



Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da
Informação e Documentação - FACE..

Departamento de Economia

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA TÉCNICA PELO MÉTODO DEA NA
AGRICULTURA DO DISTRITO FEDERAL**

Pedro Dias Scher

Orientador: Moisés de Andrade Resende Filho

Brasília, Fevereiro, 2015.



Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da
Informação e Documentação - FACE.

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA TÉCNICA PELO MÉTODO DEA NA AGRICULTURA DO DISTRITO FEDERAL

Pedro Dias Scher

Orientador: Moisés de Andrade Resende Filho

Monografia de conclusão de curso de
Bacharel em Ciências Econômicas.
Universidade de Brasília – UnB

Brasília, Fevereiro, 2015

Scher, Pedro Dias

Análise de eficiência técnica pelo método DEA na agricultura do Distrito Federal / Pedro Dias Scher. Brasília – Brasília, 2014, 36 pág. i1

Monografia (bacharelado) – Universidade de Brasília, Departamento de Economia, 2014

Orientador: Moisés de Andrade Resende Filho, Departamento de Economia

1. Eficiência agrícola 2. Agricultura familiar 3. DEA na agricultura 4. Agricultura no DF

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA TÉCNICA PELO MÉTODO DEA NA
AGRICULTURA DO DISTRITO FEDERAL**

Pedro Dias Scher

Banca Examinadora

.....

Orientador: Moisés de Andrade Resende Filho

.....

Professor: Rafael Terra de Menezes

Brasília, Fevereiro de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e da inteligência, que me movem a cada batida do coração a querer conhecer mais a Ele e a toda a sua criação.

Agradeço com especial emoção à minha família – meu pai Nelmo, minha mãe Maria do Carmo e minha irmã Juliana - que me ensinaram o significado da palavra amor. Sem o apoio, a compreensão e o incentivo deles nada teria sido possível e cada um é fundamental na minha vida! Gostaria também de agradecer aos meus avós Maurício e Arlete que sempre estiveram presentes realçando a alegria da vida e me ensinando a ter juventude de alma.

Gostaria de agradecer alguns mentores que passaram pela minha vida, com os quais aprendi muito e tiveram papel destacado na minha formação profissional. Meus superiores do Banco Central, em especial o Dr. Fabiano Coelho, que me ensinaram a excelência profissional. Os meus grandes amigos do Centro de Atividades Culturais - CEAC – que me ensinaram o valor formação pessoal, da laboriosidade e do espírito de serviço e acompanharam de perto o meu caminho.

Não poderia deixar de me lembrar aqui dos 38 produtores do Núcleo Rural Buriti Vermelho que nos deram uma acolhida calorosa e foram extremamente generosos com a nossa equipe de coleta. Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro.

Por fim, agradeço muito o apoio diligente e sempre disponível do meu orientador Moisés de Andrade Resende Filho. Seu profissionalismo e espírito de serviço servirão como modelo na minha trajetória profissional.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	8
1. Introdução.....	11
2. O método DEA.....	13
2.1. - Aplicações	19
2.2. - Pontos fortes	21
2.3. - Fragilidades	22
3. Modelagem e Resultados	25
3.1. Dados	25
3.2. Estruturação do problema	29
4. Resultados	32
5. Conclusão.....	35
6. Referências Bibliográficas	36
7. Apêndice A – Resultados do modelo	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação entre as medidas de eficiência técnica orientada a input e orientada a output.	14
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Seções do Questionário Socio-agroeconômico.....	27
Tabela 2 - Inputs e Outputs	30
Tabela 3: estatística descritiva.....	32

Resumo

Esta monografia compara a eficiência técnica de 23 pequenos produtores agrícolas do Núcleo Rural Buriti Vermelho, DF. Os dados foram obtidos por levantamento de campo. A eficiência foi medida com modelos de Análise Envoltória de Dados, considerando-se retornos variáveis à escala - o método DEA-BCC. As variáveis *inputs* escolhidas são Trabalho (R\$), Capital (R\$) e Terra (há) e o *outputs* foi Valor da Produção (R\$). Obteve-se como resultado os escores de eficiência cuja análise indicou as melhores práticas de cultivo, com destaque para escolha de culturas com maior risco produtivo e de uso intensivo de trabalho e capital.

Palavras-Chave: Eficiência agrícola, Agricultura familiar, DEA na agricultura, Agricultura no DF

Abstract

This paper compares the technical efficiency of 23 small farmers Rural Center Buriti Red, DF. The data were obtained by field survey. The efficiency was measured with data envelopment analysis models, considering variable returns to scale - the DEA-BCC method. The chosen input variables are Labor (R\$), Capital (R \$) and Land (ha) and the output was the Production Value (R\$). Was obtained as a result the efficiency scores whose analysis indicated the best farming practices, especially choice of crops more productive and risk-intensive labor and capital.

Keywords: Agricultural economics, agricultural efficiency, DEA in agriculture, Agriculture in DF

1. Introdução

A agricultura tem sido, nos últimos 20 anos, um dos setores mais importantes da economia brasileira. Desde 2007 o agronegócio tem sido o principal responsável pelo saldo positivo na balança comercial com uma participação expressiva de mais de 40% nas exportações. Também é importante destacar o papel dinamizador do setor agrícola que vem puxando para cima o crescimento da economia nacional. Em concreto, o crescimento do produto interno bruto (PIB) agrícola foi de 3,9% ao ano (a.a.) contra 3,6% a.a. da economia no período 2000-2011 (BELIK, 2014).

A agricultura familiar possui dois papéis destacados: mitigação do êxodo rural como fonte estável geradora de renda gerando empregos no campo e produção de alimentos para consumo nacional. Neste sentido, Alves e Rocha (2009) comentam a necessidade de se pensar no papel da eficiência e na produtividade da agricultura familiar como meio de mitigar o êxodo rural: “[...] Melhorar a produção de cada estabelecimento tem que ser o foco de qualquer programa que busque uma solução agrícola para o problema do êxodo rural”.

Além de seu fundamental papel social na mitigação do êxodo rural e da desigualdade social entre o campo e as cidades, a agricultura familiar deve ser encarada como um forte elemento de geração de riqueza, não apenas para o setor agropecuário, mas para a própria economia do país. Guilhoto (2007) mostra, por meio de uma análise de insumo-produto, que o segmento familiar do agronegócio brasileiro respondeu por cerca de 10% do PIB brasileiro, para os anos compreendidos entre 1995 e 2005. Parcela bastante expressiva, considerando que a participação do agronegócio situa-se ao redor de 30% do PIB da economia brasileira segundo os mesmos autores. Na mesma publicação os autores descrevem a situação da agricultura familiar no Distrito Federal (DF) e sua participação no PIB nacional e regional. No DF, o agronegócio familiar é responsável pela formação de 6.7% do PIB agrícola, que por sua vez corresponde a 3.8% do PIB total. A aparente baixa participação do PIB agrícola no PIB total do DF, em comparação com a média nacional, se explica pela baixa disponibilidade de terras agricultáveis no DF.

