

# **EFICIÊNCIA, TECNOLOGIA E PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES: UMA ANÁLISE DAS MUDANÇAS RECENTES NA AGROPECUÁRIA DO NORDESTE**

**Adriano Provezano Gomes**  
Doutor em Economia Aplicada  
Universidade Federal de Viçosa

**José Luiz Alcantara Filho**  
Mestrando em Economia  
Universidade Federal de Viçosa

**Paulo Roberto Scalco**  
Economista M.Sc., doutorando em Economia Aplicada  
Universidade Federal de Viçosa

**RESUMO:** Este artigo teve como objetivo analisar as mudanças recentes ocorridas na agropecuária do Nordeste brasileiro, identificando as fontes de alterações na produtividade total dos fatores. Foram utilizados dados das 187 microrregiões nordestinas no período de 1996 e 2006. Para calcular as mudanças na produtividade total dos fatores foi utilizado o índice de Malmquist, o qual pode ser decomposto em mudanças na eficiência técnica e tecnológica. Verificou-se que em 52% das microrregiões nordestinas ocorreu ganho na produtividade dos fatores. Nas regiões onde ocorreu redução na produtividade, a explicação foi que houve perda considerável de eficiência produtiva, uma vez que em todas elas houve progresso tecnológico. Em seguida, as mudanças tecnológicas foram classificadas em poupadoras de capital ou de trabalho. Predominou a mudança tecnológica poupadora de trabalho em 80% das microrregiões. Essa nova dinâmica na produção agropecuária do Nordeste teve impacto significativo no uso dos fatores, reduzindo a elasticidade de produção do trabalho e aumentando a do capital.

**Palavras-chaves:** Produtividade total dos fatores; mudança tecnológica; agropecuária.

**ABSTRACT:** This article's objective is to analyze recent changes in Northeast Brazilian agriculture, identifying the sources of change in the total factor productivity. Data concerning the 187 northeastern microrregiões were used in the period of 1996 and 2006. The Malmquist Index was used to calculate the changes in the total factor productivity, which can be divided between technical changes and technological efficiency. It was verified that in 52% of the Northeastern microrregiões productivity increased. In the areas where productivity decreased, considerable losses in productive efficiency were present, given that in all of them there was technological progress. Soon afterwards, the technological changes were classified as capital or work saving. Changes in work saving technology prevailed in 80% of the microrregiões. These new dynamics in the agricultural production of the Northeast has had significant impact in use of the factors, reducing the work elasticity of production and increasing that of capital.

**Key words:** Total factor productivity, technological change; agriculture.

## **1. INTRODUÇÃO**

Desde o período colonial, o setor agropecuário nordestino sempre desempenhou importante papel no nível agregado da produção nacional, destacando-se como pólo de desenvolvimento econômico do país com açúcar, tabaco, couro e algodão. Segundo dados da CNA (2008), atualmente, 46,4% da população nordestina se encontra na área rural e, além disso, o setor agropecuário é responsável por 8% do PIB e 38% da exportação do Nordeste brasileiro. Assim, até os dias atuais, a agropecuária ainda possui representação expressiva para a economia nordestina.

A agricultura é importante não somente pela sua participação na renda nacional, mas também por gerar segurança alimentar, empregos e divisas. Contudo, no setor agropecuário brasileiro, a disparidade entre os estados tem sua origem na formação econômica do Brasil. Os diferentes ciclos econômicos que o Brasil atravessou, juntamente com as relações trabalhistas e as características culturais predominantes em cada região foram alguns dos fatores que contribuíram para as diferentes taxas de desenvolvimento entre as regiões agrícolas brasileiras.

No Nordeste, a situação não foi diferente. Devido à extensão territorial e à colonização, as desigualdades foram geradas por diversos motivos, dentre eles, pela disponibilidade relativa dos fatores de produção. A utilização de novos pacotes tecnológicos foi influenciada pelas condições naturais, interesse do empresariado, disponibilidade de crédito, demanda por produtos agrícolas, etc. Diversos estudos sinalizam que, a partir da implantação dos pacotes tecnológicos provenientes da modernização da agricultura, vem ocorrendo um processo de substituição do trabalho pelo capital. Entretanto, o Nordeste possui significativas disparidades regionais quanto às condições geográficas, sociais, políticas e econômicas, que, por sua vez, refletem na estrutura produtiva agrícola e na escolha da tecnologia a ser utilizada.

Outra questão relevante é que, nas últimas décadas, a agricultura se desenvolveu em um novo ambiente econômico, marcado pela redução da participação do estado e a abertura comercial, acarretando na adoção de novas tecnologias. Contudo, o processo de mudança tecnológica não ocorreu de forma homogênea, tornando-se necessário analisar as características regionais da estrutura produtiva agrícola no estado.

Recentemente, o IBGE disponibilizou alguns dados preliminares do Censo Agropecuário de 2006 que possibilitam analisar a estrutura agropecuária atual, bem como apurar o sentido das modificações ocorridas na agricultura nordestina. A partir desses dados, o presente trabalho procura identificar em quais microrregiões ocorreram progressos tecnológicos e agrícolas, bem como tipificar as mudanças tecnológicas, se poupadoras de capital ou de trabalho. Além disso, será analisado como as mudanças tecnológicas afetaram o uso relativo dos fatores de produção. Sendo assim, este artigo teve como objetivo analisar as mudanças recentes ocorridas na agropecuária do Nordeste brasileiro, identificando as fontes de alterações na produtividade total dos fatores.

