

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - *CAMPUS* DE TOLEDO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO REGIONAL E AGRONEGÓCIO

ALEX DONEGA

**EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS PRINCIPAIS *COMMODITIES* AGRÍCOLAS
PARANAENSES NO PERÍODO DE 1998 A 2015**

TOLEDO

2016

ALEX DONEGA

**EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS PRINCIPAIS *COMMODITIES* AGRÍCOLAS
PARANAENSES NO PERÍODO DE 1998 A 2015**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE *Campus* de Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti

TOLEDO

2016

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária
UNIOESTE/Campus de Toledo.
Bibliotecária: Marilene de Fátima Donadel - CRB – 9/924

D681e	Donega, Alex Eficiência técnica das principais commodities agrícolas paranaenses no período de 1998 a 2015 / Alex Donega – Toledo, PR : [s. n.], 2016. 68 f. : il. (algumas color.), figs., grafs., tabs., e quadros Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de Toledo. Centro de Ciências Sociais Aplicadas 1. Agricultura - Paraná 2. Economia agrícola 3. Produtos agrícolas - Custos 4. Produtividade agrícola - Paraná 5. Análise de envoltória de dados I. Piacenti, Carlos Alberto, orient. II. T CDD 20. ed. 338.16 098162
-------	---

ALEX DONEGA

**EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS PRINCIPAIS *COMMODITIES* AGRÍCOLAS
PARANAENSES NO PERÍODO DE 1998 A 2015**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE *Campus* de Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti (orientador)

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE *Campus* de Toledo

Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos

Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Cristiano Stamm

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE *Campus* de Toledo

Toledo, 05 de Setembro de 2016.

À Adriana Kleinubing
pelo incentivo de cada dia.

DONEGA, Alex. Eficiência técnica das principais commodities agrícolas paranaenses no período de 1998 a 2015. 68 f (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná *Campus* de Toledo, 2016.

RESUMO

Resumo: A agricultura é considerada uma atividade econômica que contribui significativamente para a produção de parte da riqueza auferida no Estado do Paraná. Desta forma, a investigação sobre a eficiência desta atividade sob a óptica dos custos de produção torna-se importante, a fim de se conhecer quais custos podem ser reduzidos, determinar os possíveis condicionantes da ineficiência e indicar os caminhos para o aumento da eficiência, por meio da apresentação de DMU's eficientes e ineficientes. As operações com máquinas, insumos, pós-colheita, despesas financeiras e rendas de fatores são as variáveis *inputs* e o preço final de custo da saca é a variável *output*. O modelo DEA empregado é o BBC com orientação por *output*. Os resultados remetem a interpretação de que 55,56% da safra da soja, 38,89% da safra do trigo e 37,5% da safra do milho dos anos pesquisados demonstraram problemas de eficiência nos custos de produção. É possível inferir ao menos quatro possíveis explicações para o alto nível de ineficiência, à saber: 1) Influência direta da taxa de câmbio no preço dos herbicidas, fertilizantes e sementes (input insumos); 2) Déficit na capacidade estática dos armazéns no Estado do Paraná; 3) Relação existente entre a variável "Despesa Financeira" e a taxa SELIC; 4) Queda do preço da saca das três commodities que coincide com uma queda na eficiência das safras.

Palavras-chave: Eficiência técnica, DEA, custo da produção.

DONEGA, Alex. Technical efficiency of the main agricultural commodities in Parana state from 1998 to 2015. 68 p. (Master's degree in Regional Development and Agribusiness) – Center of Applied Social Science, Western Parana State University, Toledo Campus, 2016.

ABSTRACT

Abstract: Agriculture is considered an economic activity which contributes significantly to the production of part of the wealth earned in Parana state. In this way, the research on the efficiency of agriculture activity from the point of view of production costs becomes important, in order to know which costs can be reduced, to determine the possible constraints of inefficiency and to indicate the ways to increase efficiency, through the presentation of efficient and inefficient DMUs. Operations with machines, inputs, post-harvest, financial expenses and factor incomes are the input variables, and the final cost price of the sack is the output variable. The DEA model used is the output oriented BBC. The results show that 55.56% of the soybean crop, 38.89% of the wheat crop and 37.5% of the corn crop presented problems of efficiency in production costs during the studied period. It is possible to infer at least four possible explanations for the high level of inefficiency, namely: 1) Direct influence of the exchange rate on the price of herbicides, fertilizers and seeds (input); 2) Deficit in the static capacity of warehouses in Parana state; 3) Ratio between the variable "Financial Expenses" and the floating interest rate (SELIC rate); 4) Decrease in the sack price of the three commodities which coincides with a decrease in the efficiency of the crops.

Key words: Technical efficiency, DEA, Production cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma dos métodos de avaliação da eficiência.	20
Figura 2 - Representação gráfica da Fronteira de eficiência envolvendo um único input e um único output.	22
Figura 3 - Diferença entre os conceitos de produtividade e eficiência.	22
Figura 4 - Alcance da fronteira de eficiência.	23
Figura 5 - Representação gráfica da Fronteira eficiência.	25
Figura 6 - Elementos da DMU.	27
Figura 7 - Classificação entre ganhos de escala e orientação.	29
Figura 8 - Exemplo de aplicação do modelo CCR orientação produto.	32
Figura 9 - Exemplo de aplicação do modelo BCC orientação produto.	34
Figura 10 - Estado do Paraná.	36
Figura 11 - Etapas do método de cálculo da eficiência.	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Elementos básicos de uma aplicação DEA.	28
Quadro 2 - Escolha das variáveis.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise descritiva da safra do milho de acordo com cada variável utilizada (1999 - 2014).....	41
Tabela 2 - Escore de eficiência dos anos de 1999 a 2014 da safra do milho.	42
Tabela 3 - Distribuição dos DMU's segundo intervalos de medida de eficiência da safra milho - 1999 a 2014.	43
Tabela 4 - Classificação das unidades por eficiência normalizada da safra do milho - 1999 a 2014.	45
Tabela 5 - Variação percentual entre atual e alvo das DMU's ineficientes da safra da milho para atingir a eficiência.....	45
Tabela 6 - Análise descritiva da safra da soja de acordo com cada variável utilizada (1998 - 2015).....	46
Tabela 7 - Escore de eficiência dos anos de 1998 a 2015 da safra da soja.....	47
Tabela 8 - Distribuição dos DMU's segundo intervalos de medida de eficiência da safra da soja - 1998 a 2015.	48
Tabela 9 - Classificação das unidades por eficiência normalizada da safra da soja - 1998 a 2015.	49
Tabela 10 - Variação percentual entre atual e alvo das DMU's ineficientes da safra da soja para atingir a eficiência.....	50
Tabela 11 - Análise descritiva da safra do trigo de acordo com cada variável utilizada (1998 - 2015).....	51
Tabela 12 - Escore de eficiência dos anos de 1998 a 2015 da safra do trigo.	52
Tabela 13 - Distribuição dos DMU's segundo intervalos de medida de eficiência da safra trigo - 1998 a 2015.....	53
Tabela 14 - Classificação das unidades por eficiência normalizada da safra do trigo - 1998 a 2015.	54
Tabela 15 - Variação percentual entre atual e alvo das DMU's ineficientes da safra do trigo para atingir a eficiência.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Eficiência Padrão da Safra do Milho - 1999 a 2014.	43
Gráfico 2 - Ranking de eficiência normalizada da safra do milho.	44
Gráfico 3 - Eficiência Padrão da Safra da Soja - 1998 a 2015.	48
Gráfico 4 - Ranking de eficiência normalizada da safra da soja.	49
Gráfico 5 - Eficiência Padrão da Safra da Trigo - 1998 a 2015.	53
Gráfico 6 - Ranking de eficiência normalizada da safra do trigo.	54
Gráfico 7 - Evolução da taxa de câmbio (1998 - 2015).....	56
Gráfico 8 - Evolução da capacidade estática dos armazéns no Estado o Paraná (em mil/toneladas), 1997 - 2015.....	57
Gráfico 9 - Evolução da Taxa SELIC (1998 - 2015).....	58
Gráfico 10 - Preço médio anual recebido pelos produtores agrícolas no Estado do Paraná - 1998 - 2015.....	59
Gráfico 11 - Eficiência Padrão das Safra milho (1999 - 2014), soja e trigo (1998 - 2015).	60

LISTA DE ABREVIATURAS

BCC	Modelo DEA desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper
BACEN	Banco Central do Brasil
CCR	Modelo DEA desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> (Análise Envoltória de Dados)
DMU	<i>Decision Making Units</i> (Unidade Tomadora de Decisão)
HA	Hectares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
PF	Programação fracionária
PPL	Problema de Programação Linear
RCE	Retorno constante de escala
RVE	Retornos Variáveis de Escala
SIAD	Sistema Integrado de Apoio à Decisão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.2	O PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA.....	14
1.3	OBJETIVO	17
1.3.1	Objetivo Geral	17
1.3.2	Objetivos Específicos.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	REVISÃO DA LITERATURA – ESTUDOS DE EFICIÊNCIA APLICADOS A AGRICULTURA.....	18
2.2	CONCEITO DE EFICIÊNCIA.....	19
2.3	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)	23
2.4	ELEMENTOS DO DEA.....	27
2.5	MÉTODOS DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	28
2.5.1	Método com retornos constantes de escala	29
2.5.2	Método com retornos variáveis de escala	33
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	35
3.2	UNIVERSO DA PESQUISA E FONTE DE DADOS	36
3.3	VARIÁVEIS SELECIONADAS.....	37
3.4	ESCOLHA DO SOFTWARE.....	40
4	RESULTADOS	41
4.1	EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CULTURA DE MILHO.....	41
4.2	EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CULTURA DA SOJA.....	46
4.3	EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CULTURA DO TRIGO	51
4.4	ANÁLISE CONJUNTURAL	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Um dos princípios fundamentais da teoria econômica consiste na escassez dos recursos, estes são limitados, ao passo que os desejos são diversos e ilimitados. Por não dispor de todos os recursos para satisfazer as necessidades e desejos, depara-se com uma limitação, que leva inevitavelmente a realização de escolhas, dotadas de racionalidade¹ de acordo com o pensamento econômico neoclássico.

A eficiência no uso de recursos decorre da escassez, desta forma, o agente econômico dotado de racionalidade, deverá fazer o possível para utilizar de forma eficiente os limitados recursos que dispõe, evitando, por exemplo, o desperdício dos mesmos com a finalidade de minimizar custos e maximizar resultados dentro do processo produtivo. O desperdício é uma anomalia, incompatível com a estrutura teórica da economia, assim, merece ser estudado.

Apesar dos “agentes racionais” buscarem o uso eficiente dos recursos, este objetivo parece distante em muitos casos, sendo mais frequentes nas sociedades desenvolvidas do que em comunidades pobres. Essa dificuldade em atingir a eficiência é uma faceta esquecida do drama da pobreza e só mediante o desenvolvimento econômico é que se fazem presentes as condições necessárias, mas não suficientes, para a eficiência no uso de recursos (ROMEIRO, 2012).

Analisar a eficiência técnica de determinadas *commodities* agrícolas denota importância tanto para fins estratégicos, quanto para o planejamento (avaliação dos resultados do uso de diferentes combinações de fatores) e para a tomada de decisão (como melhorar o desempenho atual, por meio da análise da distância entre os custos de produção atual e potencial) (GOMES, MANGABEIRA E SOARES DE MELLO, 2004).

A atividade agrícola é considerada como uma das atividades econômicas que contribui significativamente para a produção de parte da riqueza auferida no Paraná e essa produção vem aumentando a cada ano, destacando o Estado, não somente como um mero produtor de alimentos com vistas a atender o consumo interno, mas também para gerar excedentes destinados às exportações (MAPA, 2015).

O Estado do Paraná no ano de 2015 foi o segundo maior produtor de grãos com 18,20% da produção nacional, representados por 36,4 milhões de toneladas (CONAB, 2015). De acordo

¹ Um dos pontos usualmente considerados mais centrais e mesmo definidores do paradigma neoclássico é a pressuposição de que a racionalidade dos agentes econômicos é fundamentalmente otimizadora. Indivíduos dotados de racionalidade substantiva fazem escolhas por si mesmos, esgotam todos os fluxos de incerteza e agem de forma extremamente consciente, adquirindo o melhor bem dentre todos os bens disponíveis, adquirindo a melhor cesta de consumo que lhe propicie a maior saciedade possível (POSSAS, 1995, p.1).

com Companhia Nacional de Abastecimento (2015) o Brasil atingiu uma produção recorde com o total de 202,2 milhões de toneladas de grãos. Deve-se destacar ainda o desempenho do Mato Grosso com 48,4 milhões de toneladas (23,84%) e do Rio Grande do Sul com 32,5 milhões (16,07%).

Segundo dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2015), a produção agrícola do Estado do Paraná no ano de 2015 estava distribuída em: 9,2 milhões de ha (50,29%) dedicados ao plantio de grãos (soja, milho, trigo, feijão, café, aveia, dentre outros), 4,7 milhões de ha (25,62%) são utilizados para pastagens (naturais e plantadas), 2,8 milhões ha (15,23%) são Matas Naturais, 664 mil ha (3,48%) na cultura de cana de açúcar, 619 mil ha (3,35%) de Matas Plantadas, 200 mil ha (1,08%) para cultivo de olerícolas (mandioca, batata, cebola, tomate, melancia, dentre outros), 64 mil ha (0,34%) para atividades de fruticultura (laranja, banana, tangerina, uva, maçã pêsego, dentre outros) e de área com outros usos são 104 mil ha (0,56%).

A maior parte do território paranaense situa-se num planalto e não constitui obstáculo ou impedimento à ocupação agrícola (IAP, 2003). A boa fertilidade de grande parte de seus solos proporciona elevados índices de produtividade. Com exceção da região serrana situada ao leste, nas proximidades da costa, praticamente todo território paranaense é mecanizável (NAVARRO-SWAIN, 1988).

A escolha por analisar a eficiência técnica da soja, do milho e do trigo se deu devido à alta representatividade que tais *commodities* possuem na pauta comercial agrícola paranaense, constituem-se em três tipos de grãos que apresentam maiores áreas plantadas (ha) e maiores quantidades produzidas, segundo informações disponibilizadas pelo IBGE (2014).

A exemplo, atualmente, a soja em grão, constitui-se como o principal produto da pauta de comércio exterior do Paraná, e as exportações desta até julho de 2016 cresceram 15%, com evolução de US\$ 2,15 bilhões, em 2015, para US\$ 2,48 bilhões no referido período. Realizando a mesma comparação, os embarques de cereais, especialmente milho, cresceram 35,2%, de US\$ 181,3 milhões para US\$ 244,8 milhões (MDIC, 2016).

Segundo Bragato et al. (2008) a agricultura paranaense fomenta o desenvolvimento, com expressiva dimensão social e base de sustentação econômica do País. As unidades produtivas agrícolas devem buscar a eficiência no uso dos *inputs* empregados na produção, adequando-se a um novo modelo de produção, que leva em consideração o crescente aumento da concorrência e a otimização da produtividade. O aumento da eficiência agrícola gera resultados positivos, tal como a diminuição das migrações rurais e melhora na distribuição de renda, contribuindo para uma possível redução da pobreza.

Neste sentido, é relevante, estudar a eficiência técnica de algumas, das principais *commodities* agrícolas que o Estado do Paraná produz, a saber, soja, milho e trigo, verificando possíveis alternativas para a melhoria nos processos produtivos a partir de decisões que tenham como objetivo a busca pela minimização de custos da produção e a maximização dos lucros.

1.2 O PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

Em um cenário cada vez mais competitivo, a análise da eficiência técnica de três das principais *commodities* agrícolas do Paraná, torna-se um instrumento importante que possibilita a identificação da possível existência de lacunas, e assim, aponta mudanças no processo de produção, a fim de mitigar possíveis perdas decorrentes do mau uso dos recursos.

Algumas das dificuldades em se alcançar o padrão máximo de eficiência são específicas das unidades produtivas agrícolas e têm relação com as limitações em que o gestor opera; outras são “externas” a ele, como características regionais, estrutura de mercado ou condições macroeconômicas (CORRÊA DA COSTA E SOARES, 2007).

O tamanho da propriedade condiciona a escala de produção. Esta, quando pequena, impõe condições desfavoráveis aos produtores na aquisição de recursos, na comercialização, assim como ociosidade no uso de máquinas e implementos, em boa parte mais adequados para o cultivo de grandes áreas (CORRÊA DA COSTA E SOARES, 2007). A baixa escolaridade é também um obstáculo ao uso adequado da tecnologia (BATALHA, SOUZA FILHO E BUAINAIM, 2005).

Agricultores pouco instruídos enfrentam limitações na gestão de suas atividades e dificuldades de compreender e de seguir as orientações técnicas que acompanham os inputs modernos (CORRÊA DA COSTA E SOARES, 2007).

A crescente complexidade da tecnologia agrícola faz com que o preparo das pessoas que nela atuam torne-se condição para a eficiência da atividade. De modo semelhante, a eficiência depende da qualidade da força de trabalho. Trabalhadores sem instrução ou com pouca habilidade para as tarefas do campo desperdiçam recursos e reduzem a eficiência dos demais fatores (PELINSKI, SILVA E SHIKIDA, 2005). Assim, as relações de trabalho interferem na eficiência com que os recursos são usados.

Ademais, a (in)eficiência é fortemente influenciada por externalidades (CORRÊA DA COSTA E SOARES, 2007). Regiões produtivas que contam com agricultura dinâmica beneficiam-se do menor custo de produção, propiciado pelo comércio desenvolvido e voltado para as necessidades da atividade agrícola. Ao contrário, unidades produtivas inseridas em

mercados restritos ou em localidades em que não há um ambiente econômico direcionado para a agricultura experimentam maiores barreiras e custos na condução das atividades (BATALHA, SOUZA FILHO E BUAINAIM, 2005).

A agricultura é uma atividade econômica de fundamental importância, o Brasil é um dos principais produtores e fornecedores mundiais de alimentos. No início de 2010, um em quatro produtos do agronegócio em circulação no mundo eram brasileiros (MAPA, 2015).

A forma de organização da produção agrícola mudou ao longo do tempo, devido à necessidade de maior contribuição nas exportações do País. Inicialmente a expansão da fronteira agrícola era a principal causa do aumento de produção no Paraná (MONDARDO, 2011).

Com o passar do tempo e com a introdução de tecnologias na agricultura pode-se observar o aumento da produtividade e eficiência do setor. Isto representa melhorias na economia como um todo, tendo em vista que o planejamento da produção com redução de perdas se faz cada vez mais importante para a competitividade do setor (SCHWADE, 2010). Neste sentido, a eficiência é fundamental para que se possa visualizar crescimento e aumento do grau de competitividade da agricultura paranaense.

A escassez de recursos é um dos motores da busca pela eficiência. Essa escassez é que instiga a redução do desperdício, sendo o desperdício em sua maioria, responsável pela ineficiência no uso dos recursos disponíveis dentro dos sistemas produtivos (CORRÊA DA COSTA E SOARES, 2007). Com isso, incorre-se em custos que poderiam ser evitados, desta maneira, faz-se importante o conhecimento da ineficiência para otimizar os recursos na atividade agrícola.

Pode-se inferir que a produtividade da agricultura é influenciada diretamente pelos avanços tecnológicos dessa atividade. Com a modernização do setor é possível observar aumento da produção que não seja somente derivado da expansão de área plantada.