Assim, é de relevância econômica o estudo da eficiência da agricultura familiar no DF para o estado das artes dessa literatura. Neste sentido realizou-se este estudo de caso com 23 produtores agrícolas para aferir suas eficiências técnicas e delinear as melhoras práticas econômicas que geraram os melhores escores de eficiência, com dados do ano 2013. Utilizou-se o modelo de programação linear de análise por envelopamento de dados, do inglês Data Envelopment Analysis (DEA). Este método se tornou padrão em análise de eficiência em economia agrícola e as variáveis empregadas para a análise são amplamente utilizadas em estudos semelhantes (GOMES, 2008) e são elas: capital, trabalho e terra como insumos ou *inputs* e Renda líquida como produto ou *output* único.

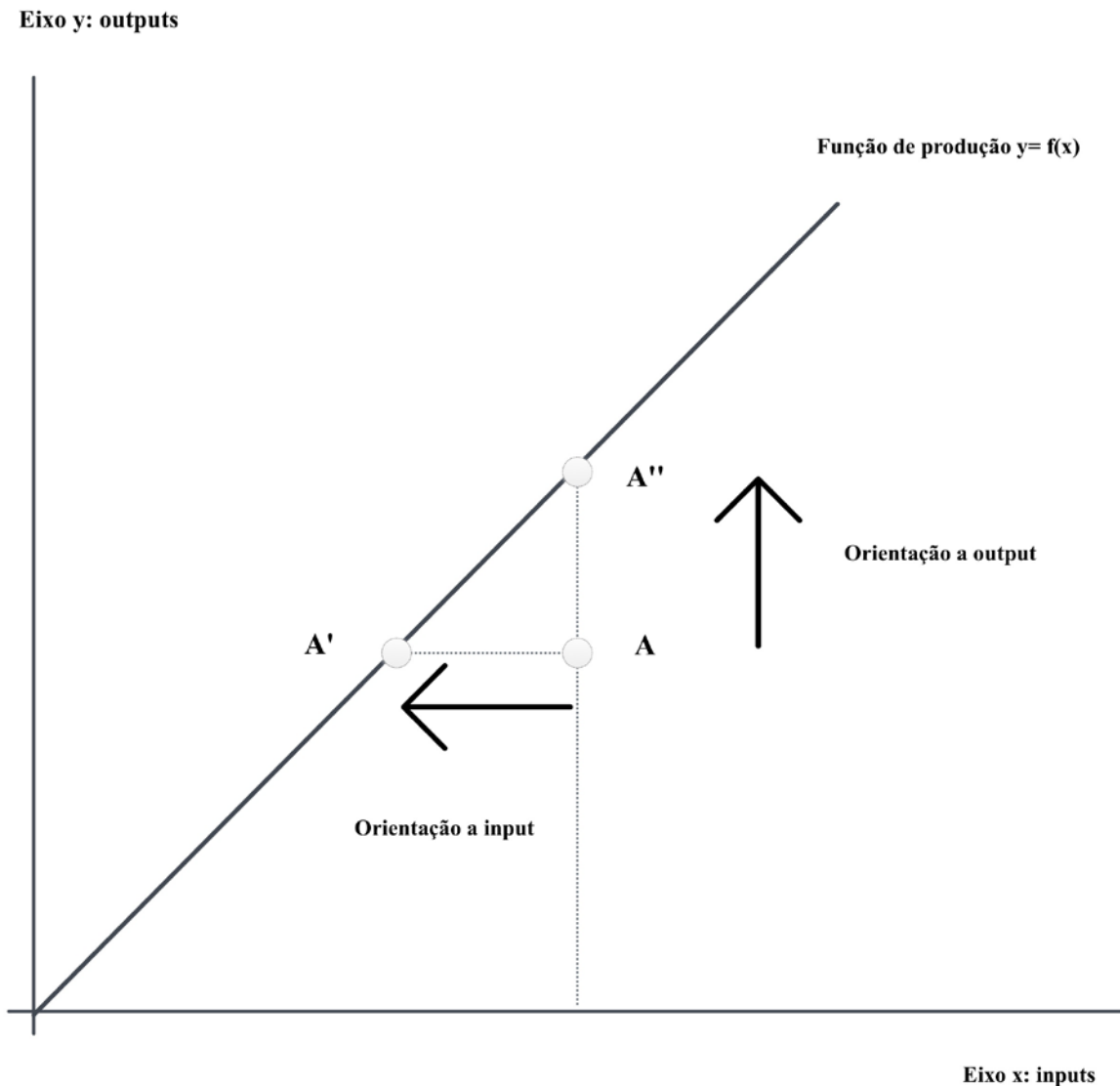
Este estudo monográfico está estruturado como segue. O capítulo 2 de metodologia descreve o método DEA. O capítulo 3 descreve o processo de obtenção dos dados e construção das variáveis. O capítulo 4 apresenta e analisa os resultados obtidos. O capítulo 5 conclui o estudo e traz algumas recomendações.

2. O método DEA

O estudo da produtividade e eficiência na agricultura, bem como em outros setores produtivos, pode suscitar a seguinte pergunta: é adequado o uso de toneladas de grãos por hectare como medida de eficiência de um produtor rural? Ou, existe erro em usar a quantidade de carros produzidos por ano por uma fábrica automobilística como medida de eficiência fabril? Medidas desse tipo apresentam a deficiência de não considerarem os recursos utilizados na produção na medida de eficiência, como mão de obra, maquinarias, combustível, fertilizantes, etc. (GOMES et al., 2003a). Além disso, encerram um erro conceitual ao não diferenciarem produtividade e eficiência, já que uma medida apresentada como razão de duas quantidades é uma medida de produtividade, enquanto a eficiência é adimensional (COELLI et al., 1998 apud GOMES, 2005). O uso desse tipo de medida na formulação de políticas pode resultar não só no uso excessivo dos recursos não incluídos na medida de eficiência, mas também na imposição de metas irreais, daí a importância de aperfeiçoar o estudo de eficiência e dos métodos de acessá-la. Neste trabalho consideraremos o método DEA para tal fim.

DEA é uma metodologia de análise de eficiência que usa programação não linear para determinar uma fronteira de produção, linear por partes. O objetivo primário de DEA consiste em comparar um certo número de unidades tomadoras de decisão (DMU's - *Decision Make Units*) que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de *inputs* que consomem e de *outputs* que produzem.