## **2. METODOLOGIA**

O procedimento empírico deste trabalho será realizado em três etapas. Inicialmente procura-se identificar em quais microrregiões do Nordeste ocorreu ganho na produtividade total dos fatores. Para isso, será utilizado o índice de Malmquist, o qual permite decompor a mudança na produtividade total dos fatores em mudança na eficiência técnica e mudança tecnológica. Na segunda etapa procura-se tipificar o processo de mudança tecnológica, ou seja, se poupadora de trabalho ou de capital. Nessa fase será utilizada a classificação de Hicks

para identificar o tipo de mudança tecnológica. O terceiro procedimento metodológico utilizado consiste na estimação das funções de produção. Essa etapa serve para calcular os produtos marginais dos fatores, necessários para identificar o tipo de mudança tecnológica, bem como as elasticidades de produção. A estimação das funções de produção será feita na forma funcional *translog*.

A seguir, serão apresentados alguns aspectos gerais dos procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho.

## 2.1 O índice de Malmquist de produtividade total dos fatores

Existindo dados de insumos e de produtos para mais de um período de tempo, pode-se calcular a mudança na produtividade total dos fatores ocorrida entre dois períodos. Essas mudanças são mensuradas utilizando-se números índice. Existe uma variedade de números índices, entre eles o de Laspeyres e o de Paashe, cuja média fornece o índice de Fisher. Outros índices muito utilizados são o de Tornqvist e o de Malmquist.

Para verificar o comportamento da produtividade total dos fatores (PTF) ao longo do tempo optou-se por utilizar o índice de Malmquist. A opção pelo uso deste índice deveu-se ao fato de que ele pode ser decomposto em um índice de mudança na eficiência técnica e um índice de mudança tecnológica. Em outras palavras, a análise de eficiência/produtividade pode ser desmembrada em duas partes: mudança da distância em relação à fronteira tecnológica, também chamada de mudança de eficiência, e mudança da fronteira tecnológica ao longo do tempo, também chamada de progresso tecnológico, sendo este último o objeto de interesse do trabalho.

O cálculo do índice de Malmquist entre os períodos  $t$  e  $t+1$  é baseado em quatro funções distância:  $d_0^t(x_t, y_t)$ ,  $d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})$ ,  $d_0^{t+1}(x_t, y_t)$  e  $d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})$ . As duas primeiras indicam, respectivamente, o uso dos dados dos períodos  $t$  e  $t+1$  com a tecnologia existente nos períodos  $t$  e  $t+1$ . A terceira função distância utiliza os dados do período  $t$  com a tecnologia existente no período  $t+1$ . Analogamente, a última função utiliza dados do período  $t+1$  e tecnologia do período  $t$ . Para maiores detalhes sobre as funções distância, veja Shepard (1970).

O índice de mudança na produtividade de Malmquist com orientação produto<sup>1</sup> apresentado em Caves et al. (1982), pode ser definido como:

$$M_0^{t,t+1}(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \left[ \frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^t(x_t, y_t)} \times \frac{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (1)$$

A equação anterior representa a produtividade do ponto de produção  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  com relação ao ponto de produção  $(x_t, y_t)$ . Esse índice representa a média geométrica entre um índice que usa a tecnologia do período  $t$  e outro que usa a tecnologia do período  $t+1$ . Conforme mencionado anteriormente, o índice de Malmquist pode ser decomposto em duas medidas (mudança de eficiência e progresso tecnológico) da seguinte forma:

$$M_0^{t,t+1}(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \left[ \frac{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^t(x_t, y_t)} \right] \times \left[ \frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d_0^t(x_t, y_t)}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

<sup>1</sup> Para Krüger et al. (1998), a orientação produto é uma pressuposição mais razoável em ambiente macroeconômico, pois está mais próxima do objetivo da política de crescimento que visa um maior produto possível, dada uma dotação de recursos.

em que o primeiro termo do lado direito da equação mede a mudança de eficiência e o segundo termo mede o progresso tecnológico. A Figura 1 ilustra essa definição, considerando-se um modelo com um insumo e um produto.

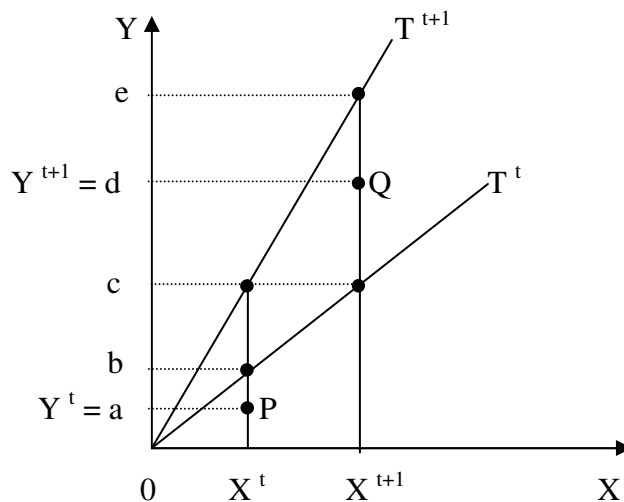


Figura 1: Representação do índice de produtividade de Malmquist.