Deter o maior número de informações correlatas ao processo produtivo do complexo de grãos no Estado do Paraná, mais especificamente da soja, milho e trigo, de forma a analisar o grau de eficiência técnica das referidas *commodities*, irá fundamentar os agentes à tomada de decisões para a melhoria do processo produtivo em questão.

O interesse desta pesquisa se dá também pela ciência de que conhecer os fatores que têm provocado a ineficiência produtiva das *commodities* em estudo com relação aos custos de produção, será uma contribuição para melhorar o resultado econômico destas atividades agrícolas.

Neste sentido, a escolha do tema de pesquisa se dá pela convicção do “aprender da experiência, tanto exitosa como fracassada”, que as análises, quando devidamente realizadas proporcionam. (COHEN e FRANCO, 2008, p.279).

Optou-se por analisar o Estado do Paraná neste estudo, em função da relevância de sua agricultura e da relativa uniformidade de seu padrão tecnológico quando comparada com a grande heterogeneidade verificada na agricultura nacional (CORRÊA DA COSTA E SOARES, 2007).

Ademais, observar a dinâmica produtiva dos principais grãos produzidos por um Estado que presta considerável contribuição na produção agrícola brasileira faz-se necessário. A este respeito, conforme dados do levantamento sistemático de produção agrícola divulgado pelo IBGE em fevereiro de 2016, o Paraná é o campeão de produtividade na soja e no milho na safra de 2016 (IBGE, 2016).

No que concerne à metodologia empregada, devido ao seu amplo grau de aplicabilidade, o uso de métodos quantitativos apresenta crescente utilidade para os produtos agrícolas, pois possibilita maior controle e otimização sobre a utilização de recursos no processo produtivo.

Utiliza-se a análise envoltória de dados (DEA)² para visualização e identificação das causas de eventuais disparidades dos níveis de eficiência técnica ao longo do tempo, elencando-se os motivos pelos quais em alguns períodos as culturas da soja, milho e trigo são eficientes, e em outros são ineficientes.

Neste sentido, o modelo BCC com orientação por *output* foi o escolhido por ser o mais adequado para que se atinja nosso objetivo principal de verificar as unidades tomadoras de decisão (DMU)³ mais eficientes de acordo com seus custos de produção, ou seja, a otimização de recursos financeiros é o principal fator positivo que classificará a eficiência de uma DMU.

Ainda, os modelos DEA permitem analisar a eficiência da agricultura sendo uma ferramenta importante na tomada de decisões e, dessa forma, efetivas quando objetiva-se analisar a eficiência técnica de diferentes *commodities* agrícolas, ao longo de determinado período (FERREIRA E GOMES, 2009).

² Optou-se por descrever as siglas deste trabalho na língua inglesa, tais termos aparecem com maior frequência na literatura; Análise de Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA).

³ Em inglês: Decision Making Units - Em português: Unidade Tomadora de Decisão.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar a eficiência técnica das principais *commodities* agrícolas do Estado do Paraná para o período de 1998 a 2015.

1.3.2 Objetivos Específicos

Em congruência com o objetivo geral exposto, pretende-se:

- a) Analisar a (in)eficiência das safras milho (1999 a 2014), soja e trigo (1998 a 2015).
- b) Identificar a variação percentual entre o atual e os alvos das DMU's ineficientes das safras milho (1999 a 2014), soja e trigo (1998 a 2015).
- c) Identificar quais fatores econômicos estariam condicionando o nível de (in)eficiência das safras milho (1999 a 2014), soja e trigo (1998 a 2015).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REVISÃO DA LITERATURA – ESTUDOS DE EFICIÊNCIA APLICADOS A AGRICULTURA

Estudos com o objetivo de avaliar a eficiência na agricultura vem sendo realizados desde a década de 1970, período no qual a metodologia desenvolvida por Farrel (1957) tornou-se mais conhecida. A partir de então, algumas metodologias para o estudo da eficiência têm sido propostas. Atualmente a metodologia não-paramétrica da DEA é uma das metodologias mais utilizadas nos trabalhos aplicados à agricultura (GOMES, 2008).

Utilizando uma abordagem-não paramétrica (DEA) baseada na minimização de custos, Lemberg et al. (1998) avaliaram a eficiência técnica e econômica de uma amostra de 107 produtores de trigo do Kansas, USA, constatando a ocorrência de ineficiência técnica para a maioria das observações. Os índices de eficiência técnica mostraram uma relação positiva com a área cultivada. Sob retornos constantes à escala, a eficiência técnica cresceu levemente com o aumento da área cultivada e, sob retornos variáveis à escala, apresentou uma relação inversa.

Pereira Filho (2000) utilizou DEA num contexto de minimização de custos sob retornos constantes à escala para derivar medidas de eficiência técnica, de escala. O estudo analisou a eficiência produtiva da pequena produção familiar agrícola na região Recôncavo do Estado da Bahia através de uma amostra de 44 produtores e concluíram que a maior fonte de ineficiência na produção familiar agrícola da região refere-se à ineficiência alocativa.

Segundo Sarafidis (2002) a escolha entre os métodos, regressão simples, fronteira estocástica e a DEA para o cálculo do índice de eficiência não é uma tarefa trivial. A justificativa para essa conclusão é de que as técnicas são diferentes e, conseqüentemente geram, resultados diferentes. Os métodos discutidos apresentam seus próprios problemas, tanto teóricos quanto práticos e isso implica que as estimativas finais da eficiência não devem ser interpretadas como sendo medidas definitivas de ineficiência.

A eficiência técnica da produção de tomate e aspargo em Navarra, Espanha, foi determinada através do método DEA. Os dados obtidos do Departamento de Agricultura do Governo de Navarra se refere a 46 unidades produtivas. As variáveis utilizadas foram: valor da produção, trabalho (horas de trabalho por ano), área e capital (inventário médio anual de maquinaria e benfeitoria) e custos de cultivo. Os resultados da eficiência técnica entre os dois métodos exibiram forte correlação positiva. Concluíram que há possibilidade da produção de

tomate ser aumentada em 20%, enquanto que a de aspargo pode ser elevada em 10% (IRÁIZOZ RAPÚN E ZABALETA, 2003).

Abay, Mirian e Gunden (2004) utilizaram a eficiência no uso de insumos químicos na produção de tabaco de cerca de 300 produtores da Turquia. Os autores usaram modelos DEA-CCR para determinar os fatores que afetaram as medidas de eficiência. Os resultados indicaram relação positiva entre eficiência no uso de insumos e sustentabilidade da agricultura praticada.

Mariano e Pinheiro (2009) estimaram a eficiência técnica dos produtores da agricultura familiar no Baixo do Açu, Rio Grande do Norte. Os autores através da metodologia DEA geraram uma função fronteira de produção e os *inputs* foram: área irrigada, despesa com insumos, mão de obra (homem-dia), trator (horas trabalhadas) e irrigação (despesas com energia, inclui os volumes de água utilizados pelo produtor). O *output* foi o valor da produção das culturas irrigadas. Percebeu-se uma grande ineficiência técnica na DEA (CCR e BCC), com 34% e 50,8%, respectivamente. A eficiência técnica foi de 70,1%, demonstrando que a produção pode ser aumentada sem alterar a quantidade de insumos.

Souza, Moreira e Gomes (2011) realizaram uma análise de eficiência da produção para os 40 países com maior valor adicionado para o setor agrícola em 2005. Sob a hipótese de uma fronteira não paramétrica foi estimado uma função de produção agrícola através de medidas de eficiência da DEA com orientação produção. Os autores concluíram que se esses países estivessem na fronteira eficiente, o PIB agrícola teria uma elevação de 53,9%, ou seja, há espaço e tecnologia para aumentar a produção agrícola em 53,9% sem a necessidade de recursos adicionais

Atici e Podinovski (2015) aplicaram a DEA com orientação por *output* e utilizaram as medidas de escala retorno constante de escala e retornos variáveis de escala envolvendo explorações agrícolas em diferentes regiões da Turquia. Os cálculos mostram que a utilização de retornos variáveis de escala apresentaram resultados de ineficiência devido a um grande número de saídas em cada amostra regional.

As variáveis utilizadas no presente trabalho são, em geral, coincidentes com as variáveis utilizadas nos artigos citados neste item.

2.2 CONCEITO DE EFICIÊNCIA

A teoria econômica neoclássica assume que os agentes econômicos são racionais e que eles buscam otimizar seu comportamento (HOFMANN E PELAEZ, 2008). Os produtores agrícolas podem objetivar maximizar a produção e/ou minimizar os custos, e quando esses dois

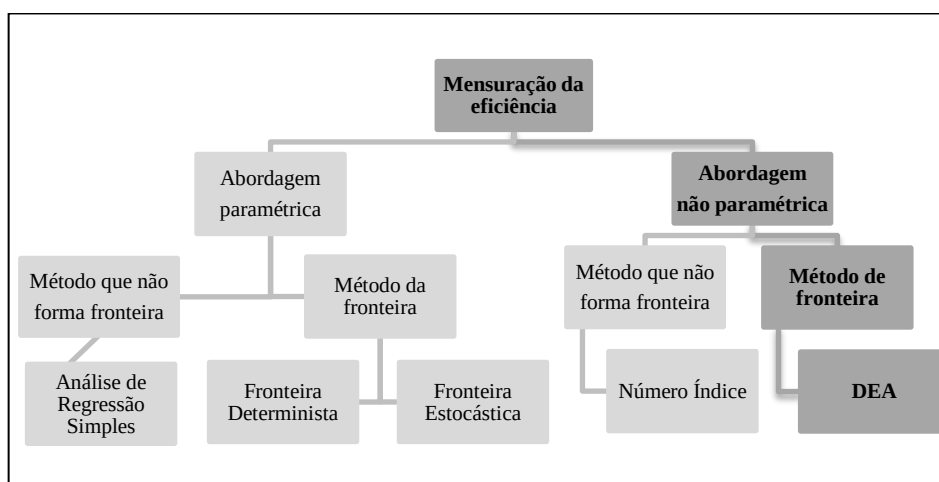
objetivos ocorrem simultaneamente, tem-se a maximização do lucro (OLIVEIRA E CAIXETA FILHO, 2013). No entanto, nem todos os produtores conseguem otimizar seus objetivos, ou seja, alcançar a eficiência econômica em suas atividades.

Segundo Tupy e Yamaguchi (1998), a eficiência de uma unidade produtiva é medida pela comparação entre os valores observados e os valores ótimos de *inputs*⁴ e *outputs*⁵. Segundo esses autores essa comparação pode ser feita em relação: a) a quantidade de *input* utilizado e o mínimo requerido para produzir determinada quantidade de *output*; b) ao *output* obtido e o nível máximo, fixada a quantidade de *input* utilizado; c) com a combinação dos dois anteriores.

Destaca-se na literatura econômica voltada à mensuração da eficiência dois tipos principais de abordagens: a paramétrica e a não paramétrica. A principal técnica empregada na abordagem paramétrica é a análise econométrica, podendo ser estocástica ou determinística (CALLEGARI-JACQUES, 2003). A abordagem não paramétrica tem como principal metodologia a análise envoltória de dados (DEA), cuja principal vantagem é a ausência de uma forma funcional explícita aos dados (HACKBARTH NETO E STEIN, 2003).

Antes de uma discussão sobre DEA, é importante distinguir entre os termos eficiência e produtividade que, em muitas ocorrências na literatura, são usados como sinônimos. A produtividade pode ser definida como a relação existente entre a quantidade ou valor produzido (*output*) e a quantidade ou valor de insumo (*inputs*) aplicados àquela produção. Visualiza-se na Figura 1 um diagrama esquemático sobre os métodos de avaliação da eficiência, sendo que neste trabalho será utilizado o método DEA.

Figura 1 - Organograma dos métodos de avaliação da eficiência.



Fonte: Sarafidis (2002).

⁴ Em inglês: *Input* - Em português: Entrada

⁵ Em inglês: *Output* - Em português: Saída

A eficiência compara o que foi produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos (SOARES DE MELLO et al., 2005). Para Jubran (2005) a eficiência pode ser entendida como a característica de uma unidade produtiva em alcançar o melhor rendimento com o mínimo de erros e/ou de dispêndio de recursos como energia, tempo ou dinheiro. Analisar a eficiência de forma isolada pode não fornecer uma avaliação adequada, o correto e desejável é comparar diversas unidades produtivas entre si.

Para atender os casos de múltiplos *inputs* e *outputs*, é proposta a atribuição de pesos aos fatores de *inputs* e *outputs* para cada unidade produtiva como demonstrado na Equação 2 e Equação 3 (COOPER, SEIFORD e TONE, 2007).

$$\text{Input virtual} = v_i x_{i0} + \dots + v_m x_{m0} \quad (2)$$

$$\text{Output virtual} = u_i y_{i0} + \dots + u_s y_{s0} \quad (3)$$

Assim, o cálculo de eficiência para uma determinada unidade pode ser visualizado na Equação 4.

$$\text{Eficiência da unidade } j = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots} \quad (4)$$

Em que:

u_1 = o peso atribuído para *output* 1;

y_{1j} = montante da *output* 1 da unidade j;

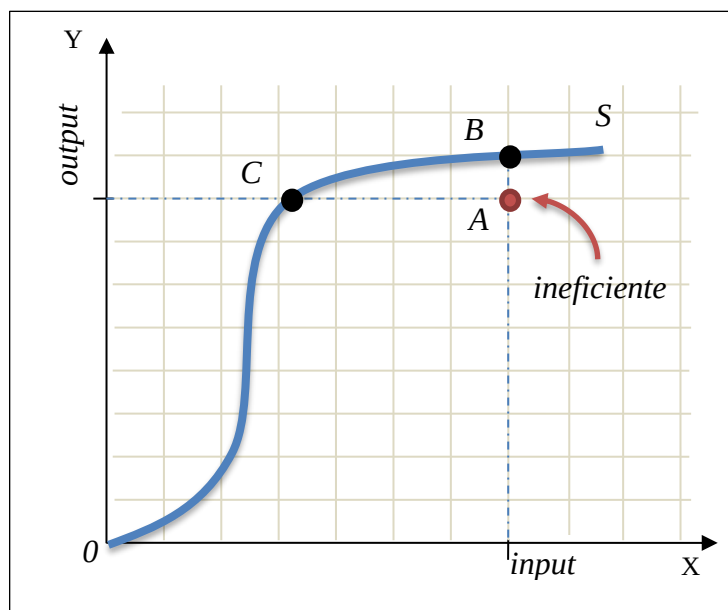
v_1 = peso atribuído para *input* 1;

x_{1j} = montante da *input* 1 para unidade j.

Neste caso, o valor de eficiência é normalmente restringido à escala entre 0 e 1. Essa medida da eficiência requer um conjunto comum de pesos a ser aplicado a todas as unidades que as ajustará (JUBRAN, 2005). No entanto, pode ser difícil obter um conjunto comum de pesos, uma vez que a subjetividade existente no processo de avaliação dos *inputs* ou dos *outputs* poderá ocasionar problemas.

A Figura 2, mostra um processo de produção envolvendo um único *input* (X) e um único *output* (Y). A unidade produtiva sobre qualquer ponto da curva de produção (S) é considerada tecnicamente eficiente, caso contrário, ineficiente (COOPER, SEIFORD E TONE, 2007). Assim, as unidades produtivas que operam nos pontos B e C, sobre a fronteira de produção são eficientes, e a que opera no ponto A é ineficiente.

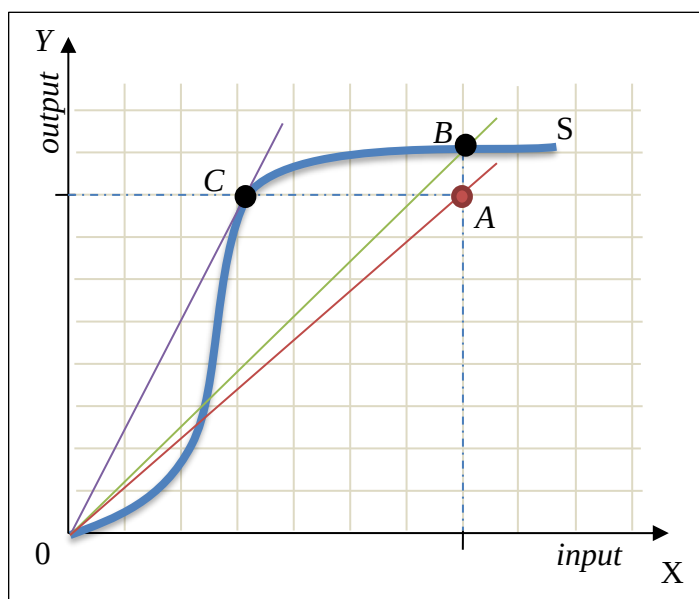
Figura 2 - Representação gráfica da Fronteira de eficiência envolvendo um único *input* e um único *output*.



Fonte: Adaptado de Soares de Mello et al. (2005).

A Figura 3 explica a diferença entre os conceitos de produtividade e eficiência. Apesar das unidades B e C serem eficientes, apenas a unidade C pode ser considerada produtiva. Este fato é denotado pelos coeficientes angulares das retas OC e OB , cuja a unidade mais produtiva é a reta que liga à origem, e tem o maior coeficiente angular (SOARES DE MELLO et al., 2005). A unidade produtiva A é simultaneamente uma unidade não produtiva e não eficiente.

Figura 3 - Diferença entre os conceitos de produtividade e eficiência.



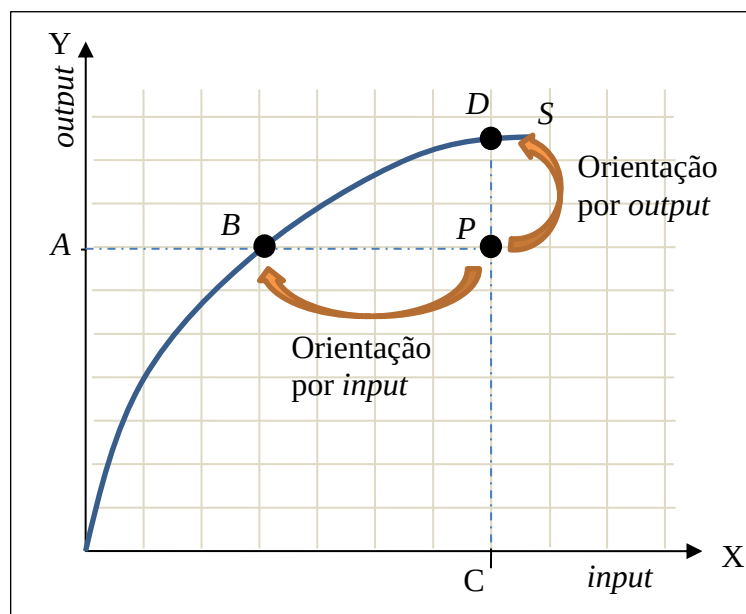
Fonte: Soares de Mello et al. (2005).

Segundo Soares de Mello et al. (2005) uma unidade produtiva não eficiente pode se tornar eficiente, basicamente, de 2 formas: a) reduzindo os *inputs* e mantendo constantes os *outputs* (orientação por *input*); b) aumentando os *outputs* e mantendo constantes os *inputs* (orientação por *output*).