Figura 1: Comparação entre as medidas de eficiência técnica orientada a input e orientada a output. As setas indicam o deslocamento para atingir o gráfico da função de produção, e consequentemente a orientação

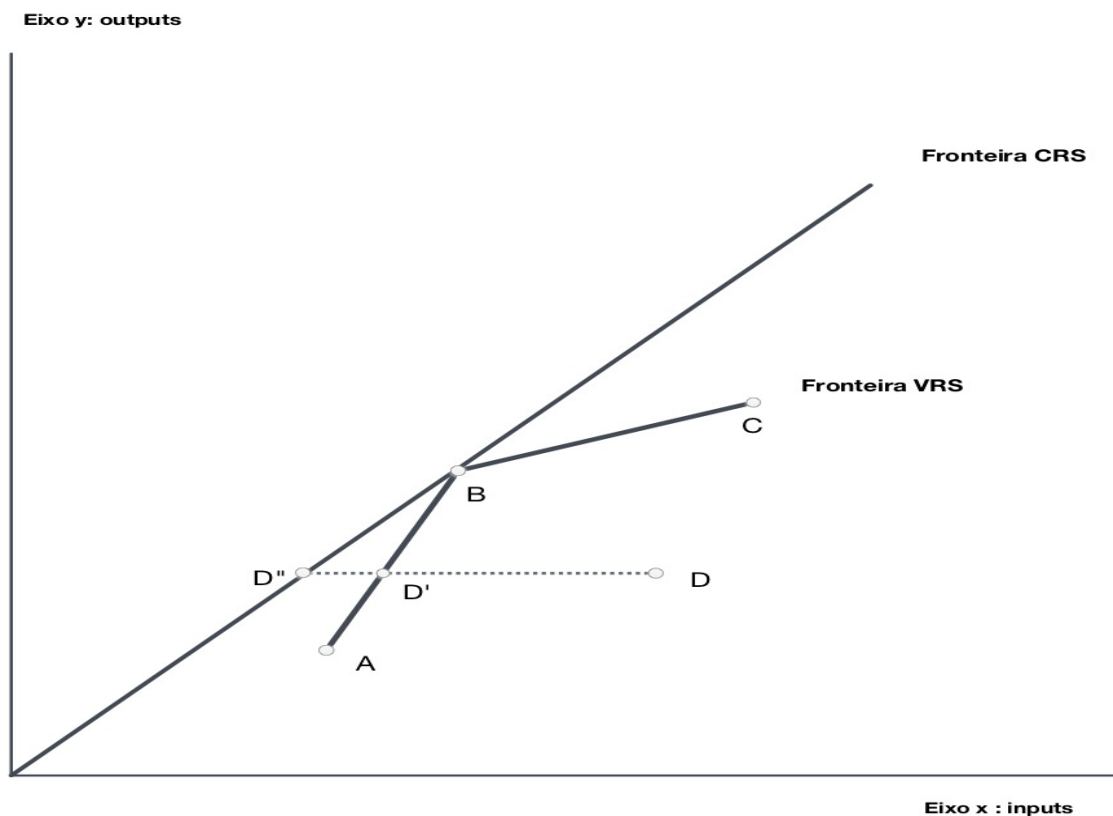


Em modelagem por DEA são necessárias três etapas para a implementação do problema: definição e seleção das DMU's; seleção das variáveis (*inputs* e *outputs*); escolha e aplicação do modelo (orientação; tipo de retornos de escala; modelos avançados).

A abordagem orientada a inputs determina que o aumento da eficiência técnica da unidade produtiva A seja determinado por diminuição de inputs para uma produção constante (direção AA'). Já a abordagem orientada à outputs determina que o aumento da eficiência técnica seja determinado pelo aumento de outputs com inputs constantes (direção A"), como no Figura 1.

O tipo de retorno de escala escolhido é central para o resultado da análise gerada pelo método DEA. Uma representação gráfica que ajuda a entender o cálculo da eficiência (ou ineficiência) considerando o retorno de escala está ilustrado na figura 2. No exemplo, consideram-se unidades produtivas sujeitas a um input e um output apenas. A figura mostra a fronteira estimada de eficiência por retornos constantes de escala (CRS – *constant returns of scale*), e a fronteira de produção estimada por retornos variáveis de escala (VRS – *variable returns of scale*). Para modelo CRS com orientação a inputs, a ineficiência técnica da unidade produtiva A pode ser estimada pelo segmento DD". Se considerarmos o modelo VRS, a ineficiência técnica é DD'. A diferença entre estas duas medidas é denominada ineficiência de escala.

Figura 2: Demonstração gráfica do cálculo de eficiência de escala para os dois tipos de retorno de escala assumidos pelo modelo



Há duas formulações (duais) equivalentes para DEA. De forma simplificada, pode-se dizer que uma das formulações (modelo do Envelope) define uma região viável de produção e trabalha com uma projeção de cada DMU na fronteira dessa região. O presente trabalho utilizar-se-á dessa formulação. A formulação alternativa (modelo dos Multiplicadores) trabalha com a razão de somas ponderadas de produtos e recursos, com a ponderação escolhida de forma mais favorável a cada DMU, respeitando-se determinadas condições.

Os dois modelos DEA clássicos são o de Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) e o BCC (Banker, Charnes e Cooper). O modelo CCR (Charnes et al., 1978) supõe retornos constantes de escala, ou seja, acréscimos nos recursos produzirão acréscimos proporcionais nos produtos. O modelo BCC (Banker et al., 1984) considera situações de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre inputs e outputs. Nesse modelo, o axioma da proporcionalidade é substituído pelo axioma da convexidade (GOMES, 2005), como na Figura 2. De forma não matemática, no modelo BCC uma DMU é eficiente se, na

escala em que opera, é a que melhor aproveita os recursos de que dispõe (relação outputs/inputs).

Diversos aperfeiçoamentos e desenvolvimentos teóricos aos modelos DEA clássicos vêm sendo realizados ao longo dos anos. Conforme destacado por Charnes et al. (1994), os novos desenvolvimentos em DEA surgem para contornar problemas que surgem na aplicação do método.

O modelo DEA a ser usado é o BCC, já que as unidades em avaliação apresentam diferenças de escala significativas. Apresenta-se o modelo DEA BCC dos Multiplicadores e do Envelope, com orientação a inputs, já que se deseja verificar se a produção atual justifica a quantidade de recursos empregados. A exposição matemática do modelo que segue, pode ser encontrada no artigo de Gomes (2005). Considera-se que cada DMU k , $k = 1 \dots n$, é uma unidade de produção que utiliza m inputs x_{ik} , $i = 1, \dots, m$, para produzir s outputs y_{jk} , $j = 1, \dots, s$.

$$\min h_0$$

sujeito a

$$h_0 x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$\sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k - y_{j0} \geq 0, \forall j$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1, \quad \lambda_k \geq 0, \forall k$$

(1)

Ou alternativamente na formulação 2:

$$\max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} - u^*$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - u^* \leq 0, \forall k$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1, \quad \lambda_k \geq 0, \forall k$$

Em ambas as formulações h_0 é a eficiência da DMU_0 em análise; x_{i0} e y_{j0} são os inputs e outputs da DMU_0 . Em (1), v_i e u_j são os pesos calculados pelo modelo para inputs e outputs, respectivamente; u^* é a variável dual associada à condição da formulação (2) e é interpretado como fator de escala: quando positivo, indica retornos decrescentes de escala; quando negativo, indica retornos crescentes de escala; caso seja nulo, a situação é de retornos constantes de escala. Em (2), λ_k representa a contribuição da DMU_k na formação do alvo da DMU_k .

2.1. - Aplicações

O método DEA, comumente utilizado para acessar as eficiências de DMU's, tem aplicações nos mais variados campos da pesquisa acadêmica. A variedade de suas aplicações se dá por que é possível descrever uma enorme quantidade de comportamentos produtivos como combinação de inputs para formar outputs. Por exemplo, Chen e Soo (2010) avaliam a eficiência dos alunos nas universidades inglesas, utilizando DEA em um conjunto de dados que é capaz de capturar o comportamento de estudantes universitários que decidem como e quanto estudarão. O enfoque é para a diferença das universidades pós e pré o ano de 1992 e avalia-se produção de resultados de graduação e satisfação.

