia, direta e indireta (STOUT, 1990; KAZEMI et al., 2015).

A energia indireta é definida como a energia que é incorporada pelos insumos, como por exemplo, em sementes, fertilizantes, adubo, produtos químicos e maquinários. Ao contrário disto, a energia direta são os recursos de energia física, inclui o trabalho humano e o combustível (diesel) que foram usados para o cultivo nos dois sistemas de produção (KAZEMI et al., 2015). A energia renovável considerada por este estudo é a energia de trabalhos humanos, água e sementes. As energias não renováveis são combustível fóssil (diesel), químicos, fertilizantes e maquinário (STOUT, 1990 e RAMEDANI et al., 2011).

Os indicadores apresentados pelas Equações (1) à (4), são indicadores já mencionados na literatura, este trabalho ainda busca uma relação de custo entre os sistemas de produção e eficiência energética. Por isso, propõe-se analisar a eficiência do uso de insumos e de produção em função dos custos, simulando dois indicadores. Matematicamente, os coeficientes que mensuram a eficiência produtiva de custo ( $\Upsilon$ ) e o coeficiente que calcula a eficiência energética de custo ( $\Theta$ ) são definidos pelas Equações (5) e (6) respectivamente.

$$\Upsilon: \frac{\sum_{i=1}^N \beta_{saída} (R\$ha^{-1})}{\sum_{i=1}^N \alpha_{saída} (Kgha^{-1})} \quad (5)$$

$$\Theta: \frac{\sum_{i=1}^N \beta_{saída} (R\$ha^{-1})}{\sum_{i=1}^N \delta_{entrada} (Mjha^{-1})} \quad (6)$$

O primeiro indicador, mensura quanto custa em R\$ cada kg de produção, ou seja, representa a eficiência produtiva de custo ( $\Upsilon$ ), que é a divisão entre o valor total de energia produzida ( $\sum_{i=1}^N \alpha_{saída}$ ) e  $\sum_{i=1}^N \beta_{entrada}$  representa o somatório de gastos com cada insumo de entrada em R\$. O segundo é relacionado a eficiência energética de custo ( $\Theta$ ), em que mensura o total de gasto em R\$ com insumos ( $\sum_{i=1}^N \beta_{entrada}$ ) e em energia MJ ( $\sum_{i=1}^N \delta_{entrada}$ ). O  $\Theta$  diz respeito a quantidade de gasto em R\$ para cada incremento energético em MJ.

### 3 Resultados e Discussões

Nesta seção será apresentada as principais características do sistema produtivo de rizicultura em dois tipos de cultivares, o irrigado e o sequeiro. Além disso, evidenciam-se as principais entradas (insumos) e saídas (produção) decorrentes da fase de produção dessa cultura, bem como a eficiência do uso de energia, energia específica, produtividade de energia e energia líquida. Diante disso, no Quadro 1 são descritos as quantidades de energia gasta por

elemento utilizado em ambos os cultivares. Em resumo, ilustra-se para cada insumo e serviço o total de energia equivalente em  $Mjha^{-1}$  necessários para produzir arroz em 1 hectare.

Quadro 1-Resumo do consumo de energia de entrada e porcentagem para os dois sistemas

Variáveis	Irrigado Consumo (Mj ha <sup>-1</sup> )	Sequeiro Consumo (Mj ha <sup>-1</sup> )	Irrigado Participação Consumo Total	Sequeiro Participação Consumo Total
<b>Entradas</b>				
Trabalho	46,56	9,02	0,17%	0,20%
Máquinas	964,39	524,17	3,50%	11,36%
Diesel	10674,44	2928,12	38,76%	63,46%
Fertilizantes				
Nitrogênio (N)	8,65	5,38	0,03%	0,12%
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,78	2,60	0,01%	0,06%
Potássio (K <sub>2</sub> O)	1,64	1,80	0,01%	0,04%
Metano (CH <sub>4</sub> )	11,32	4,53	0,04%	0,10%
Químicos				
Herbicida	79,57	22,05	0,29%	0,48%
Inseticida	0,77	12,24	0,00%	0,27%
Fungicida	3,90	1,87	0,01%	0,04%
Água	14280,14	0,08	51,85%	0,00%
Sementes	1470,00	1102,50	5,34%	23,89%
<b>Total</b>	<b>27543,15</b>	<b>4614,35</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da pesquisa.