A Figura 4 apresenta essas duas possibilidades. A fronteira de eficiência é definida pela letra S e a letra P é uma unidade produtiva ineficiente. A unidade produtiva ineficiente (P) precisa caminhar até o ponto B para tornar-se eficiente reduzindo recursos (orientação por *input*). No entanto, caso seja necessário aumentar os produtos, deve-se caminhar até o ponto D (orientação por *output*).

Na orientação por *input*, a eficiência é definida pelo quociente AB/AP e é um número entre 0 e 1. Já na orientação por *output*, a eficiência é dada por CP/CD que também é um valor entre 0 e 1.

Figura 4 - Alcance da fronteira de eficiência.



Fonte: Adaptado de Soares de Mello et al. (2005).

No entanto, há autores que preferem inverter a definição de eficiência orientada a *output*, que passa a ser então um número maior do que 1, e quanto maior, menos eficiente será a DMU (SOARES DE MELLO et al., 2005).

2.3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (DEA) consiste numa abordagem não-paramétrica, utilizando-se de programação matemática linear para a estimação de uma fronteira de produção

que envolve os dados observados e, assim, possibilita calcular a eficiência em relação a essa fronteira (COELLI, 1996).

A aplicação na mensuração da eficiência no qual existem múltiplos *inputs* e *outputs* tem se mostrado bastante atrativa em estudos do setor agrícola (GOMES, 2008). O emprego desta metodologia na agricultura pode apoiar as decisões dos agricultores e auxiliar no planejamento estratégico do setor, uma vez que indica a origem e a ineficiência relativa das unidades que podem servir de referência às práticas adotadas - *benchmarks*⁶ (GOMES E MANGABEIRA, 2004).

Os modelos de DEA são utilizados para determinar a eficiência de unidades produtivas, nas quais não seja relevante ou não se deseja considerar apenas o aspecto financeiro. Ainda de acordo com o mesmo autor dispensa-se, assim, a conversão de todos os *inputs* e *outputs* em unidades monetárias e sua atualização em valores presentes (PIACENTI, 2012).

De acordo com Emrouznejad e Thanassoulis (2005), Cooper, Seiford e Tone (2007) e Piacenti (2012), a DEA é um método utilizado para avaliar o desempenho de um conjunto de unidades que são chamadas de DMU, que convertem múltiplos *inputs* em múltiplos *outputs*.

Eficiência de uma DMU é a comparação entre os valores ótimos e os observados dos dados de *input* e de *output* (LOVELL, 1993). A partir do relacionamento entre as variáveis de *input* e de *output*, é possível determinar as DMU's consideradas eficientes, e por meio delas estabelecer sua fronteira (COOPER, SEIFORD E TONE, 2007). Neste contexto as DMU's têm como característica processos produtivos semelhantes, que utilizam distintos níveis de *inputs* para produzir diferentes quantidades de *outputs* (ANDRADE E SANT'ANNA, 2011).

Segundo Charnes et al. (1994) e Piacenti (2012) para estimar e analisar a eficiência relativa das DMU's, a DEA utiliza a definição de ótimo de pareto, segundo o qual nenhum produto pode ter sua produção aumentada sem que sejam aumentados os seus *inputs* ou diminuída a produção de outro produto, ou, de forma alternativa, quando nenhum *input* pode ser diminuído sem ter que diminuir a produção de algum produto.

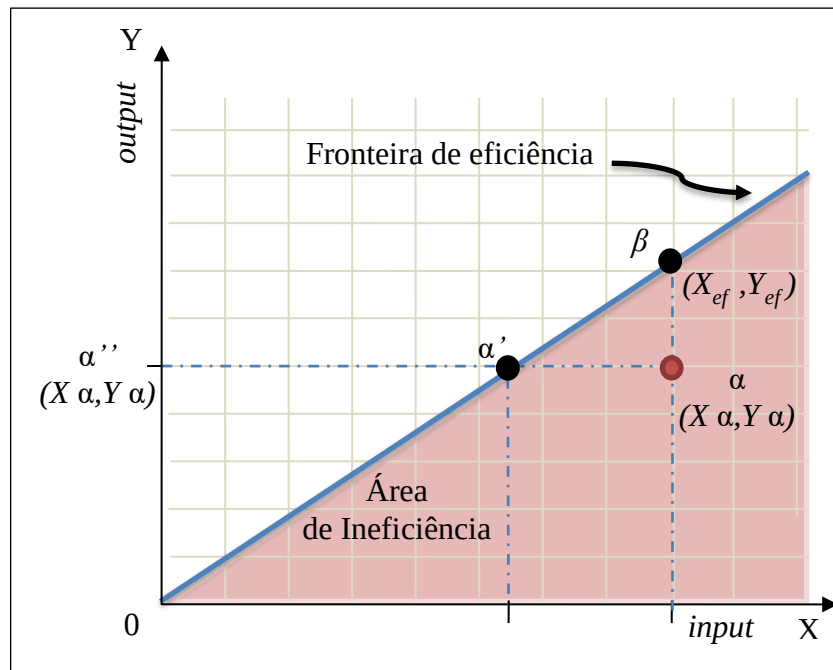
Quando utilizado um único *input* para a produção de um único *output*, é possível observar a relação entre as variáveis conforme demonstrado na Figura 5. Nesse caso a fronteira de eficiência representa as DMU's classificadas como eficientes, enquanto aquelas localizadas abaixo da fronteira de eficiência são as DMU's classificadas como ineficientes.

⁶ O termo pode ser entendido como referência. Existem diversos tipos de *benchmarks*: interno, externo, não competitivo, competitivo, de desempenho, de práticas. Mais detalhes em Tupy e Yamaguchi (2002).

Na Figura 5, a DMU eficiente é representada pelo ponto β de coordenada (X_{ef}, Y_{ef}) . A DMU α de coordenada (X_{α}, Y_{α}) é ineficiente. O ponto α'' é a projeção de α no eixo Y e o ponto α' é a projeção de α (X_{α}, Y_{α}) na fronteira eficiente, assumindo-se orientação a *inputs*.

Uma DMU pode ser classificada como ineficiente porque encontra-se abaixo da fronteira eficiente (é representada pela área vermelha na Figura 5), o que significa que existe uma outra DMU capaz de produzir uma maior quantidade de *output* com a mesma quantidade de *inputs* (orientação por *output*), ou existe outra DMU capaz de produzir a mesma quantidade de *output* com uma menor quantidade de *inputs* - orientação por *input* (ROBERTS E GOMES, 2004).

Figura 5 - Representação gráfica da Fronteira eficiência.



Fonte: Adaptado de Cooper, Seiford e Tone (2007).

Portanto na abordagem DEA, a eficiência orientada por *input*, representa a quantidade de *inputs* que pode ser reduzida sem diminuir *output*. A eficiência orientada por *output*, representa a capacidade de aumentar a produção sem aumentar a quantidade de *inputs* (SALGADO JUNIOR, CARLUCCI E NOVI, 2014).

A produtividade da DMU eficiente é o coeficiente angular a da reta, dado por $a = \frac{Y_{ef}}{X_{ef}}$. Para calcular a eficiência de α , utiliza-se as definições da seção anterior, considerando orientação por *input*. Assim temos $Eficiência = \frac{\overline{\alpha'\alpha''}}{\alpha''\alpha}$.

O numerador da expressão acima é abscissa de α' e o denominador é a abscissa de α . Usando o valor de X_0 , calculado acima, tem-se

$$Eficiência = \frac{\overline{\alpha'\alpha''}}{\alpha''\alpha} = \frac{\frac{Y_0 X_{ef}}{Y_{ef}}}{X_0} = \frac{Y_0}{X_0} \frac{1}{\frac{Y_{ef}}{X_{ef}}} = \frac{P_0}{P_{ef}} \quad (5)$$

Assim, observa-se que neste modelo a eficiência de uma DMU é a razão entre a sua produtividade (P_0) e a produtividade da DMU mais eficiente (P_{ef}) (SOARES DE MELLO, 2005). Esta constatação foi obtida com argumentos geométricos e com um único *output* e um só *input*.

Ao analisar a eficiência como uma quantidade ligada ao quociente entre uma soma ponderada dos *outputs* e uma soma ponderada dos *inputs*. Para os pesos não serem arbitrários, e assim eliminar a subjetividade da análise, aceita-se que cada DMU escolha os pesos mais apropriados, ou seja, aqueles que maximizem essa razão (SOARES DE MELLO, 2005). Entretanto, isto não pode ser feito de forma totalmente livre, já que o resultado tem que ser um número entre 0 e 1 (FERREIRA E GOMES, 2009). Estas considerações equivalem ao problema de programação matemática apresentado na Equação 6.

$$Maximizar = \frac{\mu Y_0}{v X_0}$$

$$\text{Sujeito a } \frac{\mu Y_k}{v X_k} \leq 1, \text{ para todo } k; \mu, v \geq 0$$

Essa restrição é aplicada tantas vezes quantas o número de DMU's, ou seja, é uma restrição para cada DMU (FERREIRA E GOMES, 2009). Além disso, é necessário impor a restrição de não negatividade dos pesos μ e v (variáveis de decisão).

Existe uma infinidade de valores das variáveis de decisão que conduzem a um mesmo resultado. Para contornar esse inconveniente opta-se por não calcular o valor de cada variável, mas apenas o da sua razão. Essa razão deve ser a maior possível, sendo o seu valor limitado pela restrição mais forte, que é a restrição referente à DMU mais produtiva. Para esta DMU, o maior valor da razão entre as variáveis de decisão é dada pela expressão $\frac{\mu Y_{ef}}{v X_{ef}} = 1$, o que conduz a $Ef = \frac{P_0}{P_{ef}}$, ou seja, o mesmo valor encontrado anteriormente.

Apesar da técnica DEA não exigir nenhum comportamento ou tipo de distribuição específico dos dados, de acordo com Cooper, Seiford e Tone (2007), existem alguns pré-requisitos para a aplicação da técnica DEA. Quando aplicada em um número de unidades deve-se atender aos requisitos: (1) as unidades produtivas devem ser comparáveis, ou seja, devem realizar as mesmas atividades e devem ter objetivos semelhantes; (2) devem ser utilizadas

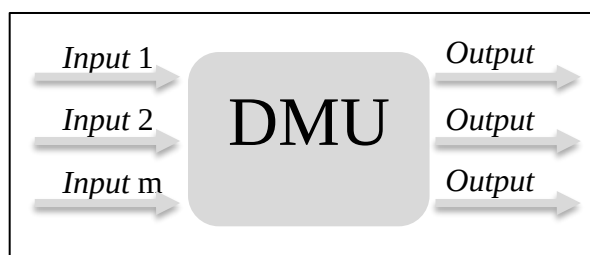
unidades produtivas que operam com múltiplos *inputs* e *outputs*; (3) as unidades produtivas do modelo devem utilizar os mesmo *inputs* e *outputs*, com diferenças apenas quanto à intensidade e magnitude; (4) as unidades produtivas devem atuar sob as mesmas condições de mercado; (5) o número de unidades produtivas a ser analisado deve ser pelo menos três vezes maior que o número de *inputs* e *outputs* considerados; (6) as variáveis devem ter dados numéricos positivos.

2.4 ELEMENTOS DO DEA

As unidades tomadoras de decisão (DMU), são termos utilizados no método DEA para referenciar unidades homogêneas que utilizam *inputs* semelhantes para *outputs* semelhantes e com autonomia para tomar decisões (PIACENTI, 2012). Desta forma, devem ser comparados ano com ano, no caso deste trabalho.

A DMU possui *inputs*, que se referem aos insumos empregados por ela no processo produtivo, e os *outputs* que se referem à produção obtida (PIMENTEL, 2009), como pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Elementos da DMU.



Fonte: Pimentel (2009).

Conforme esclarecimentos de Cooper, Seiford e Tone (2007), os elementos básicos de uma aplicação DEA são os seguintes (Quadro 1):

Quadro 1 - Elementos básicos de uma aplicação DEA.

Elementos	Explicação
DMU	Trata-se da unidade produtiva que se deseja avaliar e comparar com outras unidades da mesma natureza, sendo esta responsável pela conversão de <i>inputs</i> em <i>outputs</i> .
Inputs	São os <i>inputs</i> , como matéria-prima, equipamento, capital, horas de trabalho, energia e tempo empregados pela DMU na geração de uma determinada produção.
Outputs	São os produtos gerados pela DMU como bens ou serviços produzidos ou vendidos; uma DMU pode ter um ou mais <i>outputs</i> .
Modelo escolhido	DEA permite a escolha de vários modelos de cálculos segundo a sua adequação, como por exemplo, o CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) e BCC (Banker-Charnes-Cooper), com orientação à <i>input</i> ou à <i>output</i> .
Fronteira de eficiência	É construída a partir dos melhores resultados apresentados pelo conjunto de DMUs; para essas DMU's é atribuído o valor máximo de eficiência (1, ou 100%).
Eficiência técnica	É a combinação da eficiência de escala com a eficiência puramente técnica, ou seja, produzir o máximo possível dado um nível de recursos, ou utilizar o mínimo de recursos para uma dada produção.
Pesos calculados	Os pesos são os valores a serem multiplicados a cada <i>input</i> e a cada <i>output</i> , de forma a gerar a melhor produtividade possível.

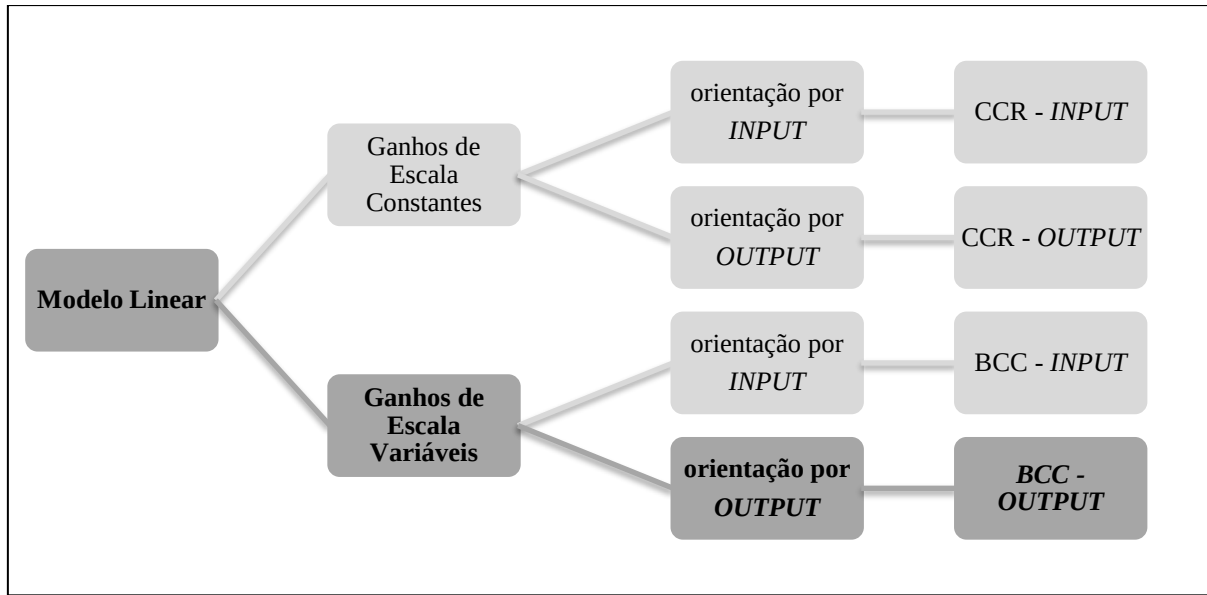
Fonte: Adaptado de Cooper, Seiford e Tone (2007).

2.5 MÉTODOS DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Os modelos DEA tradicionais desenvolvidos por Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) em 1978 e Banker, Charnes e Cooper (BBC) em 1984 são basicamente classificados segundo o retorno de escala respectivamente, constante (modelos com retornos constantes de escala) ou variável (modelos com retornos variáveis de escala).

Kassai (2002) demonstra que existem outras classificações para os modelos DEA referentes ao tipo de orientação desejada, conforme ilustração apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Classificação entre ganhos de escala e orientação.



Fonte: Adaptado de Kassai (2002).

2.5.1 Método com retornos constantes de escala

Charnes, Cooper e Rhodes (1978), propuseram um modelo DEA em que se admite uma tecnologia com retornos constantes de escala (RCE), sendo conhecida na literatura como modelo CCR.

O modelo CCR faz a avaliação de eficiência técnica global, admite a possibilidade de RCE, ou seja, se uma unidade avaliada aumentar os *inputs* em um dado nível, seu *output* deverá aumentar na mesma proporção, assim como, se esta unidade diminuir seu *input*, seu *output* deverá reduzir na mesma proporção (AGUIAR, AGUIAR E WILHELM, 2009).

A eficiência técnica com orientação por *output* da o-ésima⁷ DMU é obtido através do seguinte problema de programação fracionária (PF):

$$\begin{aligned}
 Efic(DMU_o) &= \min \frac{\sum_{i=1}^n v_i X_{oi}}{\sum_{k=1}^m u_k y_{ok}} \\
 s. a.: \quad &\frac{\sum_{i=1}^n v_i X_{ji}}{\sum_{k=1}^m u_k} \geq 1; j = 1, 2, \dots, J \\
 &u_k, v_i \geq \varepsilon, \forall k, i.
 \end{aligned} \tag{7}$$

⁷ É um dos números ou registro dentro de um conjunto específico. Geralmente é utilizado para descrever o último número do conjunto.

Em que:

$\varepsilon > 0$ - um número não arquimediano⁸;

$Efic(UTD_0)$ - taxa de eficiência técnica da o-ésima DMU;

u_k - peso associado a *output* k;

v_i - peso associado a *input* i;

y_{ok} - quantidade de *output* k da o-ésima DMU;

X_{oi} - quantidade de *input* i da o-ésima DMU;

y_{jk} - quantidade de *output* observado k da j-ésima DMU;

X_{ji} - quantidade de *input* observado i da j-ésima DMU;

J - número de produtores;

m - número de *outputs*;

n - número de *inputs*.

Aplicando este modelo, obtém-se como resultado:

- 1) um conjunto de escores maior ou igual a 1;
- 2) um conjunto de referência para a DMU₀, nas quais os escores de eficiência são sempre iguais a 1;
- 3) e os valores dos pesos (u_k e v_i) para esta DMU.

Este processo deve ser repetido para cada DMU existente, gerando, com isso, valores diferentes de u_k e v_i para estas DMUs. O objetivo desses pesos é minimizar a razão entre a soma ponderada dos *inputs* e a soma ponderada dos *outputs* (CHARNES, COOPER E RHODES, 1978). Para Bowlin (1998), estes pesos são calculados de forma que a unidade produtiva sob avaliação é colocada na melhor luz possível, perante as outras unidades, no conjunto de dados.

Para solucionar a adversidade da programação não linear, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) o transformaram em um problema de programação linear (PPL), sendo possível resolver por um *software* de programação linear. Este modelo é conhecido também como problema dos multiplicadores ou de razão de eficiência (SOARES DE MELLO, 2005), conforme representado a seguir:

⁸ O valor de ε depende dos dados e do *software* utilizado para resolver o PF. É comum fixar ε em 10^{-6} .

$$\begin{aligned}
Efic (UTD_0) &= \min \sum_{i=1}^n v_i X_{oi} \\
s. a.: \sum_{i=1}^n v_i X_{ji} - \sum_{k=1}^m u_k y_{jk} &\geq 0; j = 1, 2, \dots, J \\
\sum_{k=1}^m u_k y_{ok} &= 1 \\
u_k, v_i &\geq \varepsilon, \forall k, i.
\end{aligned} \tag{8}$$

A Equação 8 é o modelo primal e deve ser resolvido para todas as DMUs existentes. Para resolver a Equação 8 será gerado um modelo dual, que possui menos restrições e requer um tempo computacional menor (CHARNES, COOPER E RHODES, 1978). Portanto, em geral a implementação dos modelos DEA é feita utilizando os modelos duais (BRUNETTA, 2004).

