

1 **Título: Análise da variabilidade do balanço energético para cultura da soja com dados de uma**
2 **fazenda no Oeste da Bahia**

3

4 Aluno: Izael Martins Fattori Junior

5 Nº usp: 9014673

6 Professor responsável: Dr. Thiago Libório Romanelli

7 Disciplina: Fluxo de Energia na Agricultura (LEB5032)

8

9 **Resumo**

10 A cultura da soja tem grande relevância devido ao alto teor de proteína, o que a tornam uma das
11 principais culturas agrícolas do mundo. O Brasil se destaca como o maior produtor da oleaginosa,
12 isso ocorre devido ao aumento na área plantada nos últimos anos. Esse aumento de área ocorre
13 em locais chamados de fronteira agrícola. Essas regiões necessitam de uma grande entrada de
14 insumos para tornar a produção de soja viável. Portanto, entender o balanço energético da soja
15 em regiões de fronteira é importante para avaliar o impacto na sustentabilidade energética desse
16 sistema agrícola. No entanto, não há estudos que analisaram o impacto energético em áreas de
17 abertura e a variabilidade do balanço energético da soja a nível de talhão. Nesse sentido, esse
18 estudo calculou o balanço energético, da soja, para uma fazenda no Oeste da Bahia, com um
19 total de 334 talhões, em três safras. Com intuito de entender as limitações e impactos da
20 variabilidade ambiental e de manejo. Os resultados mostraram um balanço energético de
21 45,155 GJ ha⁻¹ com um desvio padrão de 42% (18,876 GJ ha⁻¹). A variação do BE está altamente
22 relacionado a produtividade da cultura ($R^2 = 0,988$; $p < 0.01$), no entanto a produtividade da
23 cultura não foi explicada pela maior quantidade de insumos em energia ($R^2 = 0,0174$). Das
24 variáveis estudadas a data de plantio apresentou maior correlação com o aumento da
25 produtividade ($R^2 = 0,245$, $p < 0.01$). Apesar disso, áreas de soja de abertura apresentaram um
26 menor desempenho energético, mesmo em datas de semeadura mais favoráveis.

27

28 **Introdução**

29 A soja (*Glycine Max L.*) é uma das culturas mais importantes mundialmente, devido ao seu alto
30 teor de proteína, aliado com a produção de óleo (FAO, 2018). Segundo dados da USDA (2017), o
31 farelo de soja representou, em média, nas últimas cinco safras, o equivalente a 69% de toda a
32 proteína de origem vegetal produzida mundialmente. Para suprir essa demanda, a produção
33 mundial é de 340,4 milhões de Mg, sendo os principais produtores Brasil, Estados Unidos e
34 Argentina. Com a produção brasileira representando 26% da produção, produzindo 134,0
35 milhões Mg, na safra 20/21 (FAO, 2023).

36 A partir dos dados apresentados, devido ao aumento da produtividade e a expansão para novas
37 áreas, foi possível tornar a produção brasileira como a maior do mundo. Essa expansão está
38 localizada principalmente nas áreas de fronteiras agrícolas. Sendo que a maior fronteira agrícola,
39 atualmente, está localizada na região compreendida pelos estados do Maranhão, Tocantins,
40 Piauí e Bahia (MATOPIBA) (de Araujo et al., 2019). Entre esses estados, a Bahia é o maior
41 produtor desta região com uma área plantada de 1,918 Mha e com uma produção de 7,717

42 milhões de Mg (CONAB, 2023). Para alcançar este posto nos últimos 30 anos foi necessário um
43 aumento na área plantada de soja de 659% e um aumento na produção de 1.726% (IBGE, 2023).

44 Aliado a isso, foi necessário um grande investimento tecnológico para superar barreiras que
45 impediam o crescimento da cultura, como o manejo do sojo, correção do solo e mecanização
46 (Freitas, 2011). Além disso, essa região possui características que favorecem a agricultura
47 mecanizada, como áreas planas em chapadas e depressões. Esse grande investimento de
48 tecnologia e manejos adotados, requerem uma grande quantidade de energia a ser aportada no
49 sistema produtor (de Araujo et al., 2019).

50 Sistemas agrícolas são entidades físicas e termodinâmicas, o que a torna sujeitas a variações e
51 limitações. Nesse sentido, a avaliação, desses sistemas, é importante, para quantificar a
52 quantidade de energia investida no sistema (Veiga et al., 2015). Principalmente em áreas novos
53 onde o investimento de energia é maior. A Análise do fluxo de material e energético são
54 ferramentas importantes que resultam em um detalhamento do sistema e permitem quantificar
55 a energia utilizada em todos os processos (Romanelli et al., 2012; Silber e Romanelli, 2022; Veiga
56 et al., 2015). Além disso, possibilitam calcular índices que indicam a eficiência e sustentabilidade
57 dos sistemas.