Na Figura 1,  $T$  e  $T^{t+1}$  representam as tecnologias de produção em dois períodos. Considere uma unidade produtora (DMU)<sup>2</sup> produzindo no ponto  $P$  no período  $t$  e no ponto  $Q$  no período  $t+1$ . A mudança de eficiência para esta região é dada pela razão entre a eficiência técnica no período  $t+1$  em relação ao período  $t$ , ou seja,

$$\text{Mudança de eficiência} = \frac{0d/0e}{0a/0b} \quad (3)$$

A mudança tecnológica é a média geométrica entre o deslocamento da tecnologia avaliada em  $X^{t+1}$  e o deslocamento da tecnologia avaliada em  $X^t$ , obtida de seguinte forma:

$$\text{Mudança tecnológica} = \left[ \frac{0d/0c}{0d/0e} \times \frac{0a/0b}{0a/0c} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Para calcular os componentes do índice, é necessário resolver quatro problemas de programação linear do tipo:

<sup>2</sup> Na literatura relacionada a fronteiras de produção e eficiência, uma unidade produtora é tratada como DMU (*decision making unit*), uma vez que desses modelos provém uma medida para avaliar a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão. Por unidade produtora entende-se qualquer sistema produtivo que transforme insumos em produtos, podendo ser uma firma, um setor da economia, uma região, etc. No presente estudo as DMUs correspondem às microrregiões do Nordeste brasileiro.

$$\left[ d_0^p(x_q, y_q) \right]^{-1} = \text{MAX}_{\phi, \lambda} \phi,$$

sujeito a :

$$-\phi y_{i,q} + Y_p \lambda_i \geq 0, \quad (5)$$

$$x_{i,q} - X_p \lambda_i \geq 0,$$

$$\lambda_1 \dots \lambda_n \geq 0,$$

em que  $(p, q) \in \{(t, t), (t+1, t+1), (t, t+1), (t+1, t)\}$ .

Os valores obtidos para os  $\phi$ 's indicam a quantidade máxima de aumento em todos os produtos do período  $q$ , com os insumos constantes requeridos para obter um ponto na função fronteira no período  $p$ .

Conforme salientaram Marinho e Barreto (2000), para buscar evidências de qual ou quais DMUs podem estar deslocando a fronteira de produtividade, é necessário que se verifiquem as três condições abaixo:

$$\left[ \frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d_0^t(x_t, y_t)}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} > 1 \quad (6)$$

$$d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) = 1 \quad (7)$$

$$d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1}) > 1 \quad (8)$$

A primeira condição reflete a presença de mudança tecnológica, descrita na segunda parte do lado direito da equação (9). A segunda condição indica que se houver um deslocamento da fronteira, as DMUs que o fazem devem estar situadas sobre ela. Por fim, a terceira condição afirma que se o produto de uma DMU no período  $t+1$  é superior ao máximo produto potencial que poderia ser obtido no período  $t$ , utilizando-se os fatores de produção do período  $t+1$ , é porque houve progresso tecnológico e a DMU pode estar deslocando a fronteira.

## 2.2 Mudanças na função de produção e progresso tecnológico

A próxima etapa do trabalho consiste em verificar qual foi o tipo de mudança tecnológica que prevaleceu no Nordeste nos últimos anos. Uma classificação muito utilizada nas análises econômicas deve-se a Hicks (1932), a qual está relacionada às variações nas relações dos produtos marginais dos fatores. Para exemplificar essa classificação, considere os dois fatores de produção capital ( $K$ ) e trabalho ( $L$ ), com seus respectivos produtos marginais ( $PMg K$  e  $PMg L$ ). De acordo com Hicks, toda inovação deve aumentar a produtividade marginal de, pelo menos, um fator. Nesse sentido, as mudanças tecnológicas podem ser classificadas em:

- Poupadoras de trabalho: quando, para a combinação inicial de fatores, aumentar a relação  $PMg K / PMg L$ ;

- Poupadoras de capital: quando, para a combinação inicial de fatores, diminuir a relação  $PMg K / PMg L$ ; e
- Neutras: quando, para a combinação inicial de fatores, a relação  $PMg K / PMg L$  se mantiver.

A Figura 2 ilustra uma mudança tecnológica poupadora de trabalho. Considere que, inicialmente, a DMU esteja operando em equilíbrio no ponto A (isoquanta  $I_0$ ), utilizando uma combinação de fatores  $K_0$  e  $L_0$  qualquer. Denominando os preços do capital e do trabalho de  $P_K$  e  $P_L$ , respectivamente, o ponto de equilíbrio é alcançado quando  $P_K / P_L = PMg K_0 / PMg L_0$ .