Em seguida, pode ser observado o modelo CCR dual com orientação por *output* com suas variáveis de folga:

$$Efic (UTD_0) = \min \theta_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \tag{9}$$

$$s. a.: \sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0 \tag{10}$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \tag{11}$$

$$u_r, v_i \geq 0 \tag{12}$$

Em que:

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N;$

$y = \text{saídas}; x = \text{entraas}; u, v = \text{pesos};$

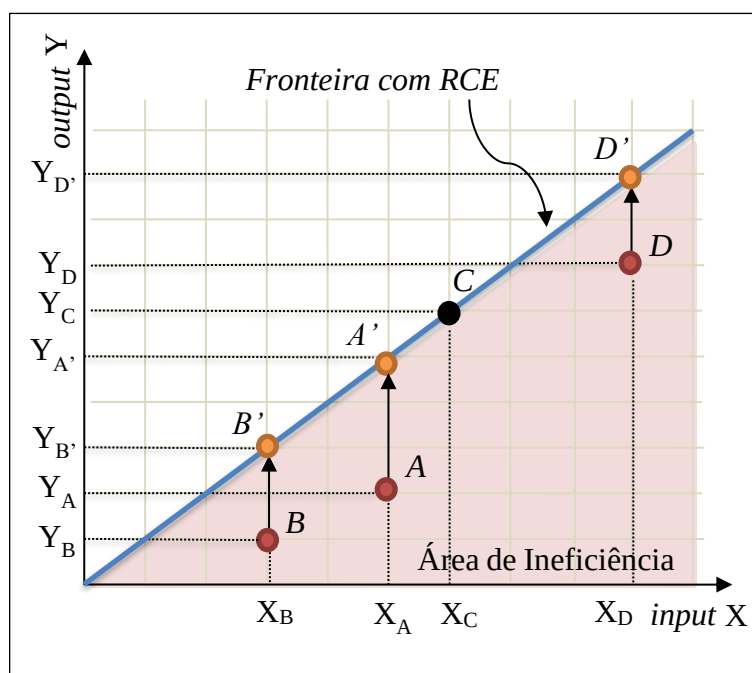
$\theta_k = \text{índice de eficiência da } k - \text{ésima DMU}.$

Este modelo tem como objetivo maximizar a produção utilizando a quantidade de recursos disponíveis, neste caso, expresso pela minimização do somatório dos *inputs* utilizados multiplicado pelos seus pesos (Equação 9). A primeira restrição (Equação 10) é a subtração do somatório da multiplicação entre as quantidades produzidas e seus respectivos pesos e o somatório da multiplicação entre os *inputs* utilizados e seus respectivos pesos. O limite para esta restrição é 0 (zero). Para a segunda restrição (Equação 11), o somatório da multiplicação entre o total produzido e seus respectivos pesos para a *k*-ésima empresa é igual a 1 (um), logo,

o mínimo resultado obtido possível para θ_k é 1 (resultado de DMUs eficientes). Caso contrário, se a DMU obtiver escore superior a 1 ela será identificada como ineficiente. A Equação 12 representa a não-negatividade dos pesos.

A Figura 8 considera uma tecnologia de produção com RCE, com orientação por *output*. Também, encontram-se 4 DMUs (A, B, C e D), as quais consomem uma quantidade X de *inputs* e produzem uma quantidade Y de *outputs*.

Figura 8 - Exemplo de aplicação do modelo CCR orientação produto.



Fonte: Adaptado de Brunetta (2004).

Destes 4 produtores, o único eficiente, segundo esta tecnologia de produção, é o produtor C, o qual está sobre a fronteira de eficiência. Os demais produtores (A, B e D) são ineficientes; para modificar este padrão e se tornar eficientes eles terão que aumentar a sua produção.

Para o produtor B, por exemplo, se tornar eficiente segundo esta tecnologia, mantendo a quantidade do *input* X_B , deve aumentar a quantidade produzida de Y_B para $Y_{B'}$. Para descobrir qual é a dimensão do aumento da produção é necessário calcular o índice de eficiência dessa unidade. Este índice é calculado através da razão $\theta = \frac{Y_{B'}}{Y_B}$, onde $(\theta - 1)$ multiplicado por 100%, e o percentual de aumento da produtividade para se tornar eficiente tecnicamente. Para atingir esse aumento o produtor B deverá observar o produtor C, que é sua referência de produtividade (*benchmark*).

2.5.2 Método com retornos variáveis de escala

Banker, Charnes e Cooper (1984), propuseram um modelo de programação matemática linear no qual introduziram uma restrição de convexidade (Equação 13), em relação ao modelo CCR.

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j = 1 \quad (13)$$

Esta nova proposta trouxe consigo a premissa de que se houver alterações na escala de produção, o modelo será capaz de interpretar os efeitos ao longo da função de produção decorrentes dessas variações (BRUNETTA, 2004). Por este motivo, esse novo modelo também é conhecido por retornos variáveis de escala (RVE).

No modelo BCC a fronteira de eficiência será formada pela combinação convexa das DMU's eficientes, transformando a tecnologia de RCE para uma tecnologia de RVE (BANKER, CHARNES E COOPER, 1984). Esta alteração é realizada com a introdução da variável P no modelo. O modelo BCC com orientação por *output* é dado por:

$$Efic (DMU_k) = \min \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k \quad (14)$$

$$\begin{aligned} s. a.: \sum_{r=1}^m u_r y_{jr} - \sum_{k=1}^n v_i x_{ji} - v_k &\leq 0 \\ \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} &= 1 \\ u_r, v_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Em que:

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N;$

$y = \text{saídas}; x = \text{entradas}; u, v = \text{pesos};$

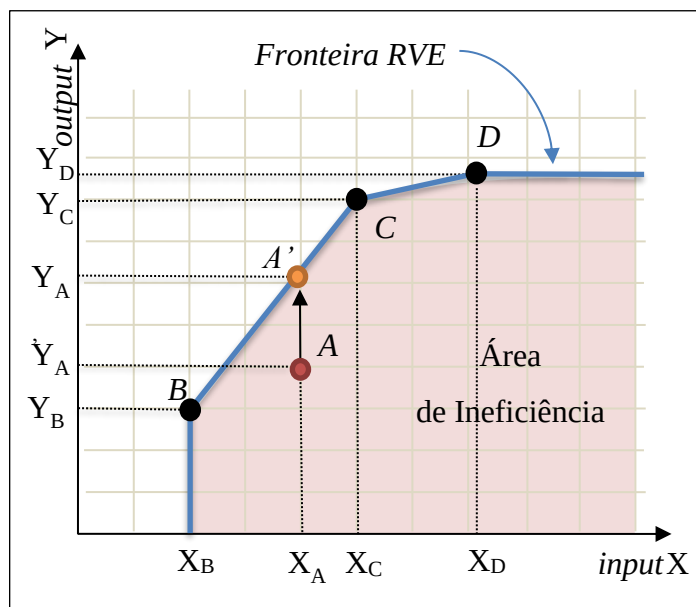
$\theta_k = \text{índice de eficiência da } k - \text{ésima DMU}.$

Neste modelo foi inserida a variável v_k nas Equações (9) e (10), resultando respectivamente as Equações (14) e (15). Este modelo representa os RVE, podendo assumir valores positivos quanto negativos. Os modelos CCR e BCC se diferem com relação ao foco da medida de eficiência. Portanto, os escores de eficiência relativa podem ser distintos, conforme Figura 9 (AGUIAR, AGUIAR E WILHELM, V. E., 2009).

Na Figura 9 observa-se a uma tecnologia de produção com RVE. Nesta figura encontram-se as DMU's (A, B, C e D), as quais consomem uma quantidade X de *inputs* e produzem uma quantidade Y de *outputs*.

Dos 4 produtores da Figura 9 o produtor A é o único ineficiente, segundo esta tecnologia de produção. Os demais produtores são eficientes por pertencerem a fronteira de eficiência. Para o produtor A se tornar eficiente, segundo esta tecnologia de produção, mantendo a quantidade de *inputs*, isto é, X_A , deverá aumentar a quantidade produzida de Y_A para $Y_{A'}$. Ou seja, deve aumentar sua produção em $[(\theta - 1) \times 100\%]$, onde $\theta = \frac{Y_{A'}}{Y_A}$. Para que o produtor A possa aumentar sua produtividade deverá observar os produtores B e C, que são suas referências de produtividade.

Figura 9 - Exemplo de aplicação do modelo BCC orientação produto.



Fonte: Adaptado de Brunetta (2004).

É importante destacar que a eficiência técnica das DMU's pode ser alterada dependendo da tecnologia utilizada (RCE ou RVE), consequentemente a fronteira de eficiência será alterada. Ao utilizar a tecnologia RCE no modelo CCR, obteve-se apenas uma unidade produtiva eficiente (Figura 8). Já ao utilizar a tecnologia de RVE no modelo BCC, apresentou-se o inverso, ou seja, apenas uma unidade produtiva foi ineficiente (Figura 9).

3 METODOLOGIA

O termo metodologia faz referência ao estudo dos métodos empregados por uma dada ciência. Por sua vez, o termo método representa o caminho para se chegar a determinado fim ou objetivo. Trata-se de um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permitem alcançar conhecimentos válidos com maior segurança e economia. Com isso, tem-se que o objetivo da metodologia é então o aperfeiçoamento dos procedimentos e critérios a serem utilizados na pesquisa (MARCONI E LAKATOS, 2003; MARTINS E THEÓPHILO, 2009).

De acordo com Richardson (2007), método de pesquisa é a escolha de procedimentos sistemáticos para descrever e explicar fenômenos.

A ferramenta DEA será utilizada para medir a eficiência em relação aos custos da produção dos principais produtos agrícolas do Estado do Paraná. Diante disso, este capítulo apresenta os métodos de pesquisa a serem aplicados neste estudo, com o intuito de alcançar o objetivo proposto.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem um caráter quantitativo. A pesquisa quantitativa, de acordo com Richardson (2007) é caracterizada pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas. Para Mattar (2012), a pesquisa quantitativa busca a validação das hipóteses mediante a utilização de dados estruturados, estatísticos, com análise de um grande número de casos representativos, recomendando um curso final da ação.

A pesquisa quantitativa, para Bertrand e Fransoo (2002), busca solucionar problemas da vida real com o auxílio do desenvolvimento científico. Neste tipo de pesquisa, são desenvolvidos, analisados e testados modelos de relações causais entre variáveis de controle e de desempenho. De acordo com os mesmos autores, a pesquisa quantitativa considera que é possível construir modelos objetivos para auxiliar os gerentes de processos operacionais na tomada de decisão e explicar o comportamento destes processos no cotidiano (BERTRAND E FRANSOO, 2002).

O estudo da eficiência produtiva em relação aos custos inerentes a safra do milho, da soja e do trigo no Estado do Paraná foi baseado na construção da fronteira de eficiência técnica utilizando a metodologia não-paramétrica conhecida como de Análise Envoltória de Dados (DEA). Para medir a eficiência técnica podem-se utilizar duas abordagens diferentes, ou seja,

com orientação a *input* e com orientação a *output*. Neste estudo utilizou-se o modelo DEA-BBC, orientado por *output*.

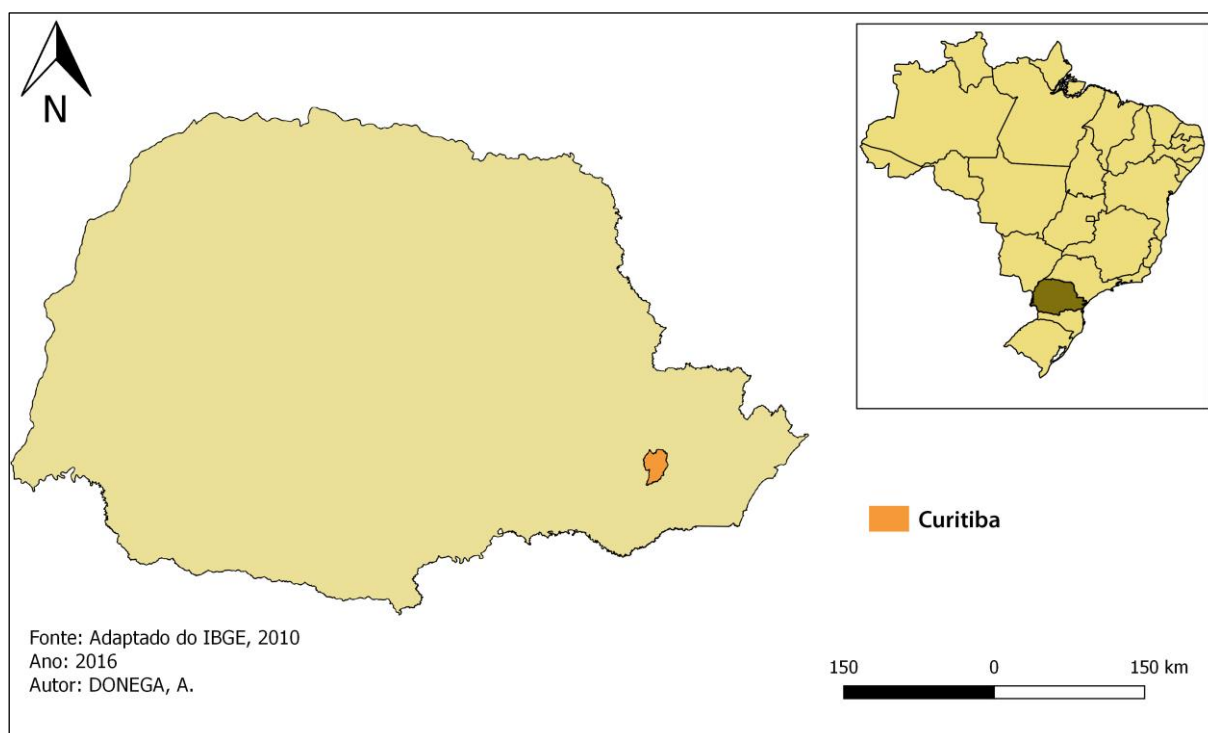
3.2 UNIVERSO DA PESQUISA E FONTE DE DADOS

Para abordar a eficiência em relação aos custos da produção das principais *commodities* agrícolas no Estado do Paraná, neste trabalho, utilizou-se os dados dos indicadores da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

Os dados coletados são de natureza secundária e são referentes ao custo da produção agrícola para as safras de milho (1999-2014), soja (1998-2015) e trigo (1998-2015), que investigaram os estabelecimentos agrícolas e as atividades neles desenvolvidas, obtendo informações detalhadas sobre os custos dos produtores e dos estabelecimentos (CONAB, 2015). A CONAB não apresenta dados referentes ao custo da produção para a safra de milho para os anos de 1998 e 2015, por este motivo esta cultura apresenta somente 16 DMU's, ou seja, duas DMU's a menos que as culturas da soja e trigo. Essa diferença não compromete este estudo.

As DMU's utilizadas neste trabalho são os anos de cada safra e o recorte espacial-territorial utilizado para a análise e a visualização dos resultados foi o Estado do Paraná (Figura 10).

Figura 10 - Estado do Paraná.



Fonte: Adaptado do IBGE (2010).

3.3 VARIÁVEIS SELECIONADAS

O método para se analisar a eficiência de uma DMU é sempre o mesmo, independentemente da técnica escolhida sendo que a escolha da técnica, do modelo e da perspectiva é apenas uma das várias etapas desse método (MARIANO, 2008). A Figura 11 apresenta a sequência dessas etapas.

Figura 11 - Etapas do método de cálculo da eficiência.



Fonte: Mariano (2008).

Em modelagem por DEA são necessárias três etapas para a implementação do problema: definição e seleção de DMUs; seleção das variáveis (*inputs* e *outputs*); escolha e aplicação do modelo (COOPER, SEIFORD E ZHU, 2011). A abordagem DEA pode ser dividida em duas etapas: determinação das medidas de eficiência e projeção na fronteira eficiente. A avaliação conjunta dos resultados dessas etapas podem ser de extrema utilidade na determinação de ações que melhorem o desempenho na agricultura.

Buscou-se confeccionar uma base de dados com informações de natureza similar a aquelas apresentadas na literatura relacionado aos custos da produção da agricultura. Fez-se fazer uma seleção das variáveis que melhor representam a eficiência em relação aos custos da produção das safras do milho, da soja e do trigo no Estado do Paraná.

As variáveis do modelo são representadas pelos *inputs* e o *output* que melhor representam os custos de produção dos principais *commodities* agrícolas do Estado do Paraná, entendendo-se como *inputs* os principais custos relacionados a safra utilizados pelos produtores para gerar os *outputs*; estes, por sua vez, podem ser definidos como os resultados gerados pelos produtores.

Esta fase pode ser considerada uma das mais importantes na implementação da metodologia, pois, como mencionado anteriormente, estas variáveis devem ser as que melhor representam o grupo dos custos dos produtores agrícolas, sendo que uma escolha inapropriada pode gerar resultados que não condizem com a realidade dos anos selecionados.

De acordo com esse levantamento junto a base de dados da CONAB, efetuou-se um levantamento das variáveis comuns disponíveis para o Estado do Paraná para as safras de Milho

(nos anos de 1999 a 2014), Soja (nos anos de 1998 a 2015) e Trigo (nos anos de 1998 a 2015). Segue descrição de cada variável:

1) **Operações com máquinas:** Operação e Aluguel de máquinas. As máquinas e os implementos agrícolas são projetados para realizar a execução de operações em diversas fases do cultivo (correção e preparo do solo, plantio, trato cultural, colheita e pós-colheita) e devem ser utilizadas de acordo com as suas características e com as necessidades do plantio. O levantamento dos coeficientes técnicos, que são observados a partir do seu uso, se traduzem em impactos importantes nos custos de produção agrícola. As principais informações e coeficientes técnicos a serem levantados pela CONAB são: tipo, fabricante, marca, modelo, especificação, potência, tração, preço do bem novo, quantidade do bem, fase de cultivo, época e intensidade de uso, horas trabalhadas por hectare, preço do combustível, salário do operador e seus encargos sociais. São utilizadas, também, informações relacionadas com a vida útil dos bens e os gastos com sua manutenção.

2) **Insumos:** Agrotóxicos, Fertilizantes e Sementes.

a) A legislação vigente⁹ entende os agrotóxicos como os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos.

b) De acordo com a legislação em vigor¹⁰, fertilizante é a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais. Aplicados ao solo ou diretamente nas plantas, concorrem para o aumento da produtividade. Tem como fontes de matéria-prima produtos oriundos da petroquímica e da mineração. Classificam-se quanto à forma (em pó ou farelados; granulados e mistura de granulados), quanto aos

⁹ BRASIL. Lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 julho de 1989, Seção 1, p. 11.459

¹⁰ BRASIL. Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 dezembro de 1980, Seção 1, p. 25.289

nutrientes (nitrogenados; fosfatados; potássicos e mistos) e quanto à concentração (baixa, média e alta concentração).