58 Diferentes estudos quantificaram o balanço energético na cultura da soja, para regiões
59 brasileiras (Romanelli et al., 2012; Veiga et al., 2015). No entanto, esses estudos utilizaram uma
60 abordagem que coleta dados estatísticos médios para grandes regiões produtoras, o que nem
61 sempre consegue refletir na variabilidade que existem dentro dessas áreas. Ademais, essa
62 variabilidade de manejo e ambiente produtor impacta diretamente no balanço energético da
63 soja (De et al., 2001; Greer et al., 2020). Portanto, não foram encontrados estudos na literatura
64 que quantificam a variabilidade do balanço energético que existe dentro das regiões produtoras
65 brasileiras e em áreas pioneiras na produção de soja. Esses estudos são importantes, para
66 entender como os fatores envolvidos na produção de soja impactam no balanço energético, além
67 de reportar fatores limitantes e oportunidades para manejos mais sustentáveis.

68 Com isso esse estudo teve como objetivo calcular o balanço energético para cultura da soja com
69 um banco de dados de uma fazenda produtora de soja para região do Oeste da Bahia, com 353
70 talhões e analisar o impacto do balanço energético em relação ao manejo e a produtividade
71 obtida em cada campo.

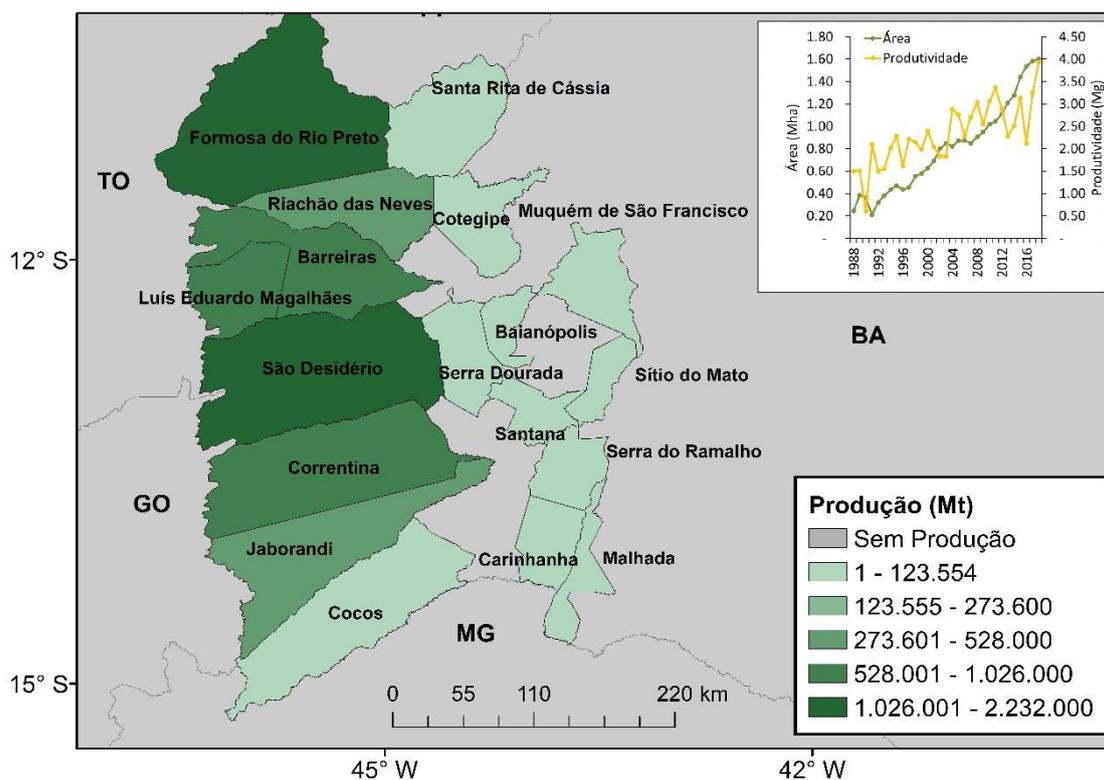
72

73 **Material e métodos**

74 ***Área de estudo***

75 Para o seguinte estudo foram utilizados dados de uma propriedade produtora de soja, localizada
76 no município de Riachão das Neves, Bahia. Os dados foram coletados em nível de talhão, área
77 média de 100ha, totalizando uma área de 15.334 ha, para 3 safras (16/17, 17/18 e 18/19),
78 totalizando 334 talhões. De cada talhão foi coletado dado de (a) material genético; (b) data de
79 semeadura e colheita; (c) população de plantas; (d) análise química e física do solo; (e) manejo
80 de adubação; (f) produtividade final de grão; (g) insumos diretamente utilizados.

81 A soja foi semeada entre os dias de 7 de novembro a 1 de dezembro dos anos de 2016, 2017 e
82 2018. O manejo da cultura foi realizado em sequeiro, seguindo as recomendações da região,
83 para uma produção comercial de soja. As populações de planta variaram entre 12,5 e 31,9 pl m⁻².
84



85

86 Figura 1. Mapa da produção de soja da safra 2017/18 por município, conjunto do gráfico de
 87 produtividade e área plantada de soja, por ano, ambos para o estado da Bahia. Dados de área e
 88 produção e produtividade obtidos pelo IBGE (2023).