Lorenzetti et al. (2010) consideram a avaliação de desempenho de unidades produtivas para fins de planejamento é um importante aspecto da administração, e o método DEA tem sido gradativamente mais utilizado para estes fins. Os autores concluem que os resultados de eficiência são válidos como primeira referência para os gestores da instituição em estudo, indicando as unidades que merecem mais atenção e auxiliando o estabelecimento de metas sob a ótica da comparação com os métodos anteriormente adotados. A partir de uma base conceitual somada a dados de uma aplicação prática, analisam a viabilidade de utilizar o modelo DEA para avaliar o desempenho de unidades operacionais de uma empresa privada sem fins lucrativos, o SENAI - SC.

O foco do presente trabalho é eficiência na agricultura e por isso daremos mais atenção a essa literatura. Gomes *et al* (2005) faz uso de DEA - BCC para medir a eficiência agrícola de uma amostra de 71 agricultores do município de Holambra, Estado de São Paulo. Os dados utilizados são obtidos por levantamento de campo, via questionários agrosocioeconômicos. Propõem um modelo de eficiência - benchmark - para cada tipo de atividade agrícola analisada baseada no produtor mais eficiente do setor. Posteriormente traça um diagnóstico da ineficiência relativa dos outros produtores e propõem soluções para sanar esse perda de fatores produtivos. As entradas consideradas são Área Cultivada (representada pela área ocupada com cultivos acrescida da área de pasto), em hectares, Emprego (expresso por homem-hora-ano) e Máquinas (calculado como número total de horas de uso de máquinas no ano). A Renda Líquida anual da propriedade, em reais, é o único output. A divisão em 6 grupos de atividade também é uma técnica utilizada para

encontrar a causalidade dos resultados. A fins de detalhamento os autores utilizam DEA sucessivamente excluindo a cada nova rodada os produtores mais eficientes, assim criando 4 camadas de eficiência, nas quais se observa com precisão o comportamento produtivo e sociológico desse grupo de DMU's. Os autores também retiram da amostra os produtores que apresenta outputs negativos.

O artigo de Silva e Souza e Gomes (2013) pretende ser visto como uma ferramenta de apoio à decisão que pode, por exemplo, identificar os setores que necessitam de alocação de recursos para melhorar a eficiência. Os autores utilizam dados do censo agrícola do Brasil (1995/1996 e 2006) para a construção de uma fronteira de custo com base em métodos não-paramétricos - DEA. A abordagem para a especificação da fronteira segue Banker e Natarajan (2004), e é robusto relativo a especificações de função custo. O modelo de análise proposto, entre outras técnicas mais avançadas como quasi-máxima verossimilhança, usa o valor da produção agrícola total como a variável de saída e despesa agregada em terra, fertilizantes, mão de obra, máquinas e outros insumos como variável de entrada para o modelo DEA -BCC. Este artigo chama atenção por não usar dados primários mas sim fazer análise de eficiência estadual com dados de pesquisas de âmbito nacional, o que mostra a facilidade que o método DEA tem para os mais diversos tipos de inputs e outputs.

Salgado Junior et al. (2014) em seu estudo abordam a eficiência operacional de cana de açúcar e produção de etanol no Brasil na safra 2008/2009 usando a Análise Envoltória de Dados (DEA) técnica; estudo de caso é apresentado com o objetivo de alcançar uma compreensão profunda das variáveis que influenciam esse processo. Concluem que o investimento em tecnologias e equipamentos proporcionando ganho de eficiência na quantidade total de açúcar e etanol produzido é fundamental, a fim de maximizar a eficiência operacional, bem como para tirar o máximo proveito de fatores edafoclimáticos.

Gomes (2008) tem como objetivo contribuir para esta classe de estudos e fazer uma revisão da literatura, tão extensa quanto possível, no que se refere ao uso de DEA em agricultura. Para a maioria dos casos recolhidos nesse estudo, a avaliação é de agricultores/fazendas e de regiões geográficas, sendo pontual em pesquisa agropecuária. Os artigos foram descritos segundo:

- (1) tipo de tema ou produto.
- (2) localização geográfica do estudo de caso.
- (3) tipo e quantidade de DMU's.
- (4) ano dos dados.
- (5) tipo de artigo.
- (6) modelo DEA empregado.
- (7) modelos adicionais.
- (8) variáveis (inputs e outputs).
- (9) periódico.
- (10) ano de publicação.

Um resultado significativo colhido no estudo é a escolha dos pesquisadores de variáveis inputs e outputs que se distribuem das seguintes maneira:

Inputs; Herbicidas (0,9%); Juros (0,9%); Irrigação (2,7%); Tamanho do rebanho (2,7%); Ração (3,3%); Pesticidas (3,6%); Máquinas (6,3%); Capital (11,8%); Insumos variáveis (12,1%); Fertilizantes (13,6%); Área agrícola (16,9%); Mão-de-obra (25,1%). Este resultado mostra que as variáveis mais escolhidas como inputs são proxy das variáveis tradicionais de economia agrícola: Capital, Trabalho e Terra.

Outputs; Índices sintéticos (preços ou quantidade) (2,9%); Vendas (3,6%); Produtividade (7,2%); Valor da produção (7,2%); Renda/rendimento/retorno financeiro (16,7%); Produção (vegetal e/ou animal) (62,3%). Da mesma maneira que os inputs, a variável mais utilizada como output do modelo é uma proxy da economia agrícola tradicional: produto.

A autora ressalta que a pequena quantidade de artigos brasileiros publicados em revistas da área de Pesquisa Operacional pode ser explicada pela reduzida quantidade de artigos que fazem uso de modelos teóricos avançados ou que trazem alguma inovação teórica à modelagem DEA.

2.2. - Pontos fortes

O emprego de modelos DEA em agricultura pode apoiar as decisões dos agricultores, ao indicar as fontes de ineficiência e as unidades que podem servir de referência às práticas

adotadas, ou seja, na identificação de benchmarks, conforme apresentado, por exemplo, em Tupy e Yamaguchi (2002). Lorenzetti et al (2010) considera que uma característica positiva é a comparação direta de cada unidade produtiva com uma unidade -referência ou uma combinação de unidades-referência conhecidas, o que facilita o estabelecimento das metas, ou seja o estabelecimento de benchmarks. O mesmo autor vê como outra característica favorável é a de poder lidar com muitos inputs e muitos outputs sem a necessidade de uma função explícita de relacionamento entre eles . Esta vantagem se dá pelo fato da fronteira criada ser determinística e traçada a posteriori sem fazer nenhuma assunção sobre o comportamento das DMU's.