- c) As mudas e sementes são materiais utilizados para plantio e semeadura e os processos de produção e comercialização são regulamentados e têm controle do Mapa. Em que pese as diversas legislações e normalizações sobre o tema, é importante a atenção às leis que se referem ao sistema nacional de sementes e mudas e à proteção de cultivares, em vigor na época de elaboração deste trabalho.
- 3) **Pós-Colheita:** Transporte externo, Recepção, limpeza, secagem e armazenagem 30-d, PROAGRO/ CESSR, Assistência Técnica.
- a) A metodologia da CONAB poderá registrar no seu custo os gastos com o transporte da mercadoria ao local de armazenamento, no limite de até 80 quilômetros da unidade de produção. Esse procedimento tem origem nas diversas modalidades de comercialização existentes e já comentadas no item anterior.
 - b) Os gastos com recepção, limpeza, secagem, sobretaxa (ou tarifa equivalente) e armazenagem serão computados na estimativa de custos apenas por 01 quinzena de armazenagem, sendo possível, absorver, no máximo, mais uma quinzena se as informações colhidas no painel demonstrem tal situação a partir dos contratos firmados entre produtores e compradores e em virtude das normas legais.
 - c) De acordo com a Lei nº 12.188, de 11/01/2010, a assistência técnica e extensão rural é o serviço de educação informal, de caráter continuado, no meio rural, que promove processos de gestão, produção, beneficiamento e comercialização das atividades e dos serviços agropecuários e não agropecuários, inclusive das atividades agroextrativistas, florestais e artesanais.
- a) **Despesas Financeiras:** Juros do Financiamento. São considerados nesta rubrica os juros incidentes sobre os recursos necessários ao custeio da lavoura, computados a partir das respectivas épocas de liberação ou de utilização. A mensuração desse componente é feita a partir de estimativas de crédito que o agricultor obtém com recursos do crédito rural oficial e com recursos provenientes de fontes alternativas (própria ou de terceiros) para a complementação do financiamento da lavoura, remunerados de acordo com a origem dos recursos.

4) **Renda de Fatores:** Remuneração esperada sobre o capital fixo, Terra Própria. A metodologia utilizada pela CONAB admite que a terra é um dos fatores de produção e para efeito de cálculo do custo, estima-se que a taxa de remuneração da terra é de 3% sobre o preço real médio de venda da terra.

5) **Preço:** Preço final de custo da saca de 60 Kg.

O Quadro 2 apresenta as variáveis consideradas nesta pesquisa e a classificação destas variáveis de acordo com os modelos utilizados neste trabalho.

Quadro 2 - Escolha das variáveis.

Tema		Agricultura
Localização geográfica		Estado do Paraná
DMUs	Anos	Milho (1999 a 2014), Soja (1998 a 2015) e Trigo (1998 a 2015)
	Quantidade	Milho (16), Soja (18) e Trigo (18)
Base de dados		Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na área de indicadores CONAB.
Modelo DEA empregado		BCC-O
Variáveis	Inputs	Operações com máquinas, Insumos, Pós-Colheita, Despesas Financeiras e Renda de Fatores
	Output	Preço final de custo da saca

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 ESCOLHA DO SOFTWARE

O Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) foi desenvolvido para calcular todos resultados dos modelos DEA clássicos (eficiência, pesos, alvos, *benchmarks* e folgas) (ANGULO MEZA et al., 2005).

O SIAD, desenvolvido em Delphi 7.0, deve ser usado em uma plataforma Windows e permite trabalhar com até 100 DMUs e 20 variáveis, entre *inputs* e *outputs*. O software SIAD encontra-se disponível gratuitamente para download no endereço <http://www.uff.br/decisao>.

Os relatórios DEA podem fornecer uma maior ou menor quantidade de informações de acordo com o software adotado, sendo também disponibilizados mais ou menos recursos para a elaboração de análises (JUBRAN, 2005).

4 RESULTADOS

Esta seção foi dividida em duas partes. Na primeira, são apresentados os escores anuais de eficiência técnica das culturas de milho, soja e trigo para o Estado do Paraná, em especial no período de 1999 a 2014 para o milho, e de 1998 a 2015 para a soja e o trigo. Na segunda parte foi apresentada uma análise conjuntural sobre os resultados.

4.1 EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CULTURA DE MILHO

Na Tabela 1 estão relacionadas análises descritivas da safra do milho para os 5 *inputs* e 1 *output*. Tendo em vista que os dados analisados são referentes aos anos de 1999 a 2014, cada ano é tratado como uma DMU, totalizando 16.

A análise descritiva ilustrada na Tabela 1 mostra os resultados em valores mínimos e máximos apresentados de acordo com cada *input* e *output*. Ademais, são apresentadas as médias de cada variável, evidenciadas as estimativas de médias de maior magnitude, a saber, 428,38, que são os insumos utilizados na produção da safra de milho, mostrando ser este fator de custo elemento importante. O maior percentual de variação foi da variável "operações com máquinas" com 44,68%, sendo o de menor percentual a variável "despesas financeiras" com 18,40%.

Tabela 1 - Análise descritiva da safra do milho de acordo com cada variável utilizada (1999 - 2014).

	Variáveis	Mínimo	Máximo	Média Aritimética	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Inputs	Operações com máquinas	R\$ 70,57	R\$ 262,43	R\$ 156,03	69,72	44,68 %
	Insumos	R\$ 236,42	R\$ 575,04	R\$ 428,38	109,16	25,48 %
	Pós-Colheita	R\$ 66,14	R\$ 238,74	R\$ 141,93	58,28	41,07 %
	Despesas Financeiras	R\$ 18,68	R\$ 34,17	R\$ 28,68	5,28	18,40 %
	Renda de Fatores	R\$ 108,05	R\$ 328,92	R\$ 175,54	73,84	42,06 %
Outputs	Preço	R\$ 9,76	R\$ 26,17	R\$ 17,93	5,30	29,54 %

Fonte: Dados da pesquisa.

Aplicando o modelo DEA-BCC com orientação por *output* à base de dados utilizada, apresenta-se os resultados de acordo com o seu escore de eficiência (%) obtido através do software SIAD (ANGULO MEZA et al., 2004). Na Tabela 2 os resultados são apresentados de acordo com os escores eficiência (%) e foram calculados para a fronteira padrão e para a fronteira composta normalizada.

Tabela 2 - Escore de eficiência dos anos de 1999 a 2014 da safra do milho.

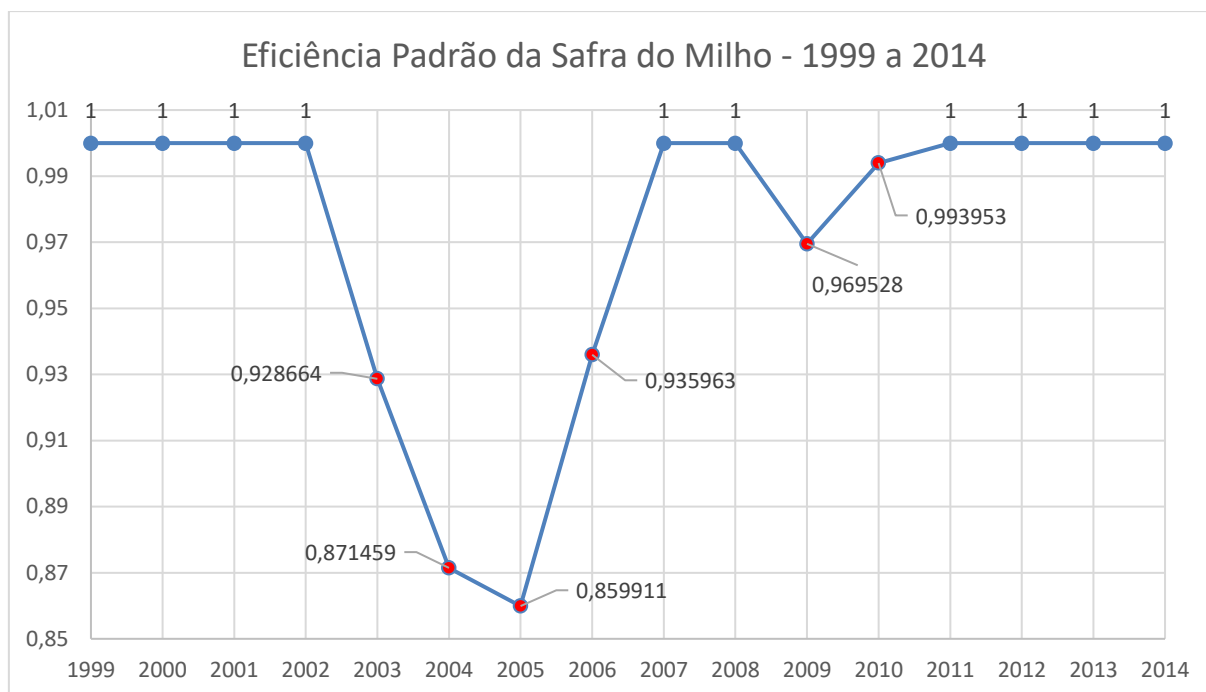
Safra Milho – 1999 a 2014		
DMU's	Padrão	Composta Normalizada
1999	1	0,897752
2000	1	0,897752
2001	1	0,934439
2002	1	0,897752
2003	0,928664	0,833710
2004	0,871459	0,782354
2005	0,859911	0,771987
2006	0,935963	0,840263
2007	1	1
2008	1	0,944795
2009	0,969528	0,870396
2010	0,993953	0,892323
2011	1	0,897752
2012	1	0,897752
2013	1	0,897752
2014	1	0,897752
Eficiente (s)	10	1
Ineficiente (s)	6	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando a fronteira de eficiência padrão da safra do milho, os DMU's eficientes foram nos anos 1999, 2000, 2001, 2002, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013 e 2014, totalizando 10 DMU's eficientes, ou seja, 62,5% da amostra. Os anos considerados ineficientes de acordo com a eficiência padrão foram: 2003, 2004, 2005, 2006, 2009 e 2010, totalizando 6 DMU's ineficientes (37,5%).

O Gráfico 1 mostra a evolução da eficiência da safra do milho ano a ano, através dos resultados da fronteira padrão (Tabela 2). Neste gráfico observa-se claramente uma queda significativa na eficiência entre os anos de 2003 a 2005, e 2009, sendo que nos anos de 2006 e 2010 segue-se uma trajetória de recuperação do grau de eficiência, até concretizar o grau máximo desta em 2007 e 2011 respectivamente.

Gráfico 1 - Eficiência Padrão da Safra do Milho - 1999 a 2014.



Fonte: Dados da pesquisa.

As medidas individuais mostraram que, dos 16 anos, dez estão operando com eficiência igual a um, ou seja, só 62,5% das DMU's atingiram a máxima eficiência técnica (Tabela 3). A máxima eficiência técnica implica que não existe outro ano mais eficiente produzindo o mesmo nível de *output*, usando a mesma combinação de *inputs*. Entre a eficiência, $0,9 \leq E < 1$, visualiza-se que 4 anos (ou 25% da amostra) e 2 anos, ou 12,5% da mesma, se encontram com medida de eficiência inferior a 0,9.

Tabela 3 - Distribuição dos DMU's segundo intervalos de medida de eficiência da safra milho - 1999 a 2014.

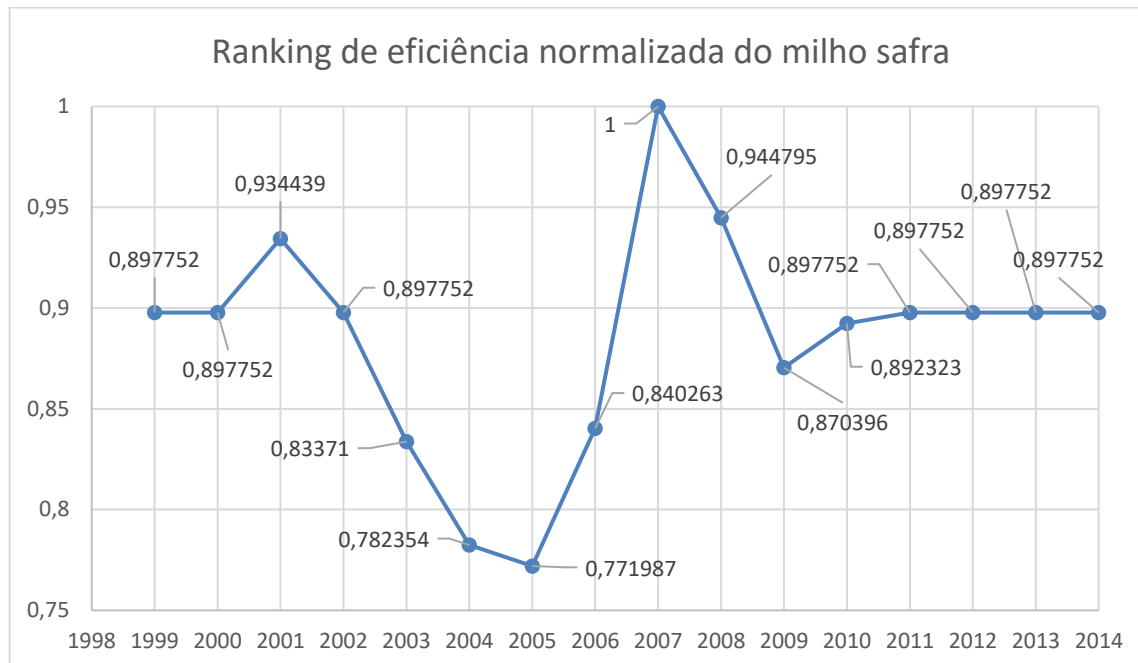
Eficiência Técnica		
Nível de Eficiência (E)	Retornos Variáveis	%
E = 1	10	62,5 %
$0,9 \leq E < 1$	4	25 %
E < 0,9	2	12,5 %
TOTAL	16	100 %

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados obtidos através da fronteira composta normalizada, normalmente, permitem uma melhor discriminação das DMU's. O Gráfico 2 classifica as DMU's através do *ranking* de eficiência da safra do milho conforme o resultado do cálculo da eficiência composta normalizada da Tabela 2. Foram apresentados os valores percentuais de cada DMU sendo possível verificar que dentre a safra do milho, a DMU mais eficiente é a do ano 2007, seguida

por 2008 (2º posição/lugar), 2001 (3º) e 2013 (4º). As DMU's menos eficientes foram nos anos 2006 (13º), 2003 (14º), 2004 (15º) e 2005 (16º).

Gráfico 2 - *Ranking* de eficiência normalizada da safra do milho.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tais resultados observados no Gráfico 2 podem ser utilizados para identificar as melhores práticas, servindo a DMU de 2007, como referência em termos de eficiência global para os demais anos da safra do milho no Estado do Paraná. A correção da ineficiência das outras DMU's pode aumentar o potencial produtivo da cultura do milho no Estado do Paraná, ressaltando a importância de analisar com cautela as particularidades de cada ano, visando o maior aproveitamento dos *inputs* e consequente maior resultado.

De acordo com Souza et al. (2011), o modelo DEA trata-se de um método determinístico, onde qualquer valor diferente da unidade, que indica a eficiência máxima, pode ser considerado como ineficiente, o que gera possibilidade para classificações equivocadas. Mediante análise dos indicadores DEA, com vistas a uma melhor classificação das unidades para análise, utilizou-se a terminologia "alta", "média" e "baixa" eficiência, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das unidades por eficiência normalizada da safra do milho - 1999 a 2014.

Classificação	Valor de Eficiência Composta normalizada	Número de Unidades	%	Anos
Eficiência	$E = 1$	1	6,25 %	2007
Alta Eficiência	$1 > \text{Valor} \geq 0,9$	2	12,5 %	2001 e 2008
Média Eficiência	$0,9 > \text{Valor} \geq 0,8$	11	68,75 %	1999, 2000, 2002, 2003, 2006, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014
Baixa Eficiência	$\text{Valor} < 0,8$	2	12,5 %	2004 e 2005

Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme Tabela 4 apenas o ano de 2007 foi classificado como eficiente e ele representa 6,25% da amostra; os anos de 2001 e 2008 foram classificados como alta eficiência e representam 12,5%; a média eficiência possui a maior quantidade de DMU's (68,75%) e somente os anos de 2004 e 2005 estão na faixa de baixa eficiência (12,5%).

A Tabela 5 apresenta os valores dos *inputs* e *outputs* verificados para cada DMU que foi considerada ineficiente na fronteira padrão (Tabela 2) e o respectivo alvo para atingir-se a eficiência nos referidos anos. A mesma indica a magnitude das variáveis, podendo ser utilizada como um ponto de partida para estratégias de melhorias de desempenho dos anos menos eficientes.

Tabela 5 - Variação percentual entre atual e alvo das DMU's ineficientes da safra do milho para atingir a eficiência.

Variáveis	Ano				
	2003	2004	2005	2006	2010
Operações com máquinas	0 %	0 %	0 %	0 %	-6.23 %
Insumos	-16.01 %	-14.15 %	0,00	-5.93 %	-4.95 %
Pós-Colheita	-21.02 %	-28.70 %	-23.56 %	-20.50 %	0 %
Desp. Financeiras	-48.52 %	-40.96 %	-36.64 %	-24.09 %	0 %
Renda de Fatores	0 %	0 %	0 %	0 %	-1.80 %

Fonte: Dados da pesquisa.

Percebe-se de forma geral (Tabela 5), que no período analisado ocorreram variações nos indicadores: Operações com máquinas, Insumos, Pós-Colheita, Despesas Financeiras e Renda de Fatores para os todos anos. No caso do ano com menor eficiência (2005 - ef. 0,859), a recomendação é em reduzir os custos com Pós-Colheita em 23,56% e Despesas Financeiras em 36,64%, já no caso da DMU com maior eficiência, (2010 - ef. 0,993), os resultados dos alvos são mais próximos dos valores atuais, com uma variação de 4,95% para alcançar a eficiência nos insumos, 6,23% para atingir nas operações com máquinas e 1,8% para renda de fatores comparáveis às demais DMU's eficientes, ou seja, que atingiram a eficiência 1.

As DMU's 2003, 2004 e 2006, precisam reduzir os custos nas variáveis insumos (16,1%, 14,15% e 5,93%), respectivamente, pós-colheita (21,02%, 28,7% e 20,5%), respectivamente, e despesas financeiras (48,52 %, 40,96% e 24,9%), respectivamente.

Destacam-se os anos: 2003, 2004, 2005 e 2006 por não possuírem folgas quanto às variáveis operações com máquinas e renda dos fatores, o que entende que suas estruturas estão ajustadas e adequadas. Para o ano de 2010 os *inputs* pós-colheita e despesas financeiras são considerados ótimos, já que também não apresentam folgas. Para o ano de 2009 todas as folgas apresentaram 0,00%, ou seja, não existe variação percentual entre o atual e a folga.

4.2 EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CULTURA DA SOJA

Os dados analisados da safra da soja são referentes aos anos de 1998 a 2015, totalizando 18 DMU's. A Tabela 6 apresenta as análises descritivas da safra da soja, para os 5 *inputs* e 1 *output*.

A variável insumo apresenta a maior média, 504,08, demonstrando ser este fator de custo importante. O maior percentual de variação foi da variável "pós-colheita" com 52,49%, sendo o de menor percentual a variável "despesas financeiras" com 20,13%.