89

90 **Estimativa de energia direta**

91 Foram coletados dados de todas as operações realizadas na fazenda, em escala de talhão, para
 92 todos os insumos diretamente aplicados, como fertilizantes, defensivos agrícolas (inseticidas,
 93 herbicidas, fungicidas), corretivos. Entre os dados coletadas estavam, nome comercial,
 94 ingredientes ativos, dose de aplicação e data da aplicação.

95 Esses insumos foram aplicados segundo recomendações agronômicas da região, junto a coleta
 96 de dados de campo, como análise de solo e amostragem de pragas e doenças.

97 Outros insumos diretamente aplicados na área como fertilizantes foliares (micronutrientes) e
 98 produtos biológicos, foram desconsiderados devido ao baixo valores energético.

99 Para determinação da quantidade de energia de entrada direta foi feita uma revisão na literatura
 100 para identificar índices que convertam a unidade de aplicação (massa ou volume) na quantidade
 101 aplicada (Tabela 1).

102

103 Tabela 1. Índices de energia dos insumos direta.

Entrada	Unidade	Índice de energia (MJ unid. ⁻¹)	Referências
N	Kg	66,98	Patzek (2004)
P ₂ O ₅	Kg	17,39	Lockerets (1980)
K ₂ O	Kg	13,64	Lockerets (1980)

Calcário	Kg	1,67	Terhune (1980)
Semente de soja	Kg	31,75	Heichel (1980)
Herbicida	Kg	347,64	Pimentel & Patzek (2005)
Inseticida	Kg	310,87	Sheehan et al., (1998)
Fungicida	Kg	271,77	Pimentel (1980)
Herbicida	l	418,68	
Inseticida	l	184,70	
Fungicida	l	89,28	
Outros produtos	l	205,24	
Grão de soja	Kg	16,83	Pimentel (1980)

104

105 Portanto, de acordo com as doses coletadas em campos, os insumos aplicados foram convertidos
106 em energia de entrada direta (EE_d, MJ ha⁻¹).

$$107 \quad EE_d = \sum_{i=1}^t (Qtd_i * \acute{I}nd_i) \quad (1)$$

108 em que Qtd a quantidade do i-ésimo insumo aplicado (kg ha⁻¹ ou l ha⁻¹) e Índ a energia
109 incorporada no i-pésimo insumo aplicado (MJ unid.⁻¹).

110 Para quantificar o número de sementes semeadas no campo e assim converter em energia, foi
111 considerando o estande de germinação multiplicando por um fator de 1,1, considerando que
112 apenas 90% das sementes germinaram. Para converter o número de sementes em peso de
113 sementes foi usado um peso de mil grãos de 158g.

114

115 **Estimativa de energia indireta**

116 A estimativa de energia indireta está relacionada ao uso de energia pelo uso de máquinas
117 agrícolas para realização de operações. Nisso inclui a depreciação do maquinário, gasto com
118 combustível, mão de obra, e operações como preparo de solo, plantio, tratos culturais,
119 semeadura e colheita. Todos os talhões pertencem a mesma fazenda, portanto os dados de
120 entrada de energia indireta foram os mesmos para todos os talhões, seguindo os valores de
121 Silber (2021) para um genótipo de soja transgênico, sendo o valor usado de 2,61 GJ ha⁻¹. Isso foi
122 feito pois a energia indireta representa uma menor fração se comparada com a direta, além
123 disso, supõem-se que devido aos talhões estarem sujeitos ao mesmo sistema organizacional não
124 há diferenças no uso de maquinário (Romanelli et al., 2012).

125

126 **Índices energéticos**

127 A energia de entrada (EE, GJ ha⁻¹) foi calculada com base na soma da EE_d e da energia de entrada
128 indireta (EE_i, GJ ha⁻¹), equação 2

$$129 \quad EE = EE_d + EE_i \quad (2)$$

130 A energia de saída (ES, GJ ha⁻¹) é a energia gerada pelo produto colhido na lavoura, que nesse
131 acaso é a massa de grão da soja, também chamado de produtividade (Prod, kg ha⁻¹). A massa de
132 grãos foi convertida com base em um índice energético dos grãos (Índ_{grão}, MJ kg⁻¹) que para
133 estudo foi igual a 16,38 MJ kg⁻¹ (Tabela 1). Portanto, ES foi calculado pela equação 3:

$$134 \quad ES = \frac{Prod * \acute{I}nd_{Gr\grave{a}o}}{1000} \quad (3)$$

135 Com a EE e o ES é possível calcular o balanço energético (BE, GJ ha⁻¹) que é dado pela diferença
136 entre a entrada do fluxo de energia e a saída, equação 3:

$$137 \quad BE = ES - EE \quad (4)$$

138 Outro índice importante para analisar fluxos de energia é o retorno sobre o investimento (EROI),
139 que permite determinar a quantidade de energia excedente gerada pelo sistema, equação 5:

$$140 \quad EROI = \frac{ES}{EE} \quad (5)$$

141 Por fim, a energia incorporada (EI, MJ kg⁻¹) foi calculada pela equação 6:

$$142 \quad EI = \frac{EE}{Prod} \quad (6)$$

143

144 **Análise estatística**

145 Os dados de Prod foram correlacionados com os índices energéticos e avaliados com base no
146 índice de determinação R² e a confiabilidade com base no índice p.