Verificou-se que existem diferenças significativas entre os dois sistemas, conforme demonstrado no Quadro 1. Por exemplo, é possível perceber que os gastos energéticos com a produção de sequeiro são menores em valores absolutos, assim como sua produção por hectare 3900kg/ha, se comparada com o cultivo irrigado 7000kg/ha. Ainda, se observa que o dispêndio de energia com mão-de-obra no cultivo irrigado é cinco vezes maior que no cultivo sequeiro. Neste caso, demanda-se um número maior de horas homens, especificamente no preparo do solo e irrigação. Além do mais, os resultados demonstraram que as maiores diferenças entre os dois sistemas de cultivo estão no consumo de água, diesel, semente e máquinas.

No entanto, a utilização de água para a produção desse alimento é a variável mais discrepante entre os cultivares analisados. Neste caso, o sistema irrigado gasta  $14280Mjha^{-1}$  de energia para produzir 3100kg/ha de arroz a mais do que o sistema sequeiro. Diante disso, a utilização de água no sistema irrigado configura como a variável que maior impacta no consumo com a energia de entrada na produção, já que o gasto com água no cultivo de arroz sequeiro é praticamente insignificante. A utilização de água no processo produtivo não deve considerar somente as consequências ambientais, como a escassez de recursos hídricos, mas também os impactos econômicos, pois o futuro da agricultura irrigada depende em grande parte de sua sustentabilidade financeira e ambiental (HANDA et al., 2019).

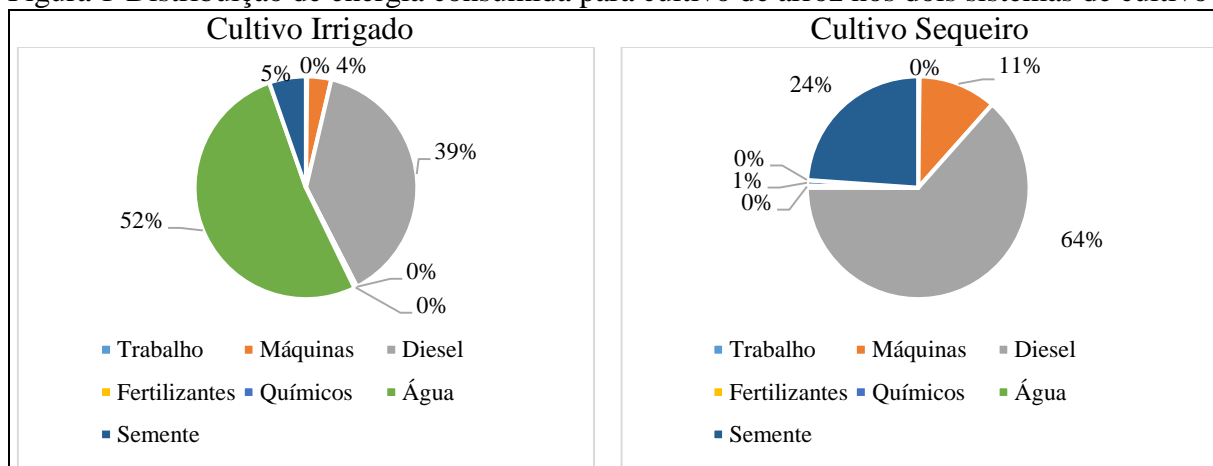
Outra diferença encontrada nos sistemas foi a quantidade de sementes empregada. No cultivar irrigado foram necessários gastar  $1470Mjha^{-1}$  de energia para cada hectare plantado de arroz, representado pela região Sul. Enquanto que no cultivar sequeiro a quantidade diminui, totalizando  $1102,5Mjha^{-1}$ , representado pelo estado do Mato Grosso. Aliás, a variedade da semente utilizada no sistema interfere diretamente na quantidade de insumos químicos, por isso, no cultivo sequeiro necessitou-se de mais inseticida ( $12,245Mjha^{-1}$ ), enquanto que no cultivo irrigado sobressai a utilização de fungicida e herbicida  $3,9Mjha^{-1}$  e  $79,57Mjha^{-1}$ , respectivamente.