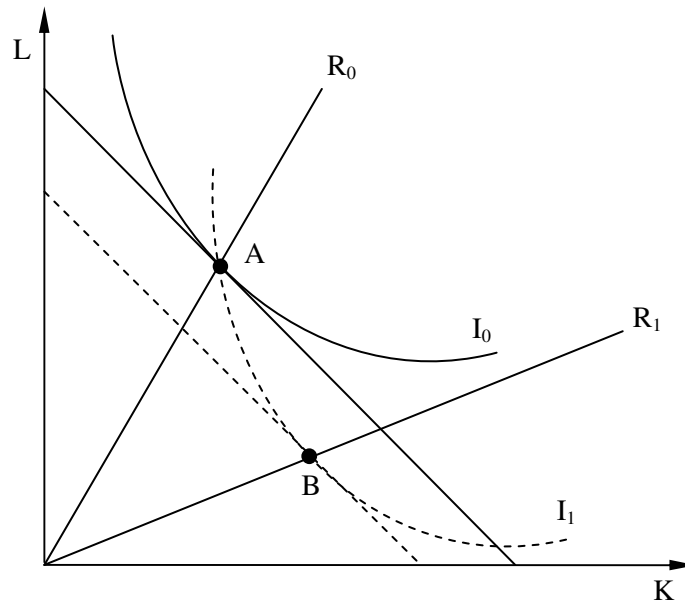


Figura 2: Mudança tecnológica poupadora de trabalho.

Com a mudança tecnológica, a isoquanta de produção muda para  $I_1$ . Nesta nova isoquanta, mantendo-se a combinação inicial de fatores ( $K_0$  e  $L_0$ ), os produtos marginais se alteram para  $PMg K_1$  e  $PMg L_1$ . Considerando que a relação entre os preços dos fatores não se altera, a firma sairá do ponto de equilíbrio, pois  $PMg K_1 / PMg L_1 > PMg K_0 / PMg L_0$ .

Para retornar ao equilíbrio, a DMU terá que modificar sua combinação de fatores, de modo a restabelecer a proporcionalidade entre as produtividades marginais e os preços dos fatores. Para que isso ocorra, é preciso diminuir a produtividade marginal do capital e aumentar a produtividade marginal do trabalho, ou seja, utilizar mais capital e menos trabalho. O novo ponto de equilíbrio ocorrerá em B.

Resumindo, inicialmente a DMU estava operando ao longo do caminho de expansão  $R_0$ . Após a introdução da mudança tecnológica, o caminho de expansão se deslocou para  $R_1$ , onde se verifica maior relação capital/trabalho.

### 2.3 Estimativa das funções de produção

Conforme detalhado na seção anterior, para se identificar o tipo de mudança tecnológica é preciso conhecer os produtos marginais dos fatores em dois períodos de tempo. Para isso, é necessário estimar funções de produção.

Existem várias formas funcionais que podem ser utilizadas para estimar a função de produção agrícola, tendo como variável dependente a produção (ou valor da produção) e,

como explicativas, o pessoal ocupado (representando o fator trabalho) e o número de tratores (*proxy* para o fator capital).

Neste trabalho optou-se por estimar as funções de produção na forma transcendental logarítmica (*translog*). A função de produção *translog* é considerada uma forma funcional flexível pelo fato de não impor restrições *a priori* aos valores das elasticidades de produção e de substituição entre os fatores. Além disso, a forma funcional *translog* pode representar de forma mais fiel a tecnologia de produção, possibilitando testes quanto à separabilidade, homogeneidade, monotonicidade, concavidade, entre outras características desejáveis para a tecnologia de produção.

Pressupondo-se separabilidade fraca entre os fatores de produção, de tal forma que eles possam ser agregados em dois grupos  $X_1$  e  $X_2$ , a função de produção pode ser definida como:

$$\ln Y_i = \ln \alpha_0 + \sum_{j=1}^2 \alpha_j \ln X_{ji} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \beta_{jk} \ln X_{ji} \ln X_{ki} + \mu_i \quad (9)$$

em que  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  são unidades de produção (microrregiões);  $X_{jk}$ ,  $j, k = 1, 2$  são os fatores de produção capital e trabalho;  $Y$  é a variável dependente (produção);  $\alpha_j$  e  $\beta_{jk}$  são os parâmetros a serem estimados; e  $\mu_i$  é um erro aleatório pressuposto normal, independente e de variância constante. A igualdade  $\beta_{jk} = \beta_{kj}$ ,  $j, k = 1, 2$  é a condição imposta pelo teorema de Young, referente à igualdade das derivadas cruzadas de segunda ordem, garantindo as condições de simetria.

Estimando-se os parâmetros da função de produção *translog*, podem-se calcular os produtos marginais (PMg) e as elasticidades de produção dos fatores ( $\eta$ ) utilizando-se as seguintes expressões:

$$\text{PMg } X_i = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln X_i} \frac{Y}{X_i} = \left( \alpha_{ij} + \sum_j \beta_{ij} \ln X_j \right) \frac{Y}{X_i} \quad (10)$$

$$\eta X_i = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln X_i} = \alpha_{ij} + \sum_j \beta_{ij} \ln X_j. \quad (11)$$

De acordo com Lima (2000), as condições de monotonicidade e concavidade podem não ser satisfeitas globalmente pela função *translog*. Entretanto, tais propriedades devem ser testadas localmente (sendo o ponto médio das variáveis o mais utilizado). A monotonicidade é satisfeita quando os produtos marginais dos fatores forem positivos. A concavidade da função se verifica quando a matriz Hessiana orlada for negativa semidefinida.