Outro ponto forte levantado pelos pesquisadores que utilizaram o método DEA em seus estudos é a não necessidade de um número elevado de observações e de DMU's para se alcançar resultados consistentes, ao contrário do que acontece com outros métodos de avaliação de eficiência como o Análise por Fronteira Estocástica (SFA - Stochastic Frontier Analysis) que tem uma natureza estocástica e estima uma medida de eficiência livre dos impactos dos fatores aleatórios não controláveis pelas DMUs. O estudo de Souza et al. (2010) sobre custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica conclui que independentemente do método a ser escolhido pelo regulador, é interessante utilizar as duas abordagens, pois uma complementa a outra e permite avaliar a robustez dos resultados.

2.3. - Fragilidades

O modelo DEA é bastante apropriado para cálculo de desempenho relativo, mas, para Lorenzetti et al. (2010), converge lentamente ao desempenho absoluto, ou seja, tem-se sempre uma determinada unidade comparada a uma referência ou conjunto de referências, mas não comparada a um desempenho absoluto (o que, porém, já ocorre para os métodos atuais). A complexidade do método e a possível dificuldade de aceitação decorrente, por parte dos gestores sem formação específica, que pode ser amortecida basicamente por treinamento gerencial , é uma limitação. Para Mugerá (2013) a análise empírica usando DEA tem usado cada vez mais dados individuais ou em nível da família derivados de respostas de questionários que não são perfeitamente confiáveis. O uso de pesquisa em

microdados tem levantado preocupações sobre erro de medição, já que algumas variáveis são difíceis de medir com precisão razoável. Por exemplo, os dados de entrada e saída são normalmente coletados pedindo aos entrevistados para lembrar os detalhes de eventos que ocorrem durante as estações agrícolas passadas anteriores à entrevista. Isso pode introduzir viés de memória (ou sob sobre relatórios) em dados da pesquisa. O domínio de incerteza na produção agrícola tem visto o florescer de estudos de produção sob risco na economia agrícola. Este autor também diz que a abordagem DEA convencional é muito sensível a erros de medição de dados e as alterações nos dados, incluindo outliers e dados em falta, o que pode mudar a fronteira de eficiência significativamente. O trabalho de Cazals et al. (2002) traz um método de retirada de uma amostra de observações outliers que distam uma quantidade limite de desvios padrões da média da amostra. Este método pode ajudar a suavizar o problema da sensibilidade de DEA a erros de medida. O modelo DEA não leva em conta o ruído estatístico.

Se em um modelo DEA houver imprecisão sobre os valores assumidos por um output ou input, haverá igualmente imprecisão sobre a exata localização da fronteira DEA eficiente. Gomes et al. (2006) dizem que caso os valores de output (input) para algumas DMUs, sejam maiores que o suposto, a fronteira estará deslocada “mais acima” (mais à direita), isto é, em uma região de valores superiores para esse output (input). Caso os valores sejam inferiores ao suposto, a fronteira estará “mais abaixo” (“mais à esquerda”).

A gravidade deste problema é de tamanha significância que para solucioná-lo, buscou-se introduzir um elemento de variação estocástica no próprio modo como o modelo plota os inputs e outputs para poder assim ter algum controle sobre o tamanho do erro não contabilizado para a abordagem DEA convencional.

O modelo Fuzzy DEA (FDEA) introduz aleatoriedade ao modelo DEA convencional ao tratar as DMU's não mais como um ponto determinado, mas como uma região de probabilidade. Esta nuvem de probabilidade varia com o nível de incerteza que o pesquisador aplica ou que ele supõe que haja nos dados a serem analisados pelo modelo. A difusão para cada variável é gerada como um número aleatório através de um gerador de números aleatórios em R ou no Stata, Mugerá (2013). Posteriormente o modelo gera não uma fronteira de eficiência mas uma região de eficiência definida por uma fronteira superior - também chamada de otimista - e outra inferior - também chamada de pessimista.

Segundo Mugerá (2013), a distância entre essas duas fronteiras depende do nível de dispersão imposta aos dados, que é decidido e acompanhado pelo pesquisador.

A principal vantagem do FDEA, segundo Mugerá (2013) é a capacidade de lidar com a imprecisão dos dados (informação incompleta). A abordagem Fuzzy DEA torna possível a conversão de dados enviesados ou pouco confiáveis em dados de intervalo que podem ser integrados na estrutura e analisados usando o modelo de programação linear DEA. A principal desvantagem desta abordagem é que ela exige que o pesquisador tenha conhecimento prévio e preciso das unidades que estão sendo analisadas e seu meio ambiente, a fim de detectar a imprecisão de dados e formular dados de intervalo usando a teoria dos conjuntos fuzzy.

3. Modelagem e Resultados

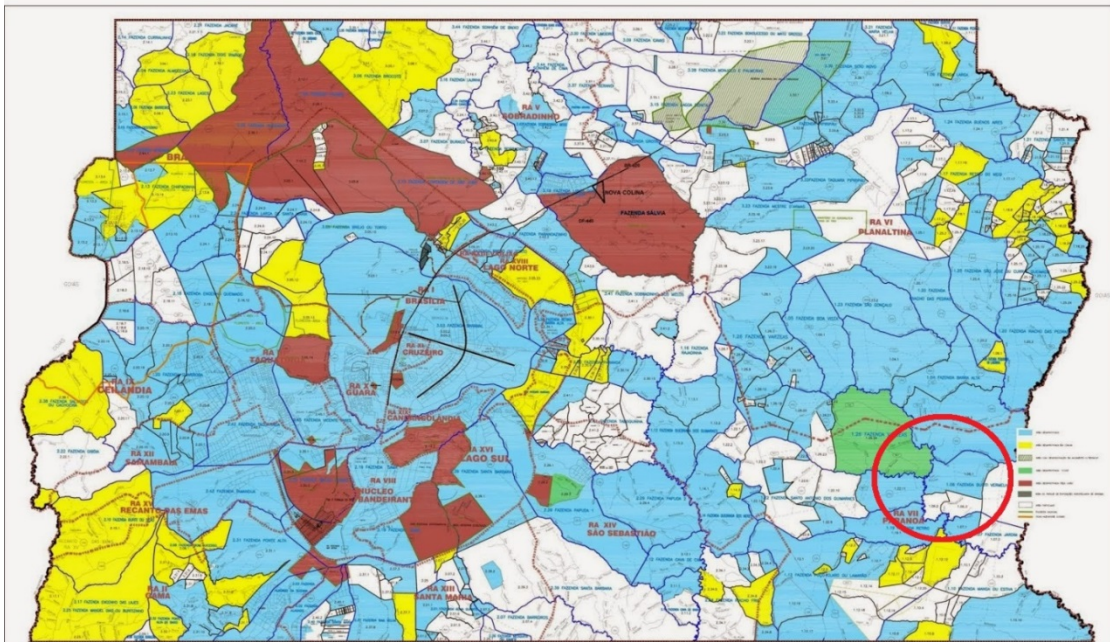
3.1. Dados

Realizou-se a aplicação de um extenso questionário sócio-agroeconômico a todos os produtores da região do Núcleo Rural Buriti Vermelho (NRBV) durante o ano de 2013. A região foi escolhida por ser um núcleo rural localizado no vale do Córrego Buriti Vermelho, o que por suas características geográficas levaram os produtores a se alocarem proximamente e em propriedades majoritariamente pequenas. Essa característica também motivou uma ampla cobertura da Empresa de assistência técnica e extensão rural (Emater - DF) e da Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa) na área, fato que contribuiu para o encaminhamento do projeto para aquela localidade.