147

148 **Resultados**

149 Na média os maiores aportes de energia foram atribuídos a aplicação de calcários nos talhões,
150 com 21,15%, seguido de fertilizantes com fosforo, 16,54% e com potássio 16,25%. Além disso,
151 os valores de fertilizantes e corretivos apresentaram desvio padrão, superior aos demais,
152 indicando que a dose desses insumos variou muito entre os campos (Tabela 2). Com destaque
153 para o calcário, com desvio padrão de 1,266 GJ ha⁻¹ (Tabela 2), esse alto desvio ocorre, pois, a
154 área de estudo apresenta algumas áreas pioneiras na produção de soja, o que demanda altas
155 dose do corretivo.

156 A entrada de energia relativo a semente foi de 1,267 GJ ha⁻¹, o que representa 13,81%, na média,
157 com um desvio padrão de 0,157. Apesar de considerarmos o número de sementes no cálculo
158 energético, o valor não variou muito, o que mostra que esse fator não representa uma
159 variabilidade alta no cálculo de energia direta.

160 Os defensivos agrícolas apresentaram uma fração menor na entrada de energia, com 5,87% para
161 inseticida, 5,08% para fungicida e 3,77% em herbicida. Dentre esses, o herbicida se destaca com
162 maior desvio padrão, 0,571 GJ ha⁻¹. Isso ocorre devido ao manejo da área de estudo, não utilizar
163 doses de herbicidas em todos os talhões. Já o fungicida, apresenta menor desvio padrão, 0,141
164 GJ ha⁻¹, o que representa um tipo de manejo utilizado de maneira recorrente em todos os
165 talhões.

166

167 Tabela 2. Média e desvio padrão da entrada de energia direta para cada uma das classes de
168 insumos.

Insumo	Entrada de energia direta (GJ ha ⁻¹)		
	Média	Desvio Padrão	Fração
Herbicida	0,346	0,571	3,77%
Inseticida	0,538	0,305	5,87%

Fungicida	0,466	0,131	5,08%
N	0,995	0,368	10,84%
P ₂ O ₅	1,518	0,545	16,54%
K ₂ O	1,491	0,520	16,24%
Ca	1,941	1,266	21,15%
Adjuvante	0,616	0,299	6,71%
Semente	1,267	0,157	13,81%

169

170 Dentre os índices energéticos calculados a EEd obteve valor médio de 9,178 GJ ha⁻¹, com desvio
 171 padrão de 2,037 GJ ha⁻¹, o que representa uma variação de 22,19% entre os talhões (Tabela 3).
 172 A EEi foi mantida fixa para todos os talhões, o que resultou em um EE médio de 11,788 GJ ha⁻¹,
 173 sendo 77,85% referente a EEd e 22,14% para EEi. Já o índice ES médio foi igual a 59,943 GJ ha⁻¹,
 174 com um desvio padrão de 17,979 GJ ha⁻¹ (31,57%), o que é um desvio relativo superior ao EEd
 175 (Tabela 3). Nesse sentido, o BE médio foi de 45,155 GJ ha⁻¹, com um desvio relativo de 42,80%
 176 (18,876 GJ ha⁻¹), um desvio padrão relativo, superior ao ES e EEd (Tabela 3). Isso resultou em um
 177 EROI médio de 7,155 GJ ha⁻¹ e um EI de 3,510 (Tabela 3).

178

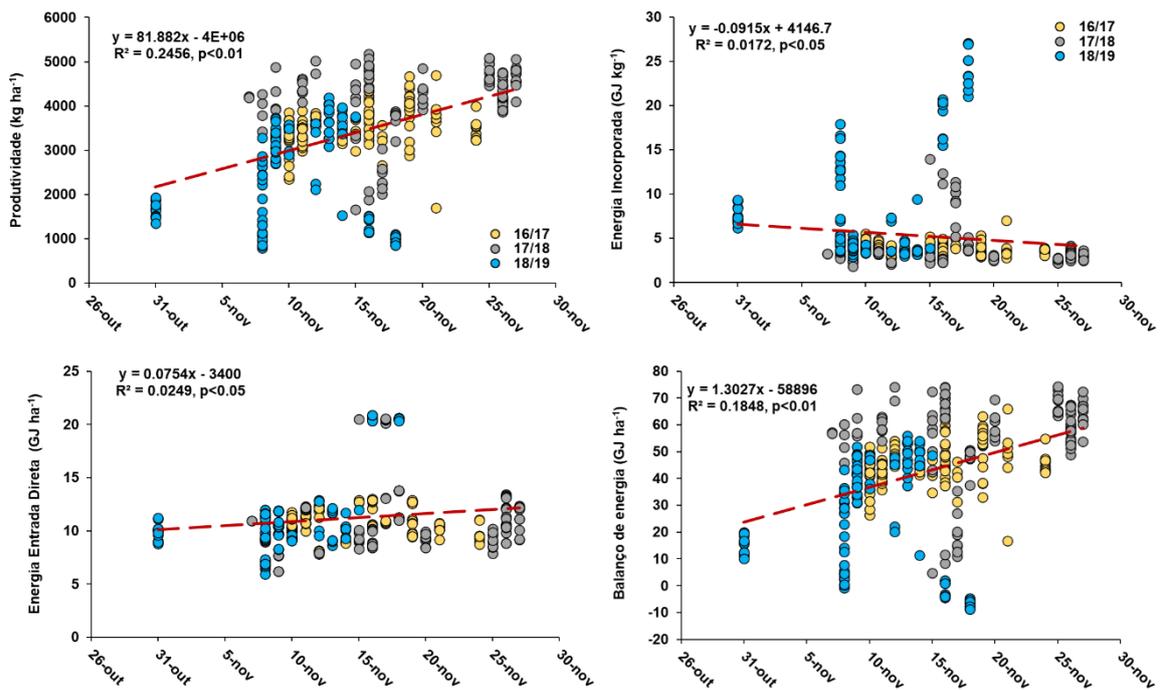
179 Tabela 3. Média e desvio padrão dos índices energéticos obtidos dos talhões. Valores em
 180 paracentese representam o desvio padrão relativo.