A Figura 1 traz de maneira ilustrativa a participação do consumo energético da produção de arroz para cada entrada (descrito no Quadro 1), em percentual. Ao auferir os percentuais, nota-se que alguns elementos impactam mais no consumo energético total da produção, como: água (52%), diesel (39%), sementes (5%), máquinas (4%) para o sistema de

cultivo irrigado; e diesel (64%), semente (24%), máquinas (11%) para o sistema de cultivo sequeiro.

Apesar desse trabalho não considerar o impacto das emissões de Gases de Efeito Estufa na produção de arroz, pode-se observar que trabalhos anteriores Dong et al., (2018); Pratibha et al., (2019) realçaram que quanto mais eficiente energeticamente é um sistema, menor tender ser as emissões desses. Outra evidencia, é que os estudos de AghaAlikhani et al., (2013); Soni et al., (2018); Talukder et al., (2019) corroboram com os resultados do mesmo, uma vez que, o consumo de energia concentra-se principalmente na fase de preparo do solo, além de acionar a maioria das emissões (De Figueirêdo et al., 2013; Nemecek et al., 2011; Santos et al., 2018).

Figura 1-Distribuição de energia consumida para cultivo de arroz nos dois sistemas de cultivo



Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da pesquisa.

A análise da Tabela 3 permite identificar os valores dos coeficientes de energia com maior significância em ambos os sistemas de cultivo proposto neste estudo. Primeiramente, evidencia-se que o coeficiente de eficiência energética ( $\Omega$ ), dos sistemas sequeiro (12,42) e irrigado (3,73) com a condição  $\Omega > 1$  atendida, os sistemas são eficientes energeticamente, ora, produzem mais energia do que consomem na produção, ainda é possível afirmar que a eficiência energética no cultivar sequeiro é superior.

O valor do coeficiente  $\rho$  mensura a produtividade de cada sistema, a cada unidade energética de insumo de entrada, a produção de arroz irrigado é de 0,25kg, enquanto a de sequeiro é de 0,84kg. Em relação a energia específica consumida, o valor calculado de  $\Psi$  indica que para cada kg de arroz produzido nos sistemas de cultivo 1,18  $Mj$  e 3,93  $Mj$  de energia equivalente são consumidas.

Portanto, os valores encontrados nos coeficientes  $\Omega$ ,  $\rho$  e  $\Psi$  são diferentes em relação ao consumo energético para cada unidade de produção dos sistemas, logo, a quantidade de insumos e produção são divergentes entre os sistemas. Em média, a diferença é de 230% entre os coeficientes calculados. Além disso, a energia líquida ( $\pi$ ), indica que o cultivo irrigado de arroz produz mais  $Mjha^{-1}$  de energia, totalizando 75356,85  $Mjha$  (irrigado) e 52715,65  $Mjha$  (sequeiro).

Com estes coeficientes, pode-se chegar à conclusão que a produtividade de arroz irrigado por hectare é maior quando comparado com o sequeiro, porém produzir arroz no sistema de cultivo sequeiro eleva a produtividade energética, por utilizar menos energia nas fases agrícolas. Cabe salientar que para a produção de 7000kg de arroz sequeiro será necessário plantar 1,79 hectares. Da mesma forma, fazendo uma simulação com 1,79 hectares de cultivo de arroz em sequeiro, os valores dos coeficientes  $\Omega$ ,  $\rho$  e  $\Psi$  foram calculados, sendo que, os mesmos mantêm-se inalterados, visto que, a única diferença ocorre na energia líquida ( $\pi$ ), totalizando 94645,83  $Mjha^{-1}$ , caso considere a produção de 1,79 hectares de cultivo em



sequeiro. Cabe salientar, que neste caso não foi incluído no cálculo o uso da terra, ou seja, os resultados poderiam ser diferentes caso os recursos naturais, fossem considerados.

A proposição dos dois índices deste estudo ( $\gamma$  e  $\theta$ ), está associada a visão de custo monetário, buscando relacionar dinamicamente os efeitos da produtividade e a eficiência energética. Em se tratando dos índices que relacionam os custos do cultivo do sistema irrigado e sequeiro, percebe-se que o coeficiente de eficiência produtiva de custos  $\gamma$  tem o mesmo valor para os dois sistemas (0,04). O valor do coeficiente significa que ambos os sistemas possuem o custo de R\$0,04 para cada kg de arroz produzido.