#### 2.4. Dados utilizados

Para calcular o índice de Malmquist de produtividade total dos fatores e as funções de produção foram utilizados dados de um produto e dois insumos. Os dados referem-se às 187 microrregiões do Nordeste e foram coletados para os anos de 1996 e 2006. São eles:

- Valor da produção agropecuária ( $Y$ ): soma do valor da produção de lavouras (temporária e permanente) e pecuária. Os dados da produção de lavouras foram obtidos na Pesquisa da Produção Agrícola Municipal e os da produção animal na Pesquisa da Pecuária Municipal, ambas do IBGE. Para deflacionar os valores de

1996 para a base 2006 utilizou-se o Índice de Preços Recebidos pelos Produtores (IPR) da Fundação Getúlio Vargas.

- Número de tratores ( $X_1$ ): variável utilizada como *proxy* para o fator de produção capital. Os dados foram obtidos nos Censos Agropecuários do IBGE.
- Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários: variável utilizada para representar o fator de produção trabalho. Os dados foram obtidos nos Censos Agropecuários do IBGE.

Observação: os dados do valor da produção de 2006 ainda não estão disponíveis no Censo Agropecuário. Por esse motivo, optou-se por utilizar os dados da Produção Agrícola Municipal e da Pesquisa da Pecuária Municipal para os anos de 1996 e 2006.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 1996 a 2006 ocorreram significativas mudanças na composição do uso dos fatores de produção na agropecuária da Região Nordeste do Brasil, conforme se pode observar na Tabela 1. No intervalo de onze anos, o número de estabelecimentos agropecuários aumentou em 6,13%, situação semelhante à área utilizada e ao número de tratores. Por outro lado, houve redução no pessoal ocupado em atividades agropecuárias. Isso significa que, de modo geral, houve redução na relação mão-de-obra/trator.

Tabela 1: Número de estabelecimentos, área, pessoal ocupado e tratores utilizados na agropecuária do Nordeste, nos períodos de 1996 e 2006.

Especificação	Unidade	1996	2006	Variação (%)
Estabelecimento	Unidade	2.326.405	2.469.028	6,13
Área	Hectare	74.919.963	80.441.685	7,37
Mão-de-obra	Pessoa	8.210.792	7.686.727	-6,38
Trator	Unidade	55.475	58.728	5,86

Fonte: IBGE – Censo Agropecuário.

Essa redução na relação mão-de-obra/trator ou, de forma genérica, trabalho/capital, fornece indícios de que as mudanças tecnológicas predominantes foram aquelas poupadoras de trabalho ou, em outras palavras, a função de produção agropecuária passou a ser mais intensiva em capital, relativamente ao trabalho. Entretanto, não se pode afirmar, a princípio, que tais mudanças tecnológicas propiciaram ganhos de produtividade e nem que os ganhos de produtividade ocorreram de maneira uniforme em toda a região. Diversos fatores podem ser responsáveis pelas diferenças intra e inter-regionais nas funções de produção agrícolas, principalmente em uma região com a dimensão territorial do Nordeste.

Para analisar essa questão, os resultados apresentados a seguir serão divididos em três seções: inicialmente serão identificadas as microrregiões nordestinas onde ocorreram ganhos na produtividade total dos fatores e suas causas, ou seja, se houveram mudanças na eficiência técnica ou mudanças na tecnologia agropecuária. Em seguida, na segunda seção, procurar-se-á identificar se as mudanças tecnológicas foram poupadoras de capital ou poupadoras de trabalho. Por fim, serão destacadas algumas alterações na composição do valor da produção e no uso da terra.



### 3.1 Mudanças na produtividade total dos fatores na agropecuária do Nordeste

Para identificar onde ocorreram mudanças na produtividade total dos fatores (PTF) utilizou-se o Índice de Malmquist. A utilização desse índice é útil, pois permite decompor a mudança na produtividade total dos fatores em mudança na eficiência técnica e mudança tecnológica.

Os resultados indicam que, das 187 microrregiões do Nordeste, em 97 delas houve ganho na produtividade total dos fatores agropecuários. Por outro lado, em 90 microrregiões não ocorreram tais ganhos, pelo contrário, houve redução na produtividade dos fatores. A distribuição das microrregiões segundo as medidas de mudança na produtividade total dos fatores pode ser observada na Figura 3.