	EEd	EEi	EE	ES	BE	EROI	EI
	GJ ha ⁻¹						
Média	9,178	2,610	11,788	56,943	45,155	7,155	3,510
Desvio	2,037	0,000	2,037	17,979	18,876	2,404	1,641
Padrão	(22%)		(17%)	(32%)	(42%)	(34%)	(47%)

181

182 A produtividade dos talhões variou entre 3383 kg ha⁻¹, sendo o menor valores 787 e o maior
 183 5169 kg ha⁻¹. A correlação entre produtividade e a data de semeadura apresentou uma
 184 significância (p < 0,01), com um R² igual 0,245 e um coeficiente angular igual 81,882, o que
 185 representa uma relação direta (Figura 2a). Portanto, a semeaduras mais tardias entre o período
 186 de 31 de outubro e 27 de novembro resultou em maiores produtividades. No entanto, a EEd não
 187 seguiu essa tendencia, de aumento de energia com o aumento de produtividade. A relação entre
 188 EEd e a data de plantio, mostrou uma correlação positiva, no entanto, o R² é inferior, igual 0,025
 189 (p < 0.05) (Figura 2c). Nesse sentido, a tendencia de menores produtividades no início da janela,
 190 não foi resultado de um menor aporte de insumos.

191 Portanto, a EI tendeu a ser superior nas primeiras datas de semeadura, ou seja, a semeadura,
 192 com maior risco necessitou de mais energia para gerar 1 kg de grão de soja, já as datas mais
 193 tardias, resultaram em índices inferiores. A correlação entre EI e data de plantio, mostrou um R²
 194 igual a 0,017 (p < 0.05) e coeficiente angular -0,091 (Figura 2b). A figura 2b apresentam alguns
 195 pontos que se distanciam da tendencia de queda, isso está ligado a talhões que receberam um
 196 maior aporte energético, ligado a aplicação de calcário e fertilizante, isso ocorreu, pois, essas
 197 áreas são de abertura, ou seja, foram recentemente transformadas em áreas agrícolas. O que
 198 necessitam de maior quantidade de fertilizantes, e correção do solo, para se tornar agricultável.



199

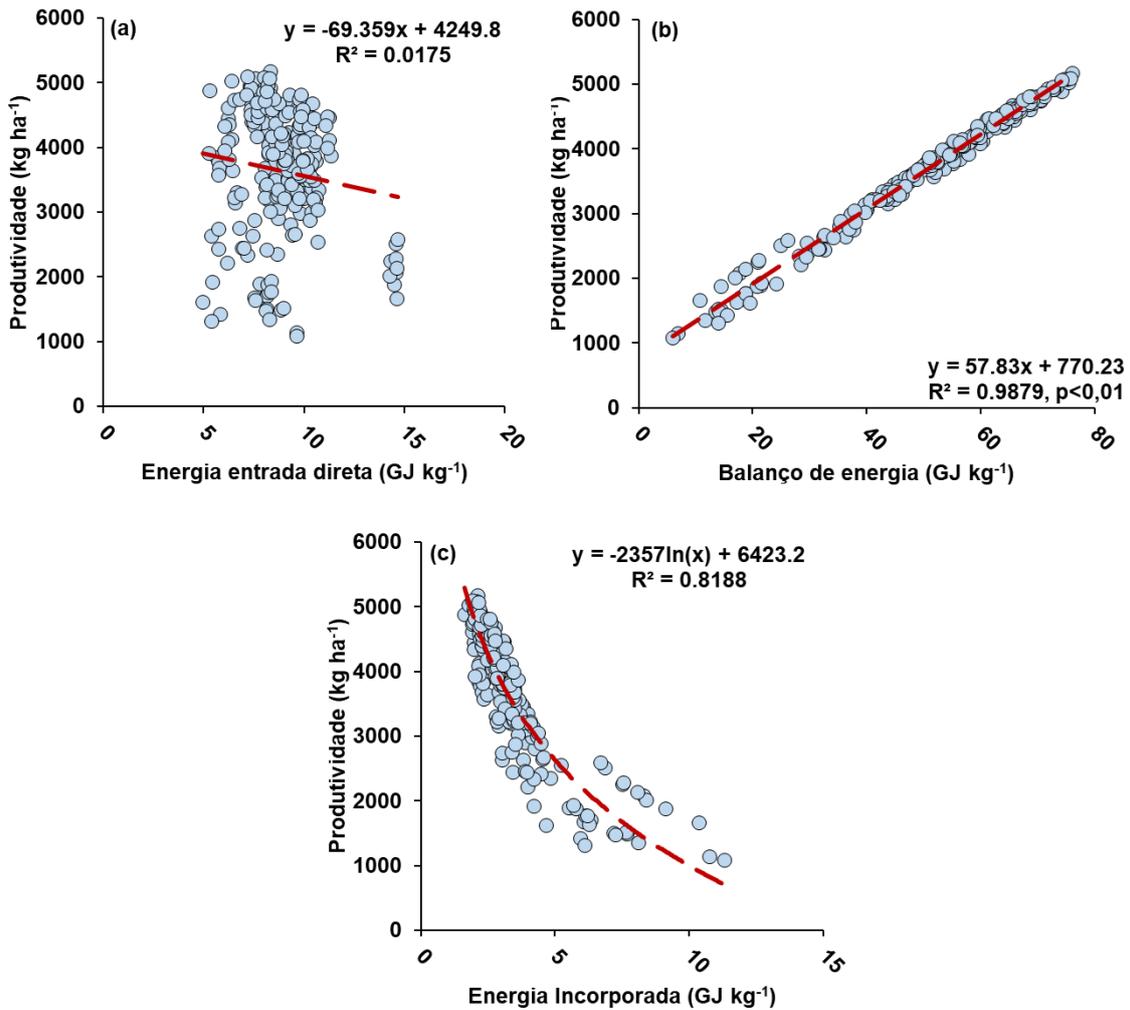
200 Figura 2. Relação entre a (a) produtividade (kg ha^{-1}), (b) energia incorporada (GJ ha^{-1}), (c) Energia
 201 de entrada direta (GJ ha^{-1}) e (d) Balanço de energia (GJ ha^{-1}).