Ao contrário disto, o índice de eficiência energética de custo ( $\theta$ ), indica o gasto com insumos em R\$ para cada  $MJ$  de insumo de entrada. O valor calculado de  $\theta$  é de R\$1,23 na produção no cultivo em arroz irrigado e R\$ 0,60 no cultivo de arroz de sequeiro. Percebe-se que o coeficiente  $\theta$  indica que o sistema de cultivo em sequeiro gasta menos para cada unidade de insumo energético de entrada (R\$0,60 por  $MJ$ ) do que o sistema de cultivo de arroz irrigado (R\$1,23 por  $MJ$ ).

Esta conjuntura, indica que o arroz irrigado demanda mais insumos de produção, e com isso, possui um custo mais elevado também, porém sua produtividade é maior, e precisa de uma menor quantidade de terras se comparado a produção de arroz sequeiro, por exemplo. Logo a visão que se traça é de uma dicotomia entre o uso de terras ou a utilização de água, e como a alocação destes fatores de produção pode alterar a oferta de alimentos.

Tabela 3- Relação de entrada e saída de energia para os cultivos irrigado e sequeiro

Coeficiente	Cultivo Irrigado	Cultivo Sequeiro
<b>Eficiência Energética (<math>\Omega</math>)</b>	3,735	12,424
<b>Produtividade Energética (<math>\rho</math>)</b>	0,254 $kg/Mj^{-1}$	0,845 $kg/Mj^{-1}$
<b>Energia Específica (<math>\Psi</math>)</b>	3,934 $Mj/kg^{-1}$	1,183 $Mj/kg^{-1}$
<b>Energia Líquida (<math>\pi</math>)</b>	75356,85 $Mjha$	52715,65 $Mjha$
<b>Eficiência Produtiva de Custos (<math>\Upsilon</math>)</b>	0,04 $R\$/Kg$	0,04 $R\$/Kg$
<b>Eficiência Energética de Custos (<math>\Theta</math>)</b>	1,23 $R\$/Mj$	0,60 $R\$/Mj$

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da pesquisa.

Ao observar a Tabela 4, pode-se evidenciar que o consumo total de energia foi de 27543,15  $Mjha^{-1}$  e 4614,35  $Mjha^{-1}$  para os cultivos de arroz irrigado e sequeiro, respectivamente. Desse total, a energia direta (sequeiro) e indireta (irrigado) foram as mais representativas. Tal fato pode ser explicado pelo menor quantidade de insumos utilizados na produção de sequeiro, tendo uma maior participação de energia direta (63%), ao contrário disto, influenciada pela alta utilização de insumos no cultivo irrigado a participação de energia indireta é de (61%), esta cifra é alcançada, principalmente, com a utilização da água (83%) de energia indireta total utilizada para o cultivo. Mohammadi et al., (2008) verificou que na produção de batata, assim como no cultivo de arroz em irrigado, cerca de 82% do total de insumos energéticos utilizados na produção era indireto e 18% era direto.

Além disso, atender a demanda por alimentos para as gerações presente e futura exige a utilização de recursos energéticos, sejam de fontes renováveis ou não renováveis, isso se estende para todo o tipo de produção, conforme observado nos trabalhos de Mohammadi et al., (2008); Sarauskis et al., (2014); Alimagham et al., (2017). Neste caso em especial, o cultivo de arroz sequeiro necessita de aproximadamente (76%) de recursos energéticos não renováveis, como: combustível, químicos, fertilizantes entre outros. Já o predomínio no cultivo irrigado é a utilização de recursos renováveis (57%), advinda do consumo de trabalho humano, água e semente. Kazemi et al., (2015), também evidenciou em seu estudo, que em média, 85% do total de energia utilizada na produção de arroz era não renovável, enquanto a contribuição da energia renovável foi 15%, neste caso, produzir arroz no Irã demanda um percentual maior de recursos não renováveis do que no Brasil.