Tabela 6 - Análise descritiva da safra da soja de acordo com cada variável utilizada (1998 - 2015).

	Variáveis	Mínimo	Máximo	Média Aritimética	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Inputs	Operações com máquinas	R\$ 61,87	R\$ 171,03	R\$ 130,08	34,63	26,62 %
	Insumos	R\$ 213,01	R\$ 842,51	R\$ 504,08	174,02	34,52 %
	Pós-Colheita	R\$ 34,45	R\$ 236,99	R\$ 124,71	65,46	52,49 %
	Despesas Financeiras	R\$ 23,19	R\$ 51,71	R\$ 37,87	7,62	20,13 %
	Renda de Fatores	R\$ 118,51	R\$ 555,67	R\$ 250,50	108,88	43,46 %
Outputs	Preço	R\$ 12,50	R\$ 44,37	R\$ 27,49	8,92	32,43 %

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 7 é apresentada de acordo com os escores eficiência (%) e foram calculados para a fronteira padrão e fronteira composta normalizada utilizando o modelo DEA-BCC com orientação por *output*.

Tabela 7 - Escore de eficiência dos anos de 1998 a 2015 da safra da soja.

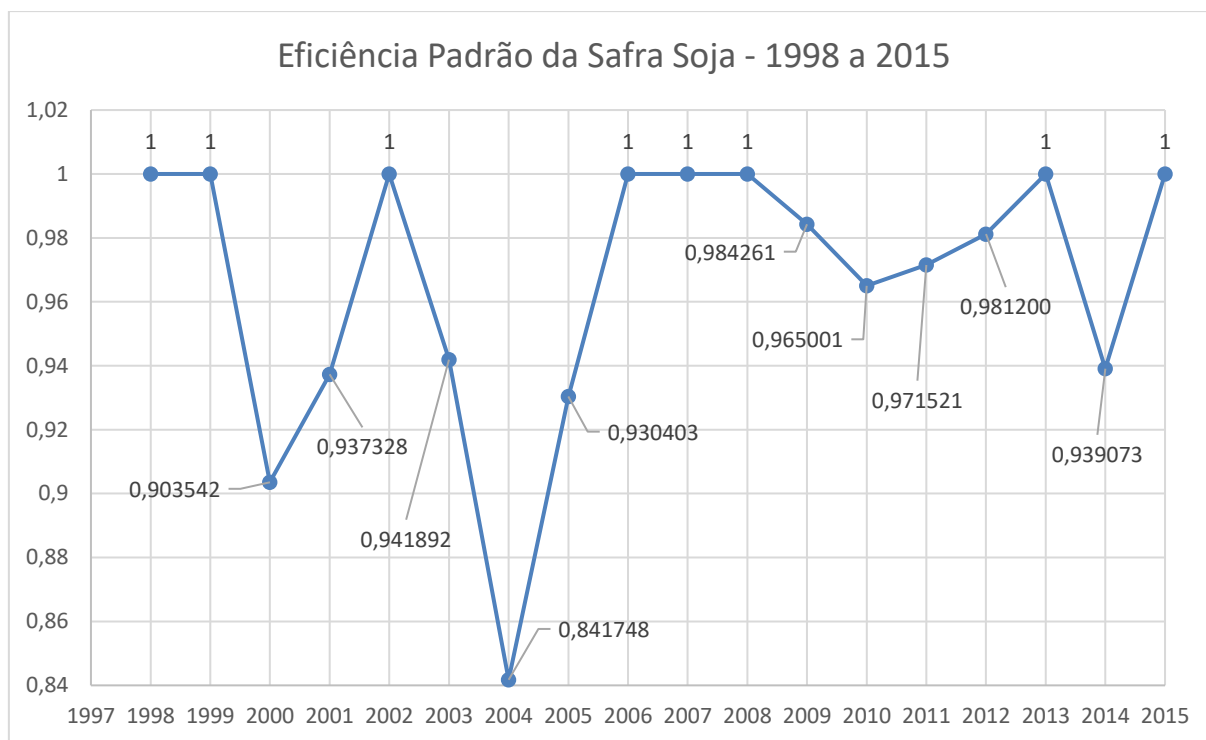
Safra Soja – 1998 a 2015		
DMU's	Padrão	Composta Normalizada
1998	1	0,905556
1999	1	0,905556
2000	0,903542	0,818208
2001	0,937328	0,870799
2002	1	0,919382
2003	0,941892	0,852936
2004	0,841748	0,76225
2005	0,930403	0,932325
2006	1	0,990778
2007	1	0,998102
2008	1	1
2009	0,984261	0,927502
2010	0,965001	0,903883
2011	0,971521	0,879767
2012	0,981200	0,888531
2013	1	0,905556
2014	0,939073	0,850384
2015	1	0,905556
Eficiente (s)	8	1
Ineficiente (s)	10	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Analizando a fronteira de eficiência padrão (Tabela 7), da safra da soja os DMU's eficientes foram nos anos 1998, 1999, 2002, 2006, 2007, 2008, 2013 e 2015, totalizando 8 DMU's eficientes, ou seja, 44,44% da amostra. Os anos considerados ineficientes de acordo com a eficiência padrão foram: 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2014, totalizando 10 DMU's ineficientes (55,56%).

A evolução da eficiência da safra da soja ano a ano é apresentada no Gráfico 3, que foi construído utilizando os resultados da fronteira padrão (Tabela 7). Neste gráfico observa-se claramente uma queda significativa na eficiência nos anos de 2000 e 2003 a 2004, sendo que no ano de 2005 segue-se uma trajetória de recuperação do grau de eficiência, até concretizar o grau máximo nos anos de 2006, 2007, 2008, 2013 e 2015. Percebe-se um novo movimento de diminuição da eficiência entre os anos de 2009 a 2010 e 2014.

Gráfico 3 - Eficiência Padrão da Safra da Soja - 1998 a 2015.



Fonte: Dados da pesquisa.

As medidas individuais mostraram que, dos 18 anos, oito estão operando com eficiência igual a um, ou seja, só 44,44% dos anos atingiram a máxima eficiência técnica (Tabela 8). A máxima eficiência técnica implica que não existe outro ano mais eficiente produzindo o mesmo nível de *output*, usando a mesma combinação de *inputs*. Entre a eficiência, $0,9 \leq E < 1$, pode-se constatar que 9 anos (ou 50% da amostra) e apenas o ano de 2004 (5,56%) encontra-se com medida de eficiência inferior a 0,9.

Tabela 8 - Distribuição dos DMU's segundo intervalos de medida de eficiência da safra da soja - 1998 a 2015.

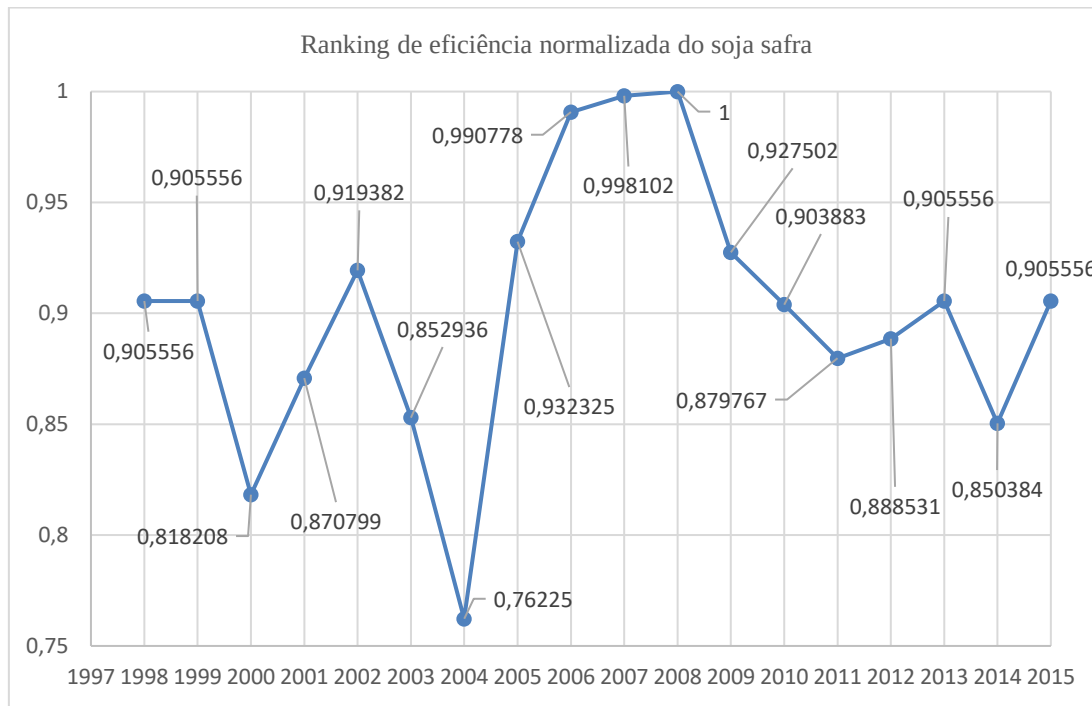
Eficiência Técnica		
Nível de Eficiência (E)	Retornos Variáveis	%
E = 1	8	44,44 %
$0,9 \leq E < 1$	9	50 %
E < 0,9	1	5,56 %
TOTAL	18	100 %

Fonte: Dados da pesquisa.

O Gráfico 4 classifica as DMU's através do *ranking* de eficiência da safra da soja conforme o resultado do cálculo da eficiência composta normalizada da Tabela 7. Esses resultados permitem uma melhor discriminação das DMU's, sendo possível verificar que dentre

o ano mais eficiente foi 2008, seguida por 2007 (2º posição/lugar), 2006 (3º) e 2005 (4º). As DMU's menos eficientes foram nos anos 2003 (15º), 2014 (16º), 2000 (17º), 2004 (18º).

Gráfico 4 - *Ranking* de eficiência normalizada da safra da soja.



Fonte: Dados da pesquisa.

O ano de 2008 serve como referência em termos de eficiência global e pode ser utilizado para identificar as melhores práticas para os demais anos da safra da soja para o Estado do Paraná dentro do período estudado (Gráfico 4).

A Tabela 9 apresenta a classificação das DMU's por eficiência utilizando a terminologia "alta", "média" e "baixa" eficiência.

Tabela 9 - Classificação das unidades por eficiência normalizada da safra da soja - 1998 a 2015.

Classificação	Valor de Eficiência Composta normalizada	Número de Unidades	%	Anos
Eficiência	$E = 1$	1	5,56 %	2008
Alta Eficiência	$1 > \text{Valor} \geq 0,9$	10	55,56 %	1998, 1999, 2002, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2013 e 2015
Média Eficiência	$0,9 > \text{Valor} \geq 0,8$	6	33,33 %	2000, 2001, 2003, 2011, 2012 e 2014
Baixa Eficiência	$\text{Valor} < 0,8$	1	5,56 %	2004

Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme Tabela 9 apenas o ano de 2008 foi classificado como eficiente e ele representa 5,56% da amostra; a alta eficiência possui a maior quantidade de DMU's (55,56%);

os anos de 2000, 2001, 2003, 2011, 2012 e 2014 foram classificados como média eficiência e representam 33,33% e somente o ano de 2004 está na faixa de baixa eficiência (5,56%).

A Tabela 10 apresenta a variação percentual dos anos ineficientes para atingir os respectivos alvos e auferir a eficiência nos referidos anos, podendo ser utilizada como um ponto de partida para estratégias de melhorias no desempenho das unidades menos eficientes.

Tabela 10 - Variação percentual entre atual e alvo das DMU's ineficientes da safra da soja para atingir a eficiência.

Ano	Variáveis				
	Op. com máquinas	Insumos	Pós-Colheita	Desp. Financeiras	Renda de Fatores
2000	0 %	0 %	-38,01 %	-16,76 %	0 %
2001	0 %	0 %	-36,99 %	-16,92 %	0 %
2003	0 %	0 %	-12,77 %	-41,59 %	0 %
2004	0 %	-12,20 %	-21,90 %	-32,66 %	0 %
2005	0 %	0 %	-13,21 %	-25,90 %	0 %
2009	-10,89 %	0 %	0 %	-11,10 %	0 %
2010	-5,14 %	0 %	0 %	-4,50 %	-8,74 %
2011	-29,33 %	0 %	0 %	-23,44 %	0,00
2012	0 %	0 %	-5,90 %	-3,13 %	-22,53 %
2014	0 %	-6,60 %	-1,06 %	0 %	0 %

Fonte: Dados da pesquisa.

Percebe-se de forma geral (Tabela 10), que no período analisado ocorreram variações nos indicadores: Operações com máquinas, Insumos, Pós-Colheita, Despesas Financeiras e Renda de Fatores para os anos de 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2014.

Para o ano com menor eficiência (2004 - ef. 0,841), a recomendação é reduzir os custos com insumos em 12,20%, Pós-Colheita em 21,90% e Despesas Financeiras em 32,66%, já no caso da DMU com maior eficiência, (2009 - ef. 0,984), para atingir a eficiência é necessário reduzir os custos em 10,89% com operações com máquinas e 11,10% nas despesas financeiras.

Em praticamente todos os anos ineficientes o *input* “despesas financeiras” aparece não ajustados e não adequado, com excessão do ano de 2014.

As DMU's 2000, 2001, 2004 e 2005, precisam reduzir os custos nas variáveis pós-colheita (38,01%, 36,99%, 12,77% e 13,21%) e despesas financeiras (16,76%, 16,92%, 41,59% e 25,90%), sendo as variáveis operações com máquinas, inusmos e renda de fatores como ajustadas e adequadas, conforme Tabela 10.

As DMU's 2010 e 2011 precisam reduzir os custos nas variáveis operações com máquinas na ordem de 5,14% e 29,33% respectivamente, despesas financeiras (4,50% e 23,44%), e renda de fatores em 8,74% para o ano de 2010. Em relação ao *input* insumos somente

os anos de 2004 e 2014 apresentam não estarem ajustados, podendo reduzir seus custos em 12,20% e 6,60%, respectivamente (Tabela 10).

4.3 EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CULTURA DO TRIGO

Os dados analisados da safra do trigo são referentes aos anos de 1998 a 2015, totalizando 18 DMU's. A Tabela 11 apresenta as análises descritivas da safra do trigo, para os 5 *inputs* e 1 *output*.

A variável insumos apresenta a maior média, 636,85, demonstrando ser este o fator de custo é relevante. O maior percentual de variação foi no *input* "renda de fatores" com 59,54%, a variável "pós-colheita" apresentou o menor percentual de variação, 30,38%.

Tabela 11 - Análise descritiva da safra do trigo de acordo com cada variável utilizada (1998 - 2015).

	Variáveis	Mínimo	Máximo	Média Aritimética	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Inputs	Operações com máquinas	R\$ 48,51	R\$ 352,11	R\$ 176,22	88,37	50,15 %
	Insumos	R\$ 188,44	R\$ 1007,00	R\$ 636,85	229,64	36,06 %
	Pós-Colheita	R\$ 41,53	R\$ 197,14	R\$ 138,08	41,95	30,38 %
	Despesas Financeiras	R\$ 11,64	R\$ 67,15	R\$ 36,30	13,99	38,54 %
	Renda de Fatores	R\$ 101,80	R\$ 670,85	R\$ 254,70	151,64	59,54 %
Outputs	Preço	R\$ 12,03	R\$ 58,13	R\$ 32,05	13,94	43,49 %

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 12 apresenta os escores de acordo com a eficiência (%), estes foram calculados para a fronteira padrão e para a fronteira composta normalizada utilizando o modelo DEA-BCC com orientação por output.

Tabela 12 - Escore de eficiência dos anos de 1998 a 2015 da safra do trigo.

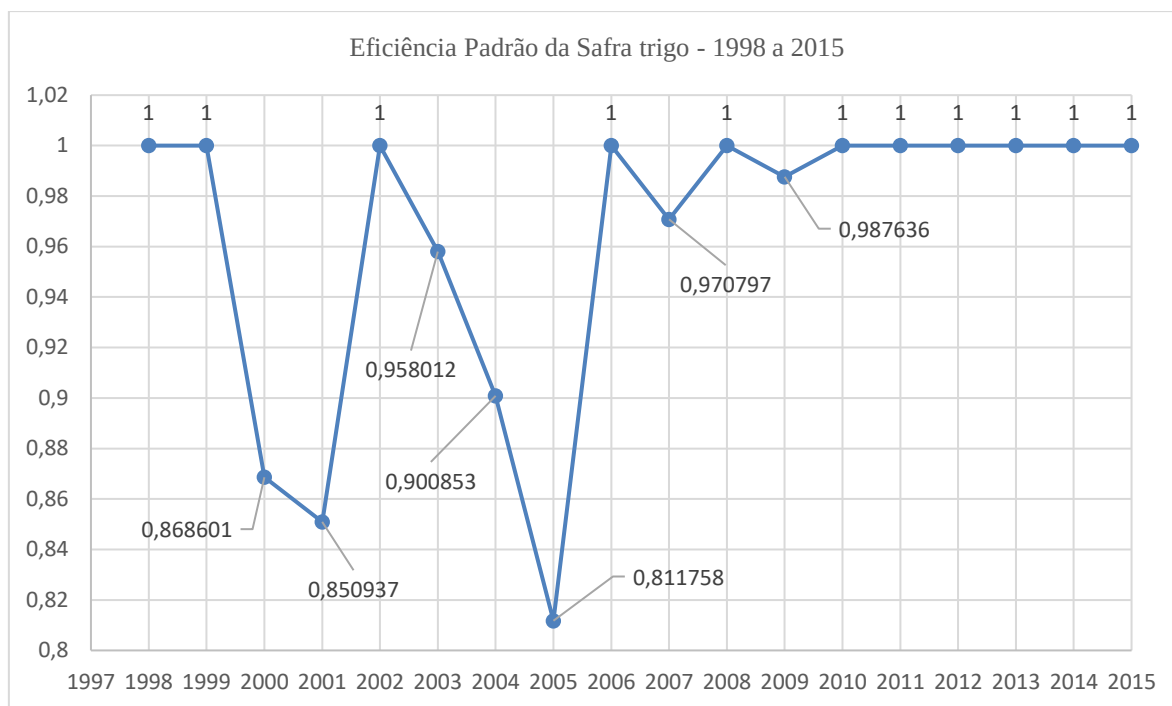
Safra Trigo – 1998 a 2015		
DMU's	Padrão	Composta Normalizada
1998	1	0,893697
1999	1	0,941384
2000	0,868601	0,776266
2001	0,850937	0,76048
2002	1	0,893697
2003	0,958012	0,856173
2004	0,900853	0,805089
2005	0,811758	0,725466
2006	1	0,893697
2007	0,970797	0,867598
2008	1	1
2009	0,987636	0,900061
2010	1	0,918277
2011	1	0,893697
2012	1	0,893697
2013	1	0,893697
2014	1	0,893697
2015	1	0,893697
Eficiente (s)	11	1
Ineficiente (s)	7	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Analizando a fronteira de eficiência padrão, da safra do trigo as DMU's eficientes foram nos anos 1998, 1999, 2002, 2006, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015, totalizando 11 DMU's eficientes, ou seja, 61,11% da amostra. Os anos considerados ineficientes de acordo com a eficiência padrão foram: 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2007 e 2009, totalizando 7 DMU's ineficientes (38,89%).