Uma pesquisa feita por Souza (2010) retrata a comunidade que habita a Colônia Agrícola do Buriti Vermelho. Sua localização está próxima ao entroncamento da DF – 322 com a vicinal 421. A população rural é composta por aproximadamente 100 famílias em um total de 350 habitantes.

A imagem abaixo localiza o NRBV geograficamente no Distrito Federal:

Figura 4: localização geográfica do NRBV no DF. A área circulado de vermelho demarca sua localização



A equipe de campo era constituída por um monitor formado e seis alunos de graduação, dos quais 4 eram alunos de iniciação científica (IC) do Departamento de Economia da UnB e os outros agentes de campo eram alunos contratados de outros departamentos, como Agronomia e Agronegócio. A estrutura do Núcleo de coleta de campo, com um núcleo fixo – alunos de IC - e outro variável – alunos contratados -, foi muito acertada pois gerou os incentivos corretos tanto para os pesquisadores quanto para os produtores conseguirem trabalhar na coleta com precisão e eficiência.

A aplicação se deu em duas fazes: Uma rodada de coleta de dados referentes ao período chuvoso e outra ao período seco. O tempo médio de coleta de dados para cada produtor foi de aproximadamente 4,5 horas. Visando a manutenção da veracidade dos dados cada turno da coleta era realizado na casa de cada produtor e preferencialmente em duas ou mais parcelas. Como incentivo à participação foram sorteados no final dos trabalhos alguns instrumentos agrícolas e foram empregadas técnicas personalizadas de auxílio à memória para cada produtor.

O conteúdo do questionário buscou auferir os aspectos produtivos, tecnológicos, administrativos, sociais e demográficos da população. A construção do questionário foi estruturada de acordo com o processo produtivo agrícola de modo que houvesse uma estrutura lógica nas perguntas que facilitassem a memorização do entrevistado. A sequência de temas foi determinada como segue:

Tabela 1: Seções do Questionário Socio-agroeconômico

SEÇÃO	FUNÇÃO
1	Anotações
2.	Cabeçalho
3.	Arrendamento – Meeiro
4.	Mão de Obra
5.	Irrigação Geral
6.	Calendário
7.	Receitas
8.	Insumos
9.	Pecuária
10.	Lucro

As seções 1 e 2 tratam dos aspectos sociais e demográficos da população, como nível de escolaridade, presença de telefones e televisores nas casas, quantidade de dependentes e filhos habitando o domicílio. Área total da propriedade. Também foi coletada a proximidade do lote em relação ao riacho Buriti Vermelho, via endereço, de modo que se possa em um trabalho futuro checar o impacto da disponibilidade da água na produção e o preço sombra da água para cada produtor.

As seções 3, 4 e 5 do questionário buscam precisar quais práticas sociais de produção são empregadas pela comunidade. Uma característica dessas seções é o alto nível de

desagregação dos dados, caracterizando uma etapa prévia dos trabalhos. Isto é, se há presença de aluguel de terras – arrendamento -, cultivo conjunto de uma ou mais culturas – meeiro. Utilização de mão de obra familiar e assalariada, qual é o salário dos contratados, quantidade de empregados na propriedade. Verifica-se também a posse de maquinário agrícola pesado e a estimativa de preço da hora de aluguel desse maquinário. Também, em termos gerais, caracteriza-se o tipo de tecnologia irrigadora empregada. Aqui entra método de armazenamento da água, distribuição – aspersão, gotejamento, gravidade – tipo de bombas d'água e preço da energia elétrica.

A seção 6 de calendário capta os tipos de culturas produzidas, sua permanência no solo. Também a área plantada por cultura e a fração da área total foi captada nesta etapa da pesquisa. Algumas vezes deparou-se com certa dificuldade de lembrança das áreas plantadas de cada cultivo por parte dos produtores. Assim, para se determinar com precisão esta variável, a equipe de campo realizava estimativas calcadas na observação e no posterior cálculo de área.

As receitas advindas da comercialização da produção foram coletadas na seção 7. A receita se encontrava *a posteriori* pela soma das receitas de cada rodada de venda da produção. Os dados de interesse dessa seção foram colhidos dualmente: preços e quantidades de cada feira. Assim, puderam-se gerar ao final do período de coleta os índices receita e quantidade produzida. Como os produtores são tomadores de preço na feira, sua única escolha é sobre a quantidade colhida por feira, o que gerava nos produtores uma atitude racional de estimação de preços com base nas quantidades produzidas em feiras anteriores.

A seção 8 é a mais importante, pois traz a contabilidade de todo o processo produtivo detalhado ao máximo e individualizado por cultura. A ideia foi descrever com o máximo nível de desagregação cada escolha do produtor, de modo que sua eficiência técnica ficasse destacada na escolha de cada input, indo desde o plantio até a colheita, para cada cultura. Assim para as etapas de preparo do solo, formação de mudas, plantio, tratamentos culturais e colheita foi-se assinalado em nível de detalhe os respectivos gastos com utilização de insumos agrícolas, tempo de trabalho em horas*homem e despesa com maquinário agrícola pesado.

A seção 9 de pecuária auferiu alguma renda advinda do uso da terra via pecuária, prática minoritária entre os habitantes do NRBV. Foram encontrados três tipos de práticas pecuárias: suinocultura, avicultura e criação de gado leiteiro para comércio interno da comunidade. Finalmente a seção 10 fez o fechamento da contabilidade da propriedade verificando a existência de lucro definido como:

$$\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Despesa}$$

Houve problemas na obtenção de informações sobre o lucro das propriedades que impediram neste trabalho o uso de renda líquida como variável de *output* para mensurar a eficiência das DMU's. São eles:

- 1) O atraso entre a realização do lucro por parte do produtor e o período em que a equipe de campo realizou a coleta de dados gerava incerteza sobre o preço de venda de cada quantidade, já que a colheita é para uma feira específica e os preços variam de maneira muito importante para o cálculo da receita.
- 2) Uma quantidade não irrelevante de produtores pareceram ter prejuízo ou lucro contábil igual a zero em várias de suas culturas por causas de pragas ou preços excessivamente baixos que não cobriam os custos operacionais de modo que a variável lucro ficaria comprometida.
- 3) Alguns produtores ficavam relutantes de confirmar e dar informações precisas sobre esta seção por considerarem o lucro algo de restrito apenas ao âmbito familiar, coisa que não se verificou com gasto com insumos nem com as quantidades produzidas.

3.2. Estruturação do problema

Gomes (2004), indica que o pesquisador deve atentar para o critério de seleção de *inputs* e *outputs* de modo que a quantidade de DMU's seja pelo menos três vezes maior que a quantidade de variáveis analisadas. Esta recomendação empírica é aceita para que não haja, da parte do modelo, um tratamento excessivamente benevolente com as DMU's 100% eficientes.