Em consonância com os dados auferidos neste estudo, AghaAlikhani et al., (2013) também verificou que o combustível fóssil, exclusivamente o diesel tiveram a maior participação no total de insumos energéticos utilizados para a produção de arroz no Irã, tanto no sistema tradicional quanto no mecanizado. Isso também pode ser confirmado na produção de tomate Hatirli et al., (2006). Portanto, uma das grandes preocupações desse século é otimizar a utilização de recursos externos as propriedades, afim de diminuir os malefícios causados ao meio ambiente.

Tabela 4- Fornecimento total de energia sob a forma de fonte direta, indireta, renovável e não renovável de produção de arroz nos cultivos irrigado e sequeiro

<b>Itens</b>	<b>Irrigado consumo (Mjha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Sequeiro consumo (Mjha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Irrigado Participação Consumo Total</b>	<b>Sequeiro Participação Consumo Total</b>
Energia Indireta	16822,15	1677,21	61,08%	36,35%
Energia Direta	10720,99	2937,14	38,92%	63,65%
<b>Total</b>	<b>27543,15</b>	<b>4614,35</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Energia Renovável	15796,70	1111,59	57,35%	24,09%
Energia Não Renovável	11746,45	3502,76	42,65%	75,91%
<b>Total</b>	<b>27543,15</b>	<b>4614,35</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da pesquisa.

Os resultados ainda mostram que há uma linha tênue entre a segurança alimentar e eficiência energética, mais especificamente a quantidade de recursos disponíveis e os efeitos do aumento de emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera por atividades humanas (MORENO et al., 2010; BEERLING et al., 2018). Esta dicotomia nos apresenta duas reflexões, a primeira está relacionada à insegurança alimentar, a mesma pode acentuar em função dos impactos relacionados às mudanças climáticas, como condições adversas em regiões de produção agrícola. A segunda está nos esforços em mitigar as mudanças climáticas, através de ações que diminuam as emissões de gases de efeito estufa, estas podem afetar negativamente a segurança alimentar devido ao impacto nos preços e suprimentos, como por exemplo, das *commodities*, no caso deste trabalho o arroz. Os impactos negativos são mais graves em regiões vulneráveis e de baixa renda, como a África subsaariana e o sul da Ásia, onde já existem problemas de segurança alimentar (HASEGAWA et al., 2018).

#### 4 Considerações Finais

O desenvolvimento do presente estudo buscou mensurar a eficiência energética da produção de arroz no Brasil, analisando dois cultivares, o irrigado e o sequeiro. Os resultados alcançados permitem identificar diferenças entre os sistemas produtivos analisados, como: quantidade de insumo, tipo de manejo e produtividade. Além disso, a metodologia utilizada para o cálculo dos coeficientes mostrou-se eficiente em atender os objetivos propostos, fornecendo a distinção entre as diferentes variáveis de entrada, os tipos de energia e insumos utilizados no processo de produção de arroz no Brasil, ainda foi desenvolvida uma análise com a ótica de custos de insumos de entrada.

Ainda, os resultados desse trabalho podem subsidiar informações para os formuladores de políticas públicas, afim de sistematizar ações, não só visando a cadeia produtiva como um todo, mas também o consumidor, de forma que, as emissões de CO<sub>2</sub> sejam mitigadas, evitando que a população sofra crises de abastecimento.

Numa visão global, pode-se verificar a possibilidade de utilizar equilibradamente os recursos naturais na produção, afim de manter a produtividade e diminuir a escassez de recursos, como por exemplo o consumo desnecessário de água no cultivar de arroz irrigado. Todavia a utilização eficiente de energia também pode ser alcançada por meio da reciclagem de nutrientes, priorizando os recursos abióticos (minérios metálicos, fosfato, água) e bióticos (fibra de madeira), para então, evitar o esgotamento dos estoques naturais remanescentes.

Outro ponto importante a ser observado é que os resultados obtidos apontam que água (52%), diesel (39%), sementes (5%), máquinas (4%); e diesel (64%), semente (24%), máquinas (11%) consumiram maior parte da energia no sistema de cultivo irrigado e sequeiro, respectivamente. Além disso, o consumo total de energia na produção de arroz foi de 27543,15 Mjha (irrigado) e 4614,35 Mjha (sequeiro). Além disso, a Eficiência Energética de Custos ( $\Theta$ ) divergiu entre os cultivares, 1,23 R\$/Mj (irrigado) e 0,60 R\$/Mj (sequeiro). Esses montantes evidenciam que em decorrência de uma maior utilização de insumos o cultivar irrigado exige um maior dispendido financeiro.