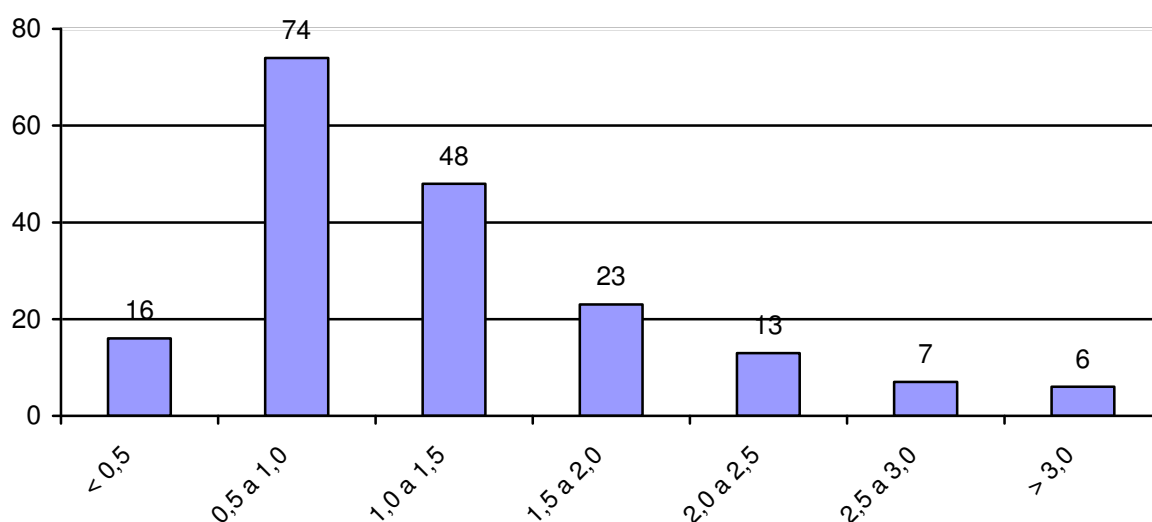


Figura 3: Distribuição das microrregiões do Nordeste segundo intervalos do índice de mudança na produtividade total dos fatores, no período de 1996 a 2006.

Valores acima de uma unidade indicam regiões onde houve ganho na PTF entre os dois momentos de tempo analisados, enquanto valores abaixo da unidade indicam redução na PTF. O índice médio de mudança na produtividade total dos fatores foi de 1,259, ou seja, a agropecuária nordestina apresentou, em média, aumentos de 25,9% na PTF no intervalo de 1996 a 2006. Isso representa um ganho anual da ordem de 2,33%.

Para identificar onde ocorreram as mudanças tecnológicas, na Figura 4, encontra-se a distribuição do índice no mapa do Nordeste, cujos valores foram separados em três estratos: até 1, que corresponde a microrregiões onde houve redução na PTF; de 1 a 1,5, representando mudanças positivas porém inferiores a 50% (o que equivale a 4,14% ao ano); e acima de 1,5, representando as microrregiões onde o ganho na PTF foi superior a 4,14% ao ano.

Observando o mapa, percebe-se que a distribuição dos índices de mudança na PTF não seguiu um padrão definido, ou seja, ocorreram aumentos e reduções na PTF em todos os estados da Região Nordeste. Contudo, nota-se que há ligeira concentração das microrregiões cujo índice de mudança na PTF foi superior a 1,5 na costa litorânea de alguns estados e na parte oeste do Nordeste. Além disso, nota-se que o estado cujos resultados apresentaram piores resultados foi o de Piauí, onde houve nítida predominância de microrregiões com redução no PTF.