A compilação dos questionários gerou uma planilha única que condensou toda a informação a partir da coleta de campo em índices de que foram utilizados neste trabalho. Esta compilação foi dividida em dois grandes grupos: inputs e outputs. A compilação dos inputs foi tal que construiu as variáveis como abaixo:

Tabela 2 - Inputs e Outputs

Input	Output
Capital (R\$)	Valor da Produção (R\$)
Trabalho (R\$)	
Terra (ha)	

Capital é a soma de três fatores: Gasto com insumos agrícolas totais, gasto com maquinários agrícolas e gastos totais com manutenção do sistema de irrigação para cada produtor. Os gastos com maquinários agrícolas foram obtidos pela multiplicação do tempo de aluguel de maquinário pelo preço médio de aluguel: R\$ 80,00 por hora. Este índice foi construído de modo que todo recurso financeiro investido pelo produtor, insumos, maquinário e gasto com depreciação, fosse levado em conta.

Trabalho é o produto da soma das horas-homem dedicadas para cada cultura pelo salário médio por hora trabalhada.

A variável Terra foi construída de modo que pudesse captar a intensidade de seu uso. Isso se deu somando as áreas produzidas por todas as culturas no ano. Já que os produtores, em geral, utilizam a mesma área de cultivo mais de uma vez no ano, o resultado desse indicador é em geral maior do que o tamanho da propriedade. Fez-se esta hipótese para permitir que as escolhas do produtor com relação ao uso da terra ficassem mais evidentes e passíveis de análise de eficiência.

O Valor da Produção foi obtido pela multiplicação das quantidades totais produzidas pelo preço médio de cada cultura para o ano de 2013. Primeiramente tentou-se utilizar os preços

colhidos nos questionários, mas como estes dados estavam deficientes, esta tentativa foi abandonada e partiu-se para a estratégia de preço médio. Assumiu-se que a eventual perda de precisão do índice causada por essa substituição é marginal e seu efeito é desprezível para efeitos deste estudo, por que um ganho ou perda pontual em uma feira são normalizados ao longo do ano por efeitos naturais do mercado. A informação de preços foi fornecida pela seção de estatística da Central de Abastecimento do DF (CEASA-DF) e pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA).

Foram descartados 11 DMU's dos 38 entrevistados por três motivos: 1) não faziam uso profissional da terra e por tanto não são comparáveis com os outros em termos tecnológicos; 2) Obtiveram prejuízo no resultado do exercício e 3) Eram pecuaristas e portanto se encontram fora do escopo da presente análise.

4. Resultados

Realizou-se uma descrição estatística dos dados no intuito de complementar a análise dos escores de eficiência. Esta descrição segue abaixo:

Tabela 3: estatística descritiva

Variável	Obs	Média	Desvio padrão	Min	Max
Capital	23	88 883,00	262 423,00	337	1 249 645,00
Terra	23	33,80	83,50	1	330,00
Trabalho	23	2 719,76	6 387,02	42,64	30 619,28
Receita	23	248 585,7	689 208,9	3 164,85	3 309 757,00

O desvio padrão é para todas as variáveis maior que a média destas. Isto se dá por que a distribuição dos dados dos produtores não é nem normal nem homogênea, devido à diferença escalar da maioria dos produtores com relação a três DMU's que produzem em escala maior do que os demais. Esta diferença fica clara na análise de máximos e mínimos.

Os resultados do modelo foram obtidos com o uso do software Stata tendo referência para os procedimentos o artigo de JI e LEE (2010). Dos 23 produtores avaliados, cinco obtiveram escore de eficiência de 100%, sendo estes os referenciais produtivos a partir dos quais se criou a fronteira produtiva. A eficiência média das DMU's foi de 72,97%. Isso mostra que em média os produtores poderiam ter obtido a mesma renda utilizando 27,023% menos insumos. Considerou-se o valor médio de eficiência elevado tendo como base nos estudos semelhantes de Gomes(2004), Gomes (2005) e Silva e Gomes (2013), os quais obtiveram eficiências médias de 24,8%, 31,3%, 61,3%, respectivamente. Atribuímos esta eficiência média elevada à boa distribuição da informação e ao acesso equitativo de

insumos produtivos que se verifica na região pela presença constante de instituições de extensão e auxílio técnico como a Emater e a Embrapa.

Os cinco produtores eficientes apresentaram as seguintes características semelhantes:

- 1) Fizeram uso intensivo de fertilizantes, pesticidas, adubos químicos via de irrigação por gotejamento em todas suas culturas.
- 2) Escolheram culturas de maior preço médio de venda e assim assumiram maior risco de produção. São elas: Tomate, Pimentão, Maxixe, Jiló, Pimenta de Cheiro Beterraba e Cenoura.
- 3) Separaram alguma parte menor da terra para plantio de Limão em consórcio com alguma cultura de baixo risco produtivo como Abobora Italiana ou Repolho. Esta prática serve como diversificador da carteira de investimentos. Assim se alguma cultura mais arriscada der prejuízo, este pode ser coberto pela produção da cultura com menos risco, funcionando como um colchão de amortecimento para a renda familiar.
- 4) Foram razoavelmente restritivos no uso da Terra. Em média, utilizaram 1,79 vezes menos terra do que o resto dos produtores - foram retirados neste ponto os produtores que utilizaram mais de 100 ha para não enviesar a média.
- 5) Os produtores usam Mão de Obra contratada permanente e em épocas de colheita se utilizam de Mão de Obra contratada temporária. Outro fator preponderante com relação à variável trabalho é a presença do dono da lavoura no dia a dia da produção junto com seus empregados contratados.

Estas práticas devem servir de benchmark para que a EMATER - DF estimule os produtores ineficientes a adotar estas práticas e para que os próprios produtores ineficientes tenham um estímulo real a mudar sua tecnologia produtiva.

Com relação aos escores de eficiência o desvio padrão foi de 30,33% e a eficiência mínima foi de 12,01%. O desvio padrão alto reflete a diversidade de tecnologias e culturas que os produtores se utilizam nos seus respectivos processos produtivos. De fato, esta constatação era esperada desde a fase da coleta pois o leque de escolhas tecnológicas é muito amplo e a cada escolha os produtores associam um risco produtivo. Isto faz que de acordo com a aversão ao risco e a disponibilidade de trabalho de cada um se escolha uma determinada

cultura e uma determinada tecnologia produtiva. O Produtor que obteve o menor nível de eficiência (12,01%) escolheu um perfil muito mais conservador e pouco tecnológico no seu plantio. Suas culturas foram Milho consorciado com Mandioca. Ambas pouco intensivas em trabalho e com baixo valor de venda. Além disso este produtor fez seu cultivo em sequeiro. Isto é, não utilizou nenhum método de irrigação diferente das chuvas.

A análise DEA revelou que 13 DMU's apresentaram retornos marginais crescentes (*increasing returns of scale* – IRS) nenhum apresentou retornos constantes de escala (*constant returns of scale* – CRS) e apenas cinco apresentaram retornos marginais decrescentes (*decreasing returns of scale* – DRS). Isto mostra que, para a maioria das DMU's, o aumento na utilização de insumos (*inputs*) gera aumentos mais do que proporcionais na geração de Valor de Produção (*outputs*). Porém como vimos acima, o aumento de inputs não deve ser homogêneo, mas se deve priorizar a utilização de Trabalho e Capital, de modo que o cultivo da terra seja intenso. Mais detalhes sobre o resultado do modelo encontram-se na seção 7, Apêndice A.