Em geral, a produção de arroz no Brasil, pela cultivar sequeiro, tem se mostrado mais eficiente energeticamente e ainda contribui para o uso e equilíbrio dos recursos hídricos, porém utiliza mais terra se comparada em relação a produtividade de grãos. Por fim, uma das limitações desse trabalho, foi a ausência de dados primários para avaliar a influência dos recursos renováveis como, radiação solar, chuva e vento na produção de arroz. Por isso, sugere-se que estudos futuros considerem outros estados do Brasil produtores dessa cultura, além de comparar os sistemas produtivos de rizicultura do Brasil com outros países.

## Referências

- Agrianual, Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.agrianual.com.br/>>. Acessado em: 10 de jan. de 2019.
- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., Grignani, C. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy*, v. 36, p. 4468-4481, 2011.
- Alimaghani, S. M., Soltani, A., Zeinali, E., Kazemi, H. Department Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). *Journal of Cleaner Production*, v. 149, p. 621 – 628, 2017.
- Aghaaljkhani, M., Kazemi-Poshtmasari, H., Habibzadeh, F. Energy use pattern in rice production: A case study from Mazandaran province, Iran. *Energy Conversion and Management*, v. 69, p. 157,162, 2013.
- Beerling, D. J. *et al.* Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Natureplants*, p. 1, 2018.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (2018) Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 7 Safra 2017/18 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-139 abril 2018.
- De Figueirêdo, M.C.B., Kroeze, C., Potting, J., Da Silva Barros, V., De Aragão, F.A.S., Gondim, R.S., De Lima Santos, T., De Boer, I.J.M. (2013). The carbon footprint of exported Brazilian yellow melon. *Journal of Cleaner Production*, 47, 404-414. doi:10.1016/j.jclepro.2012.09.01
- Delong, M. S.; Miles, A.; Carlisle, L. Investing in the transition to sustainable agriculture. *Environmental Science & Policy*, v. 55, Part 1, p. 266–273, 2016.
- Dong, G., Wang Z., Mao, Z. emissions reduction potential evaluation in the crop production system based on emergy synthesis and nonseparable undesirable output DEA: A case study in Zhejiang Province, China. *PLoS ONE*, v. 13, n. 11, 2018.
- ElSORAGABY, S., YAHYA, A., MAHADI, M. R., NAWI, M. N., MAIRGHANY, M. Energy utilization in major crop cultivation. *Energy*, v. 173, p. 1285-1303, 2019.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivo do arroz irrigado no Brasil. 2019. Disponível em: <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdepro](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdepro)>

ducaolf6\_1galceportlet&p\_p\_lifecycle=0&p\_p\_state=normal&p\_p\_mode=view&p\_p\_col\_id=column-1&p\_p\_col\_count=1&p\_r\_p\_-76293187\_sistemaProducaoId=5101&p\_r\_p\_-996514994\_topicoId=5524>. Acesso em: 25 fev. 2019.

FAOSTAT (2014). Agriculture, trade and food: country case studies. Chapter 3: Brazil. Disponível em: [http://www.fao.org/3/X8731e/x8731e04.htm#P6\\_53](http://www.fao.org/3/X8731e/x8731e04.htm#P6_53). Acesso em: 14 de março de 2019.

FAO, 2012. Energy-SmartFoodat FAO: An overview. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/015/an913e/an913e.pdf>.

Foley, B. J. Globalisation in historical perspective. *Economic history review*, v. 58, n. 1, p. 229-231, 2005.

Hasegawa, T. et al. Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 8, p. 699, 2018.

Hatirli, S. A., Ozkan, B., Fert, C. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Energy*, v. 31, p. 427–438, 2006.

Handa, D., Frazier, R. S., Taghvaeian, S., Warren, J. G. The Efficiencies, Environmental Impacts and Economics of Energy Consumption for Groundwater-Based Irrigation in Oklahoma. *Agriculture*, v. 9, n. 27, 2019. doi:10.3390/agriculture9020027.