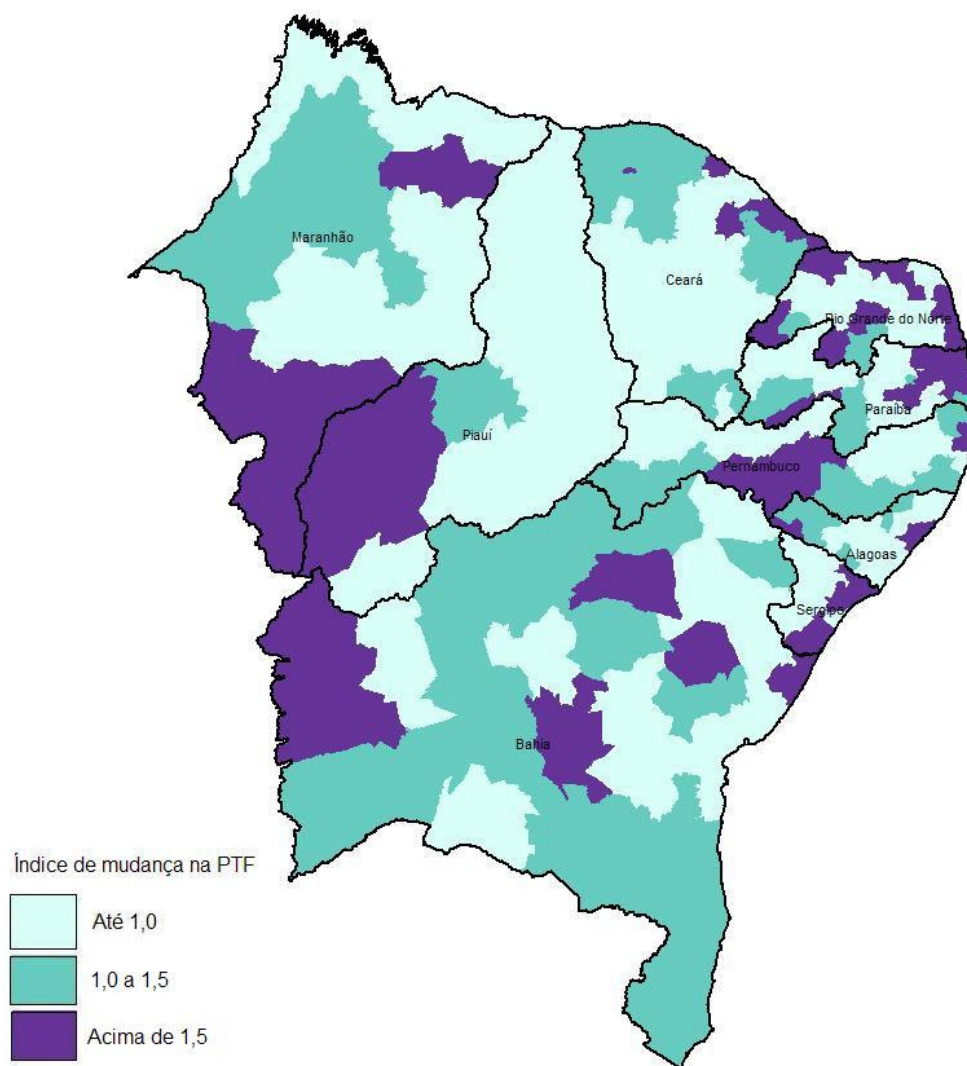


Figura 4: Distribuição do índice de mudança na produtividade total dos fatores da agropecuária do Nordeste, no período de 1996 a 2006.

O cálculo da produtividade total dos fatores é realizado considerando-se, no denominador, a soma ponderada dos fluxos de serviços prestados por cada um dos fatores produtivos empregados em cada período analisado, sendo a ponderação dada pela contribuição estimada de cada fator para se obter uma unidade produto. Isso significa que a medida de PTF é mais rigorosa e completa do que as produtividades parciais dos fatores. De qualquer forma, é de se esperar que regiões com baixa (alta) taxa de mudança na PTF tenham também baixas (altas) taxas de mudanças nas produtividades parciais, em pelo menos um dos fatores.

Os dados apresentados na Tabela 2 comprovam essa hipótese para a agropecuária do Nordeste. As produtividades parciais dos fatores foram obtidas dividindo-se o valor da produção agropecuária pelo total de cada fator, nos anos de 1996 e 2006. O fator terra foi medido pela área total dos estabelecimentos, o capital pelo número de tratores e o trabalho pelo pessoal ocupado. Os dados apresentados referem-se às médias das variações nas produtividades parciais entre os dois períodos de tempo analisados.

Três pontos interessantes podem ser observados na Tabela 2: 1) Ocorreram reduções nas produtividades parciais dos três fatores nas microrregiões onde houve redução na PTF; 2) Em todos os fatores, na medida em que aumenta a taxa de crescimento da PTF, aumentam-se também as produtividades parciais. Além disso, as intensidades de mudanças em todas as

produtividades parciais são coerentes com os intervalos nos estratos de mudança na PTF; e 3) O maior ganho de produtividade parcial ocorreu no fator trabalho, seguido pela terra e, por fim, pelo capital (tratores). O fato de a produtividade parcial do trabalho estar crescendo proporcionalmente mais que a do capital fornece indícios de que podem ter havido mudanças nas tecnologias adotadas, e que há predominância de mudanças tecnológicas poupadoras de trabalho.

Tabela 2: Variações percentuais nas produtividades parciais dos fatores de produção utilizados na agropecuária do Nordeste, segundo estratos de mudança na produtividade total dos fatores (PTF).

Estratos de mudança na PTF	Variação % na produtividade parcial		
	Terra	Capital (tratores)	Trabalho
< 1,0	-35,77	-34,07	-29,78
1,0 a 1,5	11,74	18,07	26,35
> 1,5	102,08	122,16	118,32
Total	17,71	8,20	31,77

Fonte: Dados da Pesquisa.

Conforme mencionado anteriormente, o Índice de Malmquist permite decompor a taxa de mudança na PTF em mudança na eficiência técnica e mudança tecnológica. Essa decomposição é extremamente útil para identificar as fontes de mudança na PTF, ou seja, se a PTF de uma microrregião qualquer se alterar, essa alteração pode ocorrer devido à microrregião ter se aproximado da fronteira de produção eficiente e/ou a fronteira ter se deslocado. O primeiro componente reflete mudanças na eficiência técnica, isto é, está relacionado ao uso racional dos insumos para produzir determinada quantidade de produto. Já o segundo componente refere-se às mudanças na tecnologia de produção, as quais são refletidas em deslocamentos da função de produção, também conhecido como *frontier shift*.

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios dos índices de mudança calculados para as microrregiões nordestinas. Note que o índice de mudança na PTF é composto pelo produto dos índices de mudança na eficiência técnica e na tecnologia.

Tabela 3: Valores médios dos índices segundo estratos de mudança na produtividade total dos fatores (PTF).