202 O BE, apresentou uma correlação positiva com o atraso na data de semeadura, com R^2 igual
 203 0,184 ($p < 0,01$) e coeficiente angular de 1,303 (Figura 2d). Nesse sentido, o aumento da
 204 produtividade, resultou em maior balanço energético. Isso mostra que o entendimento dos
 205 riscos de semeadura, dentro da janela de semeadura, é uma ferramenta para garantir uma
 206 produção energeticamente mais sustentável.

207 Além disso, a correlação entre a produtividade e EEd não foi significativa, com um R^2 de 0,017,
 208 ou seja, a adição de energia em fertilizantes e defensivos agrícolas não resultaram em aumento
 209 de produtividades (Figura 3a). Já o balanço de energia, respondeu a produtividade, com uma
 210 correlação positiva ($a=57,83$) com R^2 igual a 0,988 ($p < 0,01$) (Figura 3b). Também a EI se mostrou
 211 mais sustentável, nos talhões com maiores produtividades, com uma menor energia necessária
 212 para produção de 1 kg de grãos. Essa correlação logarítmica inversa com um R^2 igual a 0,818
 213 (Figura 3c). Nesse sentido, o aumento de produtividade resulta em um aumento do ES e
 214 explicaram um desempenho energético melhor, porém isso não veio do aporte de energia por
 215 insumos.

216

217

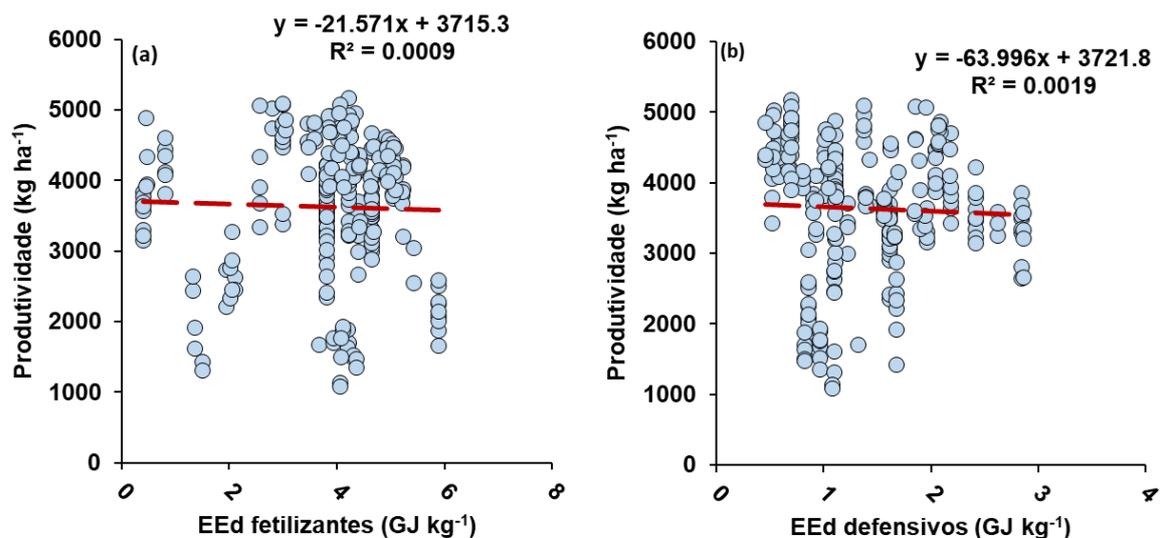


218

219 Figura 3. Correlação entre a produtividade e a energia de entrada incorporada direta (a) balanço
 220 de energia (b) e energia incorporada (c) e o da soja, entre todos os talhões analisados.