Kazemi, H., Bourkheili, S. H., Kamkar, B., Soltani, A., Gharanjic, K., Nazari, N. M. Department Estimation of greenhouse gas (GHG) emission and energy use efficiency (EUE) analysis in rainfed canola production (case study: Golestan province, Iran). *Energy*, v. 116, p. 694-700, 2016.

Kazemi, H., Shahbyki, M., Baghbani, S. Energy analysis for faba bean production: A case study in Golestan province, Iran. *Sustainable Production and Consumption*, v. 3, p. 15-20, 2015.

Kitani, O.; Jungbluth, T.; Peart, R. M.; Ramdani A. Energy and biomass engineering, vol. v. CIGR - The International Commission of Agricultural Engineering; 1999. p. 13–24. CIGR handbook of agricultural engineering vol. I-V. American Society of Agricultural Engineers, ASAE.

Martinelli, L. A.; Naylor, R.; Vitousek, P. M.; Moutinho, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 2, n. 5, p. 431–438, 2010.

Martinelli, L. A., Filoso, S. Balance between food production, biodiversity and ecosystem services in Brazil: a challenge and an opportunity. *Biota Neotrop.* v. 9, n. (4), p. 21-25, 2009.

Moreno, M. A., Córcoles, J. I., Tarjuelo, J. M., Ortega, J. F. Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. *Biosystems Engineering*, v. 107, n. 4, p. 349-363, 2010.

Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., Keyhani, A. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management*, v. 49, p. 3566–3570, 2008.

Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., Gaillard, G. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agriculture Systems*, 104(3), 217-232. doi:10.1016/j.agsy.2010.10.002.

Pratibha, G., Srinivas, I., Rao, K. V., Raju, B. M. K., Shanker, A. K., Jha, A., Uday Kumar, M., Srinivasa Rao, K., Sammi Reddy, K. Identification of environment friendly tillage

implement as a strategy for energy efficiency and mitigation of climate change in semiarid rainfed agroecosystems. *Journal of Cleaner Production*, v. 214, p. 524-535, 2019.

Ramedani, Z.; Rafiee, S.; Heidari, M.D. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy*, 2011.

Santos, T. de L., Nunes, A.B.A., Giongo, V., Barros, V. da S., Figueirêdo, M.C.B. de. (2018). Cleaner fruit production with green manure: The case of Brazilian melons. *Journal of Cleaner Production*, 181, 260-270. doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.266.

Šarauskis, E., Buragienė, S., Masilionytė, L. Romanekas, K., Avižienytė, D., Sakalauskas, A. Energy balance, costs and CO<sub>2</sub> analysis of tillage technologies in maize cultivation. *Energy*, v. 69(C), p. 227-235, 2014.

Soni, P., Sinha, R., Perret, S. R. Energy use and efficiency in selected rice-based cropping systems of the Middle-Indo Gangetic Plains in India. *Energy Reports*, v. 4, p. 554-564, 2018.

Stout, B. A. *Handbook of energy for world agriculture*. London: Elsevier Applied Science; 1990.

Talukder, B., VanLoon, G. W., Hipel, K. W. Energy efficiency of agricultural systems in the southwest coastal zone of Bangladesh. *Ecological Indicators*, v. 98, p. 641-648, 2019.

USDA (United States Department of agriculture), 2018a. Overview. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/rice/#otherpublications>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2019.

USDA (United States Department of agriculture), 2018b. Grain and Feed Update. Disponível em: [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Grain%20and%20Feed%20Update\\_Brasilia\\_Brazil\\_10-4-2018.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Grain%20and%20Feed%20Update_Brasilia_Brazil_10-4-2018.pdf). Acesso em: 11 de fevereiro de 2019.

Uhlen, H.E. Why Energy Productivity is Increasing: An I-O Analysis of Swedish Agriculture. *Agricultural Systems*, v. 56, n. 4, p. 443-465, 1998.

Yuan, S., Peng, S., Wang, D., Man, J. Evaluation of the energy budget and energy use efficiency in wheat production under various crop management practices in China. *Energy*, v. 160, p. 184-191, 2018. 10.1016/j.energy.2018.07.006.