5. Conclusão

O emprego do Modelo DEA para avaliação da eficiência dos produtores do NRBV se mostrou de grande utilidade principalmente na determinação do grupo de produtores eficientes. Que por sua vez possibilitou o destaque do conjunto de práticas específicas que levaram à eficiência (Utilização de insumos agrícolas via irrigação por gotejamento \ Carteira de culturas diversificada \ Escolha de produtos com alto valor de mercado \ Uso intensivo da terra \ contratação de mão de obra permanente e temporária). A lista de boas práticas agrícolas poderá servir como diretriz aos produtores ineficientes rumo a eficiência (aumento do uso de Capital e Trabalho ou verificação de variáveis externas ao processo produtivo que pode gerar mal uso de recursos).

A pequena quantidade de DMUs deste trabalho pode ter trazido prejuízo a análise. Apesar de estar de acordo com a recomendação prática, feita por Gomes, 2004, de se manter a relação de 4 ou 5 vezes mais DMUs do que variáveis, conclui-se que é importante para a robustez da análise aumentar a base de dados. A aplicação do questionário a produtores de outros núcleos rurais das proximidades pode ser uma boa solução para este ponto em pesquisas futuras.

Recomenda-se também o uso de métodos de suavização de fronteira de modo a diminuir o determinismo do modelo DEA-BCC e acompanhar o erro de medida que pode ser significativo. Em concreto, a utilização do método de Cazals et al. (2002) para retirada de outliers da amostra e também utilização do fuzzy DEA para acompanhar a sensibilidade dos resultados com a difusão dos dados, como mencionado no capítulo 2, seção 2.4. Trazer métodos de análise cada vez mais robustos pode ser de grande valia para os agentes de extensão, para os produtores e também o estado da arte em pesquisa econômica.

6. Referências Bibliográficas

ALVES, E.; MARRA, R. A persistente migração rural-urbana. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, ano 18, n. 4, p 5-17, 2009.

BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BELIK, W. O financiamento da agropecuária brasileira no período recente. In: CALIXTRE, André. **Presente e futuro do desenvolvimento brasileiro**, IPEA, 2014, cap. 9, p.329-374. ISBN: 978-85-7811-214-1

CAZALS, C.; FLORENS, J.P.; SIMAR, L. Nonparametric frontier estimation: a robust approach, **Journal of Econometrics**, n.106, p.1–25, 2002.

CHEN, C.; SOO, K. Some university students are more equal than others: Efficiency evidence from England; **Economics Bulletin**, Vol. 30, n.4, p. 2697-2708, 2010.

GOMES, E; MANGABEIRA, J.C. Uso de análise de envoltória de dados em agricultura: o caso de Holambra. **Engevista**, v. 6, n. 1, 2004.

GOMES, E; MELLO, J.C.B.; LINS, M.P. Redistribuição de inputs e outputs em modelos de análise envoltória de dados com ganhos de soma zero. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro , v. 24, n. 2, ago. 2004 .

GOMES, E.; MANGABEIRA, J.; MELLO, J. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília , v. 43, n. 4, Dec. 2005

GOMES, E; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; MANGABEIRA, J. A. C. Fronteira DEA difusa na avaliação de eficiência em agricultura. **Investigação Operacional**, v. 26, n. 1, p. 65-88, 2006.

GOMES, E. Uso de modelos DEA em agricultura: uma revisão da literatura. **ENGEVISTA**, v. 10, n. 1, p. 27-51, junho 2008

GUILHOTO, Joaquim JM et al. A importância da agricultura familiar no Brasil e em seus estados. Brasília: **NEAD**, 2007.

JI, Y.; LEE, C. Data Envelopment Analysis. **The Stata Journal**, v.10, Number 2, p. 267–280, 2010.

LORENZETT, João Roberto; LOPES, Ana Lúcia; DE LIMA, Marcus Vinicius. Aplicação de método de pesquisa operacional (DEA) na avaliação de desempenho de unidades produtivas para área de educação profissional. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 3, n. 1, p. 168-190, 2010.

MUGERA, A. Measuring technical efficiency of dairy farms with imprecise data: a fuzzy data envelopment analysis approach. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.57, p. 501–519, 2013.

SILVA E SOUZA. G, GOMES. E; Improving agricultural economic efficiency in Brazil. **International Transactions in Operational Research**, v.1, p.1-9, 2013

SOUZA, M. A. et al. Caracterização dos produtores do núcleo Rural Buriti Vermelho, DF. In: **Embrapa Cerrados-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO DE JOVENS TALENTOS DA EMBRAPA CERRADOS, 4., 2009, Planaltina, DF. Resumos apresentados... Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009., 2010.

VICENTE, José R. Produtividade total de fatores e eficiência no setor de lavouras da agricultura brasileira. **Revista Economia e Agronegócio**, v. 9, n. 3, p. 303-324, 2011.

7. Apêndice A – Resultados do modelo

RESULTADO DO MODELO								
dmu	capital	land	lab	receit~r	CRS_TE	VRS_TE	SCALE	RTS
v1	265699	114,5	6591	371663	0,170912	0,401153	0,426052	drs
v2	18456	12	42,64	35654,5	0,753464	1	0,753464	irs
v7	16687,6	3,87	215,2	43529,1	0,605875	0,623802	0,971263	drs
v9	2056	4	226,88	3164,85	0,044284	0,368628	0,120131	irs
v11	337	1,7	201,83	8102,81	0,616678	1	0,616678	irs
v12	8230,76	2,41	1163,6	8376,14	0,089133	0,414938	0,21481	irs
v16	65811,5	4,91	5272,5	298620	1	1	1	
v18	79521,2	4,85	2510,89	130496	0,59471	0,616516	0,96463	irs
v19	600	1	84	6207,68	0,333642	1	0,333642	irs
v20	8384,49	2,41	958,5	38739,6	0,418844	0,618051	0,677685	irs
v21	845,16	1,91	94,74	32952,4	1	1	1	
v22	5245,83	2,6	314	37273,9	0,465673	0,619428	0,751779	irs
v23	7827,31	2,72	1472,5	52947,7	0,517799	0,624473	0,829178	irs
v24	6703,86	2,76	352,5	94722,4	1	1	1	
v25	15576	5,2	638,82	76676,6	0,44339	0,463493	0,956628	irs
v28	4620,39	3,5	121,34	24603,9	0,543402	0,71476	0,760258	irs
v29	1645	5,75	392	59588,9	0,929078	1	0,929078	drs
v30	6110,06	3,53	1352,93	80793,1	0,808112	0,846737	0,954384	drs
v31	15321,9	2,6	1973,5	113074	0,955668	0,983335	0,971865	irs
v32	11729,6	1	6279,5	102179	1	1	1	
v34	1,20E+06	330	30619,3	3,30E+06	0,375814	1	0,375814	drs
v35	227243	238	309	783412	1	1	1	
v38	26012	26,4	1367,5	4937	0,010546	0,059832	0,176259	irs