221

222 Essa condição é reforçada quando separamos a EEd em fertilizantes e defensivos (figura 4). O
 223 aumento de EEd referente a fertilizantes e defensivos não resultaram em aumentos de
 224 produtividade, com ambos apresentando correlações não significativas com a produtividade.



225

226 Figura 4. Correlação entre a produtividade e a energia de entrada direta de fertilizantes (a) e
 227 defensivos (b) entre todos os talhões analisados.

228

229 **Discussão**

230 Os valores de BE apresentado nesse estudo ficaram, na média em $45,155 \text{ GJ ha}^{-1}$ (Tabela 2), um
 231 valor superior ao reportado por Romanelli et al. (2012), para o estado da Bahia, que foi de $43,362$
 232 GJ ha^{-1} , para cultivar de soja transgênico. O EE e ES também apresentaram valores menores, com
 233 $8,317$ e $51,00 \text{ GJ ha}^{-1}$. O estudo de Romanelli et al. (2012) utilizou dados gerais para todo o
 234 estado, com estimativas médias para algumas safras, apesar disso, os valores foram próximos,
 235 mostrando que os dados coletados nesse estudo refletem a realidade produtora do estado. No
 236 entanto, BE entre os talhões estudados variou de -3 a 76 GJ ha^{-1} , o que representa uma grande
 237 variabilidade dentro de uma região produtora, e não consegue ser representada com valores
 238 médios.

239 No presente estudo a data de plantio apresentou maior correlação com a produtividade da soja
 240 (Figura 2a), diferente do aporte energético relacionados a insumos (Figura 3a). Nesse sentido,
 241 na busca de aumentar o balanço energético e aumentar a sustentabilidade produtiva da soja, o
 242 aumento no uso de insumos não se mostrou uma alternativa promissora. Nesse caso,
 243 recomenda-se uma análise das melhores condições para semeadura da soja, levando em
 244 consideração as condições climáticas, que possam reduzir os riscos de perdas de produtividade
 245 (Battisti e Sentelhas, 2019).

246 Apesar disso, é possível ver que alguns talhões semeados na mesma data apresentaram
 247 diferentes produtividades (figura 2a). Essas condições podem estar relacionadas a dois fatores,
 248 primeiro a região do Oeste da Bahia é uma área de fronteira agrícola, onde novas áreas vêm
 249 sendo transformadas em produtoras de soja (Figura 1) (de Araújo et al., 2019). Essas áreas
 250 pioneiras, necessitam de um grande aporte de insumos, principalmente calcário e fertilizantes,
 251 para correção dos aspectos químicos do solo, com doses chegando a 7000 kg ha^{-1} de calcário.
 252 Ademais, o calcário é um insumo que representa um grande aporte energético (Tabela 2).
 253 Portanto, as áreas de abertura tendem a diminuir muito o balanço energético. Devido a área de

254 estudo apresentar diferentes condições de áreas, a baixa resposta do incremento de insumos da
255 produtividade pode estar relacionada a isso (Figura 4).

256 O segundo ponto é a variabilidade dentro da área produtora, devido ao seu extenso tamanho,
257 com talhões de na média 100 ha. Isso leva a uma variabilidade nos volumes de chuva durante o
258 ciclo da cultura, mesmo em condições de datas de semeadura próximas (Fonseca et al., 2022).
259 Além disso há a variação nas propriedades físicas do solo que resultam na variação da água
260 disponível no solo para atender a demanda da cultura.

261 A produtividade apresentou uma alta correlação com o BE final, portanto, a estimativa do BE
262 pode ser feita com base na produtividade (Figura 3b). Além disso, estudos que foram usar dados
263 de BE da soja devem levar em consideração a produtividade da cultura.

264

265 ***Limitações do estudo***

266 O seguinte estudo apresentou uma análise do balanço energético da soja para diferentes talhões
267 em uma fazenda do oeste baiano, a análise considerou a maior parte dos insumos, porém devido
268 a dificuldade de se encontrar índices de conversão energética para insumos biológicos,
269 adjuvantes específicos e fertilizantes foliares, esses foram omitidos da análise.

270 A base de dados usada nesse estudo não consta os implementos utilizados para realização da
271 aplicação dos insumos agrícolas, nem a quantidade de diesel consumida, apesar da estimativa
272 média de outros estudos mostrarem que o EEi é uma fração menor que o EEd (Romanelli et al.
273 2012). Estudos futuros podem aprofundar essas análises adicionando o impacto dessas
274 operações, além disso, com o aumento de insumos aplicados deve gerar um aumento no número
275 de entrada de maquinários no campo, resultando em um maior EEi.