O Gráfico 5 mostra a evolução da eficiência da safra do trigo ano a ano, através dos resultados da fronteira padrão (Tabela 12). Neste gráfico observa-se claramente uma queda significativa na eficiência entre os anos de 2000 a 2001 e 2003 a 2005, nos anos de 2006 segue-se uma trajetória de recuperação do grau de eficiência, e posteriormente somente os anos de 2007 e 2009 apresentam uma queda no grau de eficiência, em seguida os anos de 2010 a 2015 apresentam o grau máximo de eficiência.

Gráfico 5 - Eficiência Padrão da Safra da Trigo - 1998 a 2015.



Fonte: Dados da pesquisa.

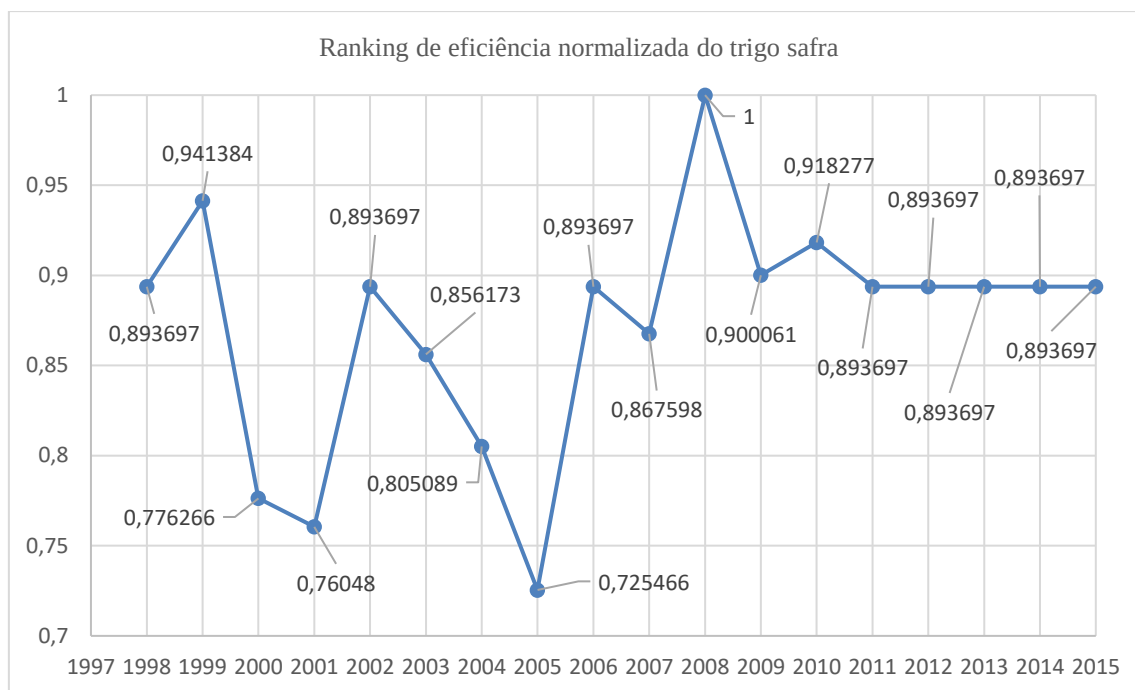
As medidas individuais mostraram que, dos 18 anos, onze estão operando com eficiência igual a um, ou seja, só 61,11% dos anos atingiram a máxima eficiência técnica (Tabela 13). A máxima eficiência técnica implica que não existe outro ano mais eficiente produzindo o mesmo nível de *output*, usando a mesma combinação de *inputs*. Entre a eficiência, $0,9 \leq E < 1$, pode-se constatar que 4 DMU's (22,22%) e 3 DMU's, ou 16,67% da mesma, se encontram com medida de eficiência inferior a 0,9.

Tabela 13 - Distribuição dos DMU's segundo intervalos de medida de eficiência da safra trigo – 1998 a 2015.

Nível de Eficiência (E)	Eficiência Técnica	
	Retornos Variáveis	%
E = 1	11	61,11 %
$0,9 \leq E < 1$	4	22,22 %
E < 0,9	3	16,67 %
TOTAL	18	100 %

Fonte: Dados da pesquisa.

O Gráfico 6 classifica as DMU's através do *ranking* de eficiência da safra do trigo conforme o resultado do cálculo da eficiência composta normalizada da Tabela 12. Esses resultados permitem uma melhor discriminação das DMU's, sendo possível verificar que dentre o ano mais eficiente foi 2008, seguida por 1999 (2º posição/lugar), 2010 (3º) e 2009 (4º). As DMU's menos eficientes foram nos anos 2004 (15º), 2000 (16º), 2001 (17º), 2005 (18º).

Gráfico 6 - *Ranking* de eficiência normalizada da safra do trigo.

Fonte: Dados da pesquisa.

Através do Gráfico 6 é possível identificar as melhores práticas, servindo a DMU de 2008, como referência em termos de eficiência global para os demais DMU's. Analisar a ineficiência das outras DMU's ineficientes e entender o que é passível de correção, possivelmente aumentaria o potencial produtivo da cultura do trigo no Estado do Paraná, ressaltando a importância de analisar com cautela as particularidades de cada ano, visando o maior aproveitamento dos *inputs* no futuro e consequente obtenção de melhores resultados.

A Tabela 14 apresenta a classificação das DMU's por eficiência utilizando a terminologia "alta", "média" e "baixa" eficiência.

Tabela 14 - Classificação das unidades por eficiência normalizada da safra do trigo - 1998 a 2015.

Classificação	Valor de Eficiência Composta normalizada	Número de Unidades	%	Anos
Eficiência	$E = 1$	1	5,56 %	2008
Alta Eficiência	$1 > \text{Valor} \geq 0,9$	3	16,67 %	1999, 2009 e 2010
Média Eficiência	$0,9 > \text{Valor} \geq 0,8$	11	61,11 %	1998, 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015
Baixa Eficiência	$\text{Valor} < 0,8$	1	16,67 %	2000, 2001 e 2005

Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme Tabela 14 apenas o ano de 2008 foi classificado como eficiente e ele representa 5,56% da amostra; os anos de 1999, 2009 e 2010 foram classificados como alta eficiência e representam 16,67%; a média eficiência possui a maior quantidade de DMU's (61,11%) e somente os anos de 2000, 2001 e 2005 estão na faixa de baixa eficiência (16,67%).

A Tabela 15 apresenta os valores dos *inputs* e *outputs* verificados para cada DMU que foi considerada ineficiente na fronteira padrão (Tabela 12), e o respectivo alvo para atingir-se a eficiência nos referidos anos. Tal, indica a magnitude das variáveis, podendo ser utilizadas como um ponto de partida para estratégias de melhorias de desempenho das unidades menos eficientes.

Tabela 15 - Variação percentual entre atual e alvo das DMU's ineficientes da safra do trigo para atingir a eficiência.

Ano	Variáveis				
	Op. com máquinas	Insumos	Pós-Colheita	Desp. Financeiras	Renda de Fatores
2000	0 %	0 %	-41,22 %	-21,07 %	0 %
2001	0 %	0 %	-42,72 %	-24,64 %	0 %
2003	0 %	-20,32 %	-23,81 %	-51,29 %	0 %
2004	0 %	-12,14 %	-21,93 %	-32,69 %	0 %
2005	0 %	0 %	-23,76 %	-35,25 %	0 %
2007	0 %	-11,22 %	-3,53 %	0 %	-1,85 %
2009	0 %	0 %	0 %	-0,68 %	0 %

Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se na Tabela 15, no caso do ano com menor eficiência (2005 - ef. 0,811), a recomendação é em reduzir os custos com Pós-Colheita em 23,76% e Despesas Financeiras em 35,25%, já no caso da DMU com maior eficiência, (2009 - ef. 0,987), a única variável não ajustada e adequada é despesas financeiras em 0,68%.

A DMU 2007 foi a única que apresentou variação percentual entre o atual e o alvo na variável renda de fatores, ou seja, esta variável precisa reduzir em 1,85 % esses custos. Entretanto, a mesma DMU 2007 foi a única que apresentou estar ajustada e adequada na variável despesas financeiras entre os anos ineficientes.

As DMU's 2000, 2001, 2003 e 2004 precisam reduzir os custos nas variáveis insumos (0%, 0%, 20,32% e 12,14), respectivamente, pós-colheita (41,22%, 42,72%, 23,81% e 21,93%), respectivamente, e despesas financeiras (21,07%, 24,64%, 51,29% e 32,69%) respectivamente.

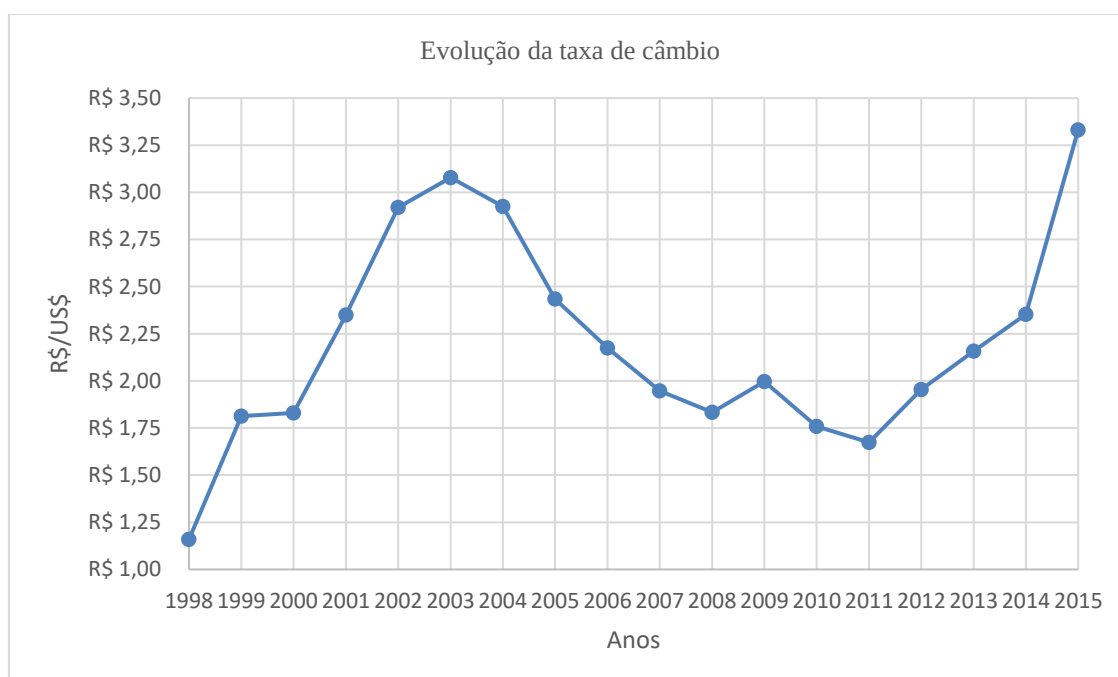
4.4 ANÁLISE CONJUNTURAL

Este item dedica-se a apresentar a relação existente entre as variáveis *inputs* adotadas no modelo em estudo e variações na taxa de câmbio, taxa básica de juros (SELIC), capacidade de armazenagem e preço recebido pelos produtores agrícolas no Estado do Paraná. Têm-se que o desempenho destas variáveis e externas ao modelo podem influenciar diretamente o comportamento das variáveis *inputs*.

O *input* “Operações com máquinas” aparece ajustado e adequado em todos os anos da safra do trigo e em praticamente todos os anos das safras do milho, com exceção do ano de 2010 com 6,23%, e em relação à safra da soja somente os anos de 2009, 2010 e 2011 (10,89%, 5,14% e 29,33%), respectivamente apareceram folgas e possíveis ajustamentos.

O *input* “insumo” foi relevante nas DMU’s ineficientes da safra do milho, pois praticamente todos os anos apresentaram folgas com exceção do ano de 2005. Entretanto, para a safra da soja esse *input* só aparece não ajustado e não adequado nos anos de 2004 e 2014 (12,20% e 6,60%). E na safra do trigo somente os anos de 2003, 2004 e 2007 (20,31%, 12,14% e 11,22%) apresentam folgas. Essa redução na variação percentual pode ser explicada pela redução nos preços dos insumos em decorrência do movimento de apreciação cambial (R\$/Dólar), que ocorre de forma mais substancial a partir de 2010. O nível da taxa de câmbio é ilustrado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Evolução da taxa de câmbio (1998 - 2015).

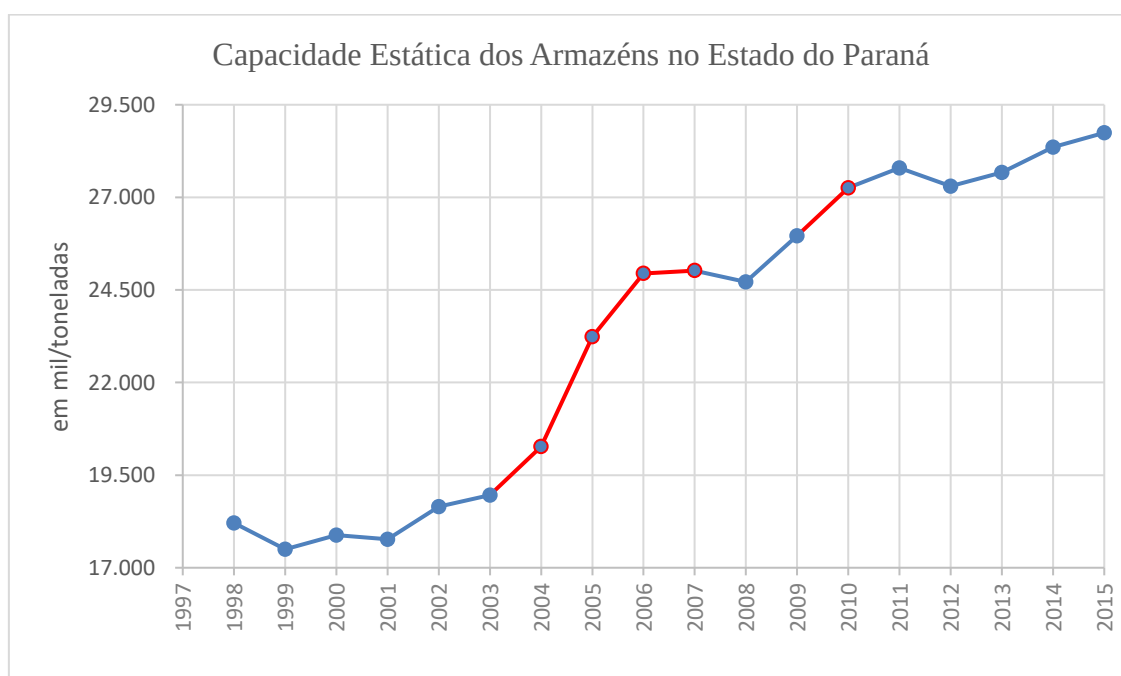


Fonte: Elaboração própria do autor com base em dados fornecidos pelo BACEN (2016).

Uma vez que o *input* pós-colheita apresentou redução na variação percentual entre o atual e o alvo ao longo dos anos ineficientes das três safras (milho, soja e trigo) uma possível explicação seria em relação ao custo de armazenagem, sendo este um dos principais custos da variável pós-colheita. De acordo com o Gráfico 8, a capacidade estática dos armazéns tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (CONAB, 2016). Essa oferta da capacidade dos armazéns fez com que possivelmente os custos de armazenagem se reduzissem e consequentemente contribuisse para essa redução da variação percentual entre o atual e o alvo da variável “pós-colheita” ao longo dos anos.

O aumento da capacidade estática a partir do ano de 2013 pode ser justificado pela, o Plano Nacional de Armazenagem (Portaria MAPA nº 379/2012) para ampliação da capacidade estática e melhoria do parque de armazenagem do país. Parte do resultado deste trabalho foi contemplado no Plano Agrícola e Pecuário 2013/2014 como Programa de Construção e Ampliação de Armazéns – PCA, no qual o Governo Federal disponibilizou um total de R\$ 25 bilhões em linha de crédito específica de financiamento para implantação, modernização e ampliação de unidades armazenadoras no Brasil.

Gráfico 8 - Evolução da capacidade estática dos armazéns no Estado o Paraná (em mil/toneladas), 1997 - 2015.



Fonte: Adaptado de CONAB (2016).

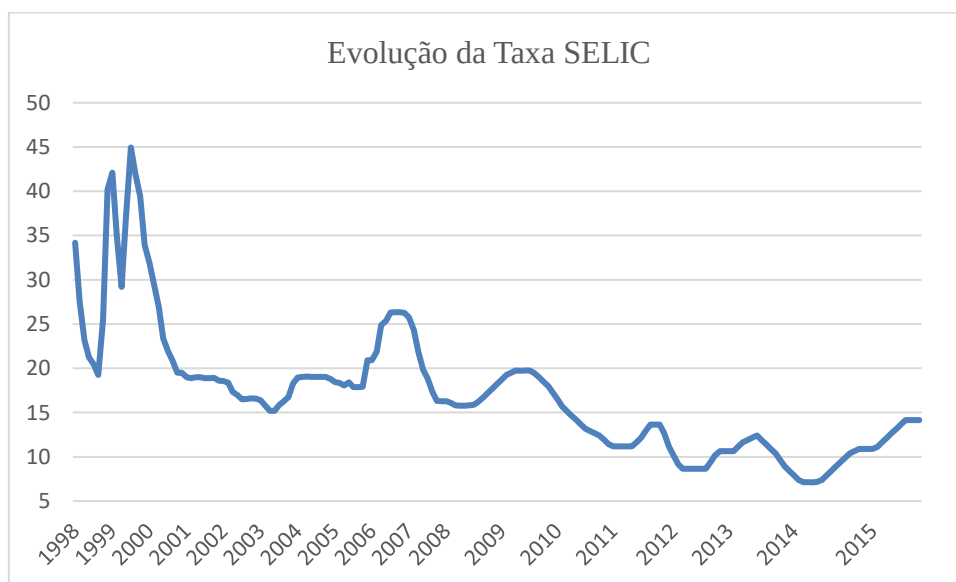
A variável “Despesas Financeiras” é uma variável não controlada pelo produtor. De acordo com a CONAB (2010), a variável “Despesas Financeiras” são os juros incidentes

sobre os recursos necessários ao custeio da lavoura. Tem-se que a mensuração desse componente se dá a partir de estimativas de crédito que o agricultor obtém com recursos do crédito rural oficial, portanto à taxa de juros preferenciais, e com recursos provenientes de fontes alternativas (própria ou de terceiros) para a complementação do financiamento da lavoura, remunerados pela taxa SELIC.

Considerando o exposto, é notável a relação existente entre a variável "Despesa Financeira" e a taxa SELIC. Por meio do Gráfico 9, observa-se que a taxa Selic vem se reduzindo ao longo do período em análise (a partir de 1998) e consequentemente contribuindo para a redução da variação percentual entre o atual e o alvo (Tabela 5, Tabela 10 e Tabela 15).

As despesas financeiras foram extremamente importantes nos custos e uma das principais fontes de ineficiência das três culturas (milho, soja e trigo), evidenciado pelos resultados (Tabela 5, Tabela 10 e Tabela 15) em que os alvos são mais distantes dos valores atuais. Percebe-se um movimento decrescente nas folgas ao longo do tempo chegando na safra do milho no ano de 2010 e na safra da soja no de 2014 com folgas em 0%, e na safra do trigo no ano de 2009 com 0,68% de folga, ou seja, os resultados dos alvos são mais próximos dos valores atuais.