276 Por fim, o seguinte estudo não apresentou uma análise de como as condições meteorológicas
277 impactaram o desenvolvimento da cultura e logo na produtividade. Isso deve ser mais bem
278 explorado em trabalhos futuros, visto que em lavouras de sequeiro as condições meteorológicas
279 apresentam grande impacto na produtividade e devem explicar a variabilidade de produtividade
280 em datas de semeadura próximas.

281

282 **Conclusão**

283 O balanço energético da soja apresentou uma variabilidade dentro da área produtora, que não
284 consegue ser representada por valores médios. A variabilidade desses valores apresenta uma
285 alta correlação com a produtividade da soja. No entanto, a produtividade da soja não é uma
286 resposta da quantidade energética relacionada ao EEd. O fator estudado, que melhor explicou
287 essa variabilidade foi a data de semeadura. Portanto, na busca por uma maior eficiência
288 energética, a semeadura em datas com menor risco é uma maneira de se diminuir EI. Apesar
289 disso, áreas pioneiras na produção de soja, com alto aporte energético não respondem a essas
290 condições e resultaram em menores valores de BE.

291

292 **Referências**

293

294 Battisti, R. and Sentelhas, P.C., 2019. Characterizing Brazilian soybean-growing regions
295 by water deficit patterns. *Field Crops Research*, 240, pp.95-105. <
296 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.06.007> >

297 de Araújo, M.L.S., Sano, E.E., Bolfe, É.L., Santos, J.R.N., dos Santos, J.S. and Silva, F.B.,
298 2019. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–
299 2015). *Land use policy*, 80, pp.57-67. <
300 <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.040> >

301 De, D., Singh, R.S. and Chandra, H., 2001. Technological impact on energy consumption
302 in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied energy*, 70(3), pp.193-213. <
303 [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(01\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(01)00035-6) >

304 FAO. Soybean. 2033. Available in: <[http://www.fao.org/land-water/databases-and-](http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/soybean/en/)
305 [software/crop-information/soybean/en/](http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/soybean/en/)>.

306 Fonseca, H.P., Pires, G.F. and Brumatti, L.M., 2022. Spatial and Temporal Evolution of
307 Sowing and the Onset of the Rainy Season in a Region of Large Agricultural Expansion in
308 Brazil. *Agronomy*, 12(7), p.1679. < <https://doi.org/10.3390/agronomy12071679> >

309 Freitas, M., 2011. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o
310 surgimento de uma nova fronteira agrícola. *Enciclopédia Biosfera*, 7(12).
311 <[https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a cultura da soja.pdf](https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a%20cultura%20da%20soja.pdf)>.

312 Greer, K., Martins, C., White, M. and Pittelkow, C.M., 2020. Assessment of high-input
313 soybean management in the US Midwest: Balancing crop production with environmental
314 performance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292, p.106811. <
315 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106811>>

316 Heichel, G.H., 1980. Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops.
317 In *Handbook of energy utilization in agriculture* (pp. 27-33). CRC Press.

318 IBGE, R., 2023. Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes, 37,
319 pp.1-91.

320 Lockeretz, W., 2019. Energy inputs for nitrogen, phosphorus, and potash fertilizers. In
321 *Handbook of energy utilization in agriculture* (pp. 23-24). CRC Press.

322 Magalhães, L.A. and De Miranda, E.E., 2014. MATOPIBA: Quadro Natural. Nota Técnica
323 5. p. 1–41, 2014.
324 <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT5_Matopiba_Quadro_Natural.pdf>

325 Patzek, T.W., 2004. Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle. *Critical Reviews*
326 *in plant sciences*, 23(6), pp.519-567.

327 Pimentel, D. 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton,
328 FL, USA.

329 Pimentel, D. and Patzek, T.W., 2005. Ethanol production using corn, switchgrass, and
330 wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Natural resources research*,
331 14, pp.65-76.

332 Romanelli, T.L., Nardi, H.D.S. and Saad, F.A., 2012. Material embodiment and energy
333 flows as efficiency indicators of soybean (*Glycine max*) production in Brazil. *Engenharia*
334 *Agrícola*, 32, pp.261-270. <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000200006> >

335 Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. and Shapouri, H., 1998. Life cycle
336 inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus (No. NREL/SR-580-
337 24089). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States). <
338 <https://doi.org/10.2172/1218369> >

339 Silber, R.M. and Romanelli, T.L., 2022. Energy Assessment for First and Second Season
340 Conventional and Transgenic Corn. *AgriEngineering*, 4(2), pp.483-488. <
341 <https://doi.org/10.3390/agriengineering4020032>>

342 Silber, R.M., 2021. Avaliação energética em diferentes sistemas de produção de soja e
343 milho.

344 Terhune, E. and Pimentel, D., 1980. Energy used in the US for agricultural liming
345 materials. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*.

346 USDA. Crop Production. 2018. <<https://www.usda.gov/topics/farming/crop-production>>.

347 Veiga, J.P.S., Romanelli, T.L., Gimenez, L.M., Busato, P. and Milan, M., 2015. Energy
348 embodiment in Brazilian agriculture: an overview of 23 crops. *Scientia Agrícola*, 72,
349 pp.471-477. <<https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0188>>