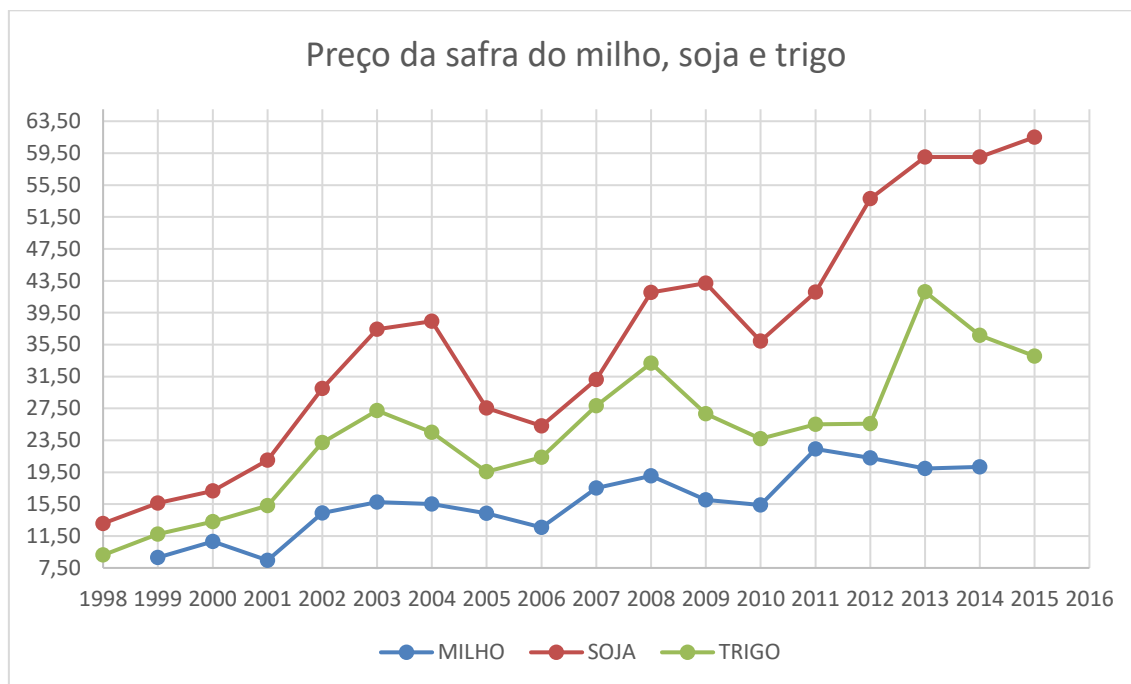
Gráfico 9 - Evolução da Taxa SELIC (1998 - 2015).



Fonte: Adaptado de BACEN (2016).

O input “renda de fatores” está ajustado e adequado em praticamente todas as DMU’s das três culturas, com exceção da safra do milho no ano de 2010 (1,8%), safra da soja em 2010 e 2012 (8,74% e 22,53%) e na safra do trigo apenas no ano de 2007 apresenta folga de 1,85%.

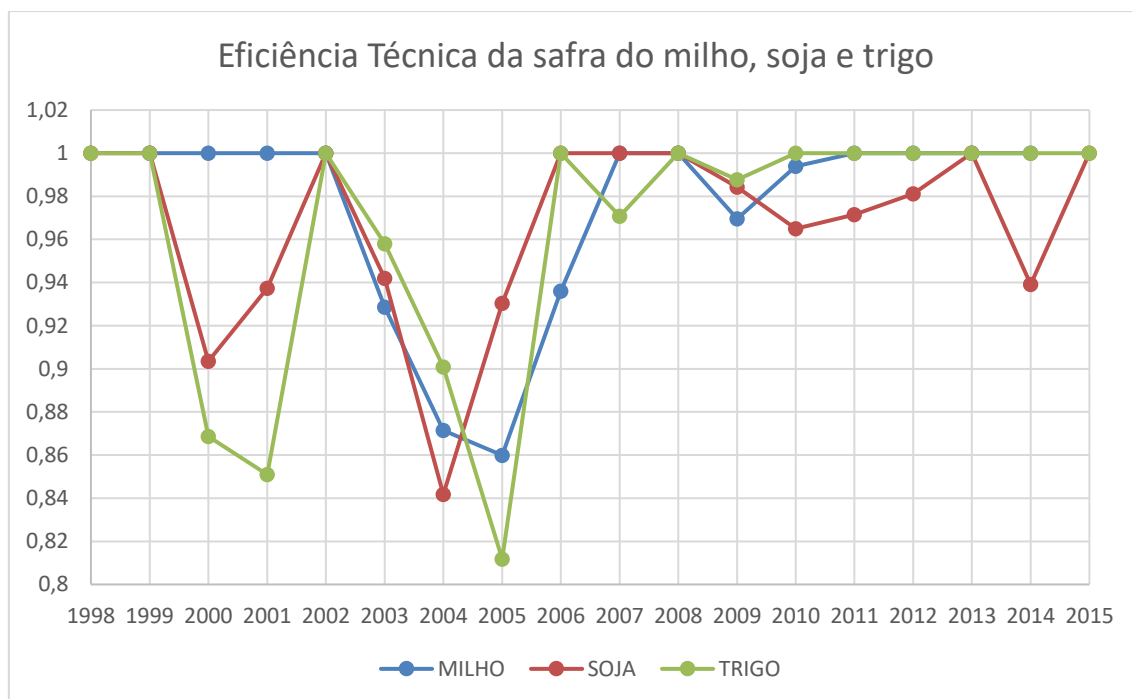
Gráfico 10 - Preço médio anual recebido pelos produtores agrícolas no Estado do Paraná - 1998 - 2015.



Fonte: Adaptado de DERAL (2016).

No Gráfico 10, nota-se que a queda do preço da saca das três culturas, coincide com uma queda na eficiência (Gráfico 11) das safras entre os anos de 2003 a 2005 e 2007 a 2010. Possivelmente explicada já que o produtor estava descapitalizado, com a queda do preço dos produtos em 2003, e sem dinheiro o produtor não consegue barganhar no momento da compra de herbicidas e fertilizantes, e também precisa de mais financiamento para a produção, consequentemente aumentando os custos e influenciando na queda de eficiência.

Gráfico 11 - Eficiência Padrão das Safra milho (1999 - 2014), soja e trigo (1998 - 2015).



Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados apresentados neste capítulo, remetem a interpretação de que 55,56% da safra da soja, 38,89% da safra do trigo e 37,5% da safra do milho dos anos pesquisados demonstraram problemas de eficiência nos custos de produção, por vezes são detentores de gargalos no processo produtivo que interferem nos resultados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade agrícola é considerada uma atividade econômica que contribui significativamente para a produção de parte da riqueza auferida no estado do Paraná. Desta forma, a investigação sobre a eficiência desta atividade sob a óptica dos custos de produção torna-se importante, a fim de se conhecer quais custos podem ser reduzidos, determinar os possíveis condicionantes da ineficiência e indicar os caminhos para o aumento da eficiência, por meio da apresentação de DMU's eficientes e ineficientes, observando as práticas que influenciam positivamente e negativamente na produção de cada *commoditie* para os anos em estudo.

Os produtores rurais buscam aumentar a eficiência da produção e para isso perseguem a maximização da mesma, atrelada a redução de custos dos recursos utilizados na atividade produtiva. A DEA é um rico transformador de dados, em informações que podem apoiar este tipo de tomada de decisão. Permite-se a compreensão das melhores técnicas que dispendem menos recursos financeiros, sendo uma vantagem quando se trata de *commodities*, possibilitando-se aumento dos níveis de lucro, reduzindo os custos, já que o preço de venda destas *commodities* é padronizado.

O método DEA se mostrou satisfatório na análise de custos, pois foi possível identificar a fronteira de eficiência das variáveis analisadas e também as DMUs ineficientes. Foi viabilizada a construção do *ranking* de acordo com a fronteira composta normalizada das *commodities* milho, soja e trigo e através da análise desse *ranking* classificou-se-as em níveis de eficiência. Com base na fronteira de eficiência normalizada, o ano mais eficiente para a cultura do milho foi 2007, e para as culturas da soja e trigo, 2008.

Nas três *commodities* investigadas, o milho foi a que apresentou a maior quantidade de anos sob a fronteira de eficientes, 62,5%, seguido do trigo com 61,11% e soja com 44,44%. A máxima eficiência técnica implica que não existe outro ano mais eficiente produzindo o mesmo nível de *output*, usando a mesma combinação de *inputs*. Portanto, as *commodities* soja, trigo e milho apresentaram ineficiências de 55,56%, 38,89% e 37,5%, respectivamente, ou seja, os resultados revelaram desperdício no uso dos fatores em mais de um terço do período estudado para as três culturas. Uma maior renda poderia ser gerada por essas atividades agrícolas no Estado do Paraná com o uso adequado dos recursos e redução nos custos da produção.

É possível inferir ao menos quatro possíveis explicações para o alto nível de ineficiência, à saber: 1) Influência direta da taxa de câmbio no preço dos herbicidas, fertilizantes

e sementes (*input* insumos); 2) Déficit na capacidade estática dos armazéns no Estado do Paraná; 3) Relação existente entre a variável "Despesa Financeira" e a taxa SELIC; 4) Queda do preço da saca das três *commodities* que coincide com uma queda na eficiência das safras.

Concluiu-se que os resultados obtidos das principais *commodities* agrícolas do Estado do Paraná, sobretudo a apresentação de uma possível relação existente entre as variáveis *inputs* e as quatro possíveis explicações para esse alto nível de ineficiência adotadas, contribuíram para um melhor entendimento da questão central do estudo.

Diante do exposto, faz-se necessária a sugestão de um estudo posterior, relacionado aos aspectos regionais e municipais que contribuem para elevados índices de (in)eficiência. Sugere-se também que o presente trabalho seja ampliado por estudos que apresentem a atualização dos dados das *commodities* milho, soja e trigo e a inclusão de outras variáveis de custos explicativas e passíveis de serem incluídas e alterarem a escolha dos *inputs-outputs*, de acordo com a conveniência e objetivo definido, além de utilizar Modelos DEA avançados que possibilitem uma melhoria dos resultados obtidos, seja na redução dos pesos zero, seja na possibilidade de seleção de alvos a alcançar.

6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, G. F. ; AGUIAR, B. C. X. ; WILHELM, V. E. Obtenção de índices de eficiência para a metodologia Data Envelopment Analysis utilizando a planilha eletrônica excel. **Da Vinci**, Curitiba, v. 3, p. 157-169, 2006. Disponível em: <<http://www.up.edu.br/davinci/index2.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

ANDRADE, G. N.; SANT'ANNA, A. P. Análise da evolução da eficiência de empresas de transmissão de energia elétrica. **Relatórios de pesquisa em engenharia de produção**, Rio de Janeiro, v.11, n. 2, p. 1-26, 2011. Disponível em: <<http://www.producao.uff.br/index.php/2011>>. Acesso em: 15 maio 2015.

ANGULO MEZA, L. et al. SYDS– Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v.25, n.3, p 493-503. 2005

BACEN - Banco Central do Brasil. **Taxas de Câmbio**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?id=txcotacao>>. Acesso em: 10 ago 2016.

BACEN - Banco Central do Brasil. **Histórico das taxas de juros**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>>. Acesso em: 10 ago 2016.

BATALHA, M. O.; SOUZA FILHO, H. M; BUAINAIM, A. M. Tecnologia de gestão e agricultura familiar. In: Hildo Meirelles de Souza Filho; Mário Otávio Batalha. (Org.). Gestão integrada da agricultura familiar. 1ed.São Carlos: EDUFSCAR, 2005, v. 1, p. 13-43.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/01443570210414338>>. Acesso em: 15 maio 2015.

BOWLIN, W. F. Measuring Performance: an introduction to data envelopment analysis (DEA). **Journal of Accounting and Public Policy**, Local, v. 15, n. 2, p. 3-27, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/08823871.1998.10462318>>. Acesso em: 15 maio 2015.

BRAGATO, I. R. et al. Produção de açúcar e álcool vs. responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 89-100, jan./apr. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2008000100009>>. Acesso em: 15 maio 2015.

BRUNETTA, M. R.. **Avaliação da eficiência técnica e de produtividade usando análise por envoltória de dados: um estudo de caso aplicado a produtores de leite**. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos) – Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CHARNES, A., COOPER, W.W., LEWIN, A.Y., SEIFORD, L.M. **Data envelopment analysis: theory, methodology, and application**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994. 513p.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978. Disponível em: <[dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)>. Acesso em: 15 maio 2015.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre: ArtMed, 2003. v. 1. 255p.

COELLI, T. J. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. **Working Paper**. nº 8, 1996. Disponível em: <<http://www.owl.net.rice.edu/~econ380/DEAP.PDF>>. Acesso em: 15 maio 2015.

COHEN, E; FRANCO, R. **Avaliação de projetos sociais**. Petrópolis: Vozes, 2008. p. 279.

CONAB – COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores da agropecuária**. Brasília, maio 2015. p. 01-96. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_09_15_39_58_revista_maio_2015_-_versao_finalizada_internet.pdf>. Acesso em: 15 maio 2015

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software**. New York: Springer Science, 2007. 492p.

COOPER, W.W; SEIFORD, L.M.; ZHU, J. **Handbook on data envelopment analysis**. 2. ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2011. 608p.

CORRÊA DA COSTA, G. R.; SOARES, J. B. A Eficiência da Agricultura do Paraná. In: CONGRESSO DA SOBER, 45., 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: SOBER, UEL, 2007. p 15. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/6/390.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

DERAL - SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Preços**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=195>>. Acesso em: 01 ago 2016.

EMROUZNEJAD, A.; THANASSOULIS E. A mathematical model for dynamic efficiency using data envelopment analysis. **Applied mathematics and computation**. **Applied mathematics and computation**, Local, v. 160, n. 2, p. 363-378, jan. 2005. Disponível em: <dx.doi.org/10.1016/j.amc.2003.09.026>. Acesso em: 15 maio 2015.

FERREIRA, C. M. C. ; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2009. v. 1. 389p.

FERREIRA, M. A. M.; GONÇALVES, R. M. L.; BRAGA, M. J. Investigação do desempenho das cooperativas de créditos de Minas Gerais por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). **Revista de Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. n. 3, p, 425-445, 2007.

GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Eficiência técnica dos agricultores de Holambra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2004. p. 85. Disponível em: < <http://www.sober.org.br/palestra/12/02O105.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

HACKBARTH NETO, A. A.; STEIN, C. E. Uma Abordagem dos Testes Não-Paramétricos com Utilização do Excel. In: SEMANA DA MATEMÁTICA, 17., 2003, Blumenau. **Anais...** Blumenau, 2003. Disponível em: <http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2282/material/textos/artigo_11_09_2003.pdf>. Acesso em: 15 maio 2015.

HOFMANN, R.; PELAEZ, V. A racionalidade na teoria econômica: entre individualismo metodológico e estruturalismo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA - ANPEC, 36., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2008/artigos/200807020859020-.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Plano de Manejo. Curitiba, abr. 2003. p. 403. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Plano_de_Manejo/Parque_Estadual_Campinhos/Plano_Manejo.pdf>. Acesso em: 15 maio 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Produção Agrícola Municipal** (PAM/2014). Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: < <http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=766>>. Acesso em: 04 ago 2016.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Base de dados do Estado**. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/imp/index.php>>. Acesso em: 15 maio 2015.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Análise Conjuntural**. v.38 n.5-6 maio/junho 2016 (versão completa). Disponível em: < http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/bol_38_3_e.pdf>. Acesso em: 15 ago 2016.

JUBRAN, A. J. **Modelo de análise de eficiência na administração pública: estudo aplicado às prefeituras brasileiras usando a análise envoltória de dados**. 2006. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KASSAI, S. **Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 2002. 350 f. Tese (Doutorado em Contabilidade e Controladoria) – Departamento de Contabilidade e Atuária da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LOVELL, C. A. K. Production frontiers and productive efficiency. In: HAROLD O. F.; LOVELL, C. A. K.; SCHIMDT, S. S. (Org.). **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. New York: Oxford University Press, 1993. Cap 1.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>>. Acesso em: 15 maio 2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. cap. 4, p. 83-13.

MARIANO, E. B. **Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva**. 2008. 301 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MARTINS, G. A.; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009. Xx p.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Campus, 2012. v. 1. 317 p.

MDIC - SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR (SECEX) DO MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Base de dados do Estado**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/busca?searchword=soja&ordering=newest&searchphrase=all&limit=50>>. Acesso em: 15 maio 2015.

MONDARDO, M. L. A dinâmica migratória do Paraná: o caso da região Sudoeste ao longo do século XX. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 103-131, 2011. Disponível em: <<http://www.rebep.org.br/index.php/revista/article/view/87>>. Acesso em: 15 maio 2015.

NAVARRO-SWAIN, T. Fronteiras do Paraná: da migração à colonização. In: AUBERTIN, C. (Org.). **FRONTEIRAS**. Brasília: EdunB/ ORSTOM, 1988, v. 1, Cap 1, p. 19-37.

OLIVEIRA, R. A.; CAIXETA FILHO, J. V. Análise da maximização do lucro e minimização do custo no processo de conversão do café convencional para o orgânico: um estudo de caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 51, n. 3, p. 535-554, jul./set. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032013000300007>>. Acesso em: 15 maio 2015.

PELINSKI, A.; SILVA, D. R.; SHIKIDA, P. F. A. A dinâmica de uma pequena propriedade dentro de uma análise de filière. **Organizações Rurais e Agroindustriais** (UFLA), Lavras, v. 7, n.3, p. 271-281, 2005. Disponível em: <<http://revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/186>>. Acesso em: 15 maio 2015.

PIACENTI, C. A. Indicadores de Modernização Tecnológica. In: PIACENTI, C. A.; FERRERA DE LIMA, J. (Org.). **Análise Regional: Metodologias e indicadores**. Curitiba: Camões, 2012. v. 01, p. 25-131.

PIMENTEL, J. C. S. **Eficiência Tributária: um estudo do desempenho das regiões fiscais da Receita Federal do Brasil na arrecadação de imposto de renda entre 1995 e 2006**. 2009. 226 f. Dissertação (Mestrado em Administração das Organizações) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

POSSAS, M. S. Notas acerca da racionalidade econômica. **Economia e Sociedade**, Campinas, n.5, p. 181-87, dez. 1995. Disponível em: <<http://www3.eco.unicamp.br/publicacoes>>. Acesso em: 15 maio 2015.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ROBERTS, D. B.; GOMES, A. P. Eficiência da pequena produção de leite no Estado de Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2004. p. 85. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/12/07O070.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômicoecológica. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74 p. 65-92, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>>. Acesso em: 15 maio 2015.

SALGADO JUNIOR, A. P. ; CARLUCCI, F. V. ; NOVI, J. C. Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) na avaliação da eficiência operacional relativa entre usinas de cana-de-açúcar no território brasileiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 826-843, set/out. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000500003>>. Acesso em: 15 maio 2015

SCHWADE , A. C. **Análise da eficiência da agropecuária do estado do rio grande do sul 1995/96 e 2006**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. Curso de Análise de Envoltória de Dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., Gramado. **Anais...** Gramado, 2005. p. 2520-2547.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L.C.T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.45, n.2, p.39-51, 1998. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/rea.html>>. Acesso 15 em: maio 2015.