Estratos de mudança na PTF	Mudança na eficiência técnica	Mudança tecnológica	Mudança na PTF
< 1,0	0,2813	2,5038	0,7043
1,0 a 1,5	0,4922	2,4952	1,2281
> 1,5	0,8853	2,6082	2,3090
Total	0,4937	2,5289	1,2485

Fonte: Dados da Pesquisa.

Observando os dados dessa tabela, nota-se que houve redução na eficiência produtiva da agropecuária em todos os estratos de mudança na PTF. Por outro lado, em todos os estratos houve ganho significativo na tecnologia adotada na agropecuária. Analisando inicialmente o índice de mudança na eficiência técnica, percebe-se que apenas 12 microrregiões apresentaram ganhos na eficiência técnica. Nas outras 175 microrregiões (93,6% do total) houve perda ou, no máximo, manutenção do nível de eficiência na produção agropecuária. Na média, as microrregiões apresentaram redução de cerca de 50% na eficiência.

Não ocorrendo ganho de eficiência implica em dizer que mudanças positivas na PTF somente ocorrerão se houver ganho proporcionalmente maior na tecnologia. De fato, apesar do expressivo ganho tecnológico em todas as microrregiões (a média foi de 152,89%), no primeiro estrato a perda de eficiência comprometeu o ganho de PTF, ou seja, mesmo que a fronteira tecnológica tenha se deslocado, muitas microrregiões passaram a operar com menor eficiência, relativamente às demais. É importante ressaltar que todos os índices calculados são relativos, isto é, as microrregiões são comparadas entre si. Com isso, a redução em qualquer índice de uma microrregião não implica necessariamente em perda absoluta, mas sim comparativamente às demais.

A forma como o índice de mudança tecnológica foi calculado, por meio de funções distância, permite identificar quais microrregiões podem ser as responsáveis pelo deslocamento da fronteira de produção agrícola da Região Nordeste. Utilizando-se as equações descritas em (6), (7) e (8), percebe-se que, apesar de todas as microrregiões terem apresentado ganho tecnológico, apenas as microrregiões de Meruoca no Ceará e Natal no Rio Grande do Norte foram as responsáveis pelo deslocamento da fronteira.

Outro ponto interessante que se pode verificar é a distribuição do valor da produção agropecuária do Nordeste entre as microrregiões separadas em estratos de mudança na PTF (Tabela 4). Observando os dados dessa tabela, nota-se que há correlação positiva entre a taxa de mudança na PTF e a variação percentual no valor da produção agropecuária entre os estratos. No primeiro estrato ( $PTF < 1,0$ ), houve redução no valor da produção de cerca de 20%. Em 1996, as microrregiões que compõem esse estrato eram responsáveis por 42,6% da produção total do Nordeste. Em 2006, passaram ao último lugar em importância relativa, com 29,3% do valor total da produção.

Tabela 4: Distribuição do valor da produção agropecuária do Nordeste segundo estratos de mudança na produtividade total dos fatores (PTF). Dados em R\$ mil de 2006.

Estratos de mudança na PTF	Valor da produção agropecuária*		Variação %
	1996	2006	
< 1,0	6.721.337	5.379.407	-19,97
1,0 a 1,5	6.038.936	7.247.121	20,01
> 1,5	3.016.845	5.718.405	89,55
Total	15.777.118	18.344.933	16,28

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal e Pesquisa da Pecuária Municipal.

\* Soma do valor da produção de lavouras (temporária e permanente) e pecuária.

Certamente, o fato de o valor total da produção agropecuária estar diminuindo em algumas microrregiões do Nordeste é devido à redução na produtividade total dos fatores. Contudo, conforme já discutido, houve mudança tecnológica em todas as regiões. Isso significa, então, que a redução na produção está relacionada ou a uma perda na eficiência produtiva, ou a forma como a mudança tecnológica está ocorrendo, a qual pode estar comprometendo possíveis ganhos de produtividade. Na seção a seguir será discutida essa questão, identificando-se o tipo de mudança tecnológica que ocorreu na agropecuária nordestina.

### 3.2. Tipificação das mudanças tecnológicas na agropecuária do Nordeste

As mudanças ocorridas na produtividade total dos fatores variaram de intensidade e de sentido entre as microrregiões nordestinas. Entretanto, o que se verificou foi que em todas as microrregiões ocorreram progressos tecnológicos, ou seja, deslocamento da fronteira de

produção. Nesse sentido, o próximo passo consistiu em verificar qual o tipo de mudança tecnológica, ou seja, se poupadora de trabalho ou de capital. Para isso, foi preciso estimar duas funções de produção, uma com dados de 1996 e outra com dados de 2006. A forma funcional utilizada nas funções de produção foi a *translog*, conforme descrita na equação (9). Os parâmetros estimados para as duas funções encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros estimados para as funções de produção agropecuária do Nordeste, no período de 1996 e 2006.

Variável	Parâmetros estimados	
	1996	2006
Intercepto	9,61528**	14,04162*
ln K	1,74563**	0,37763***
ln L	-1,23561***	-1,31588***
$\frac{1}{2} (\ln K)^2$	0,08423*	0,06569*
$\frac{1}{2} (\ln L)^2$	0,21893***	0,14788***
ln K*ln L	-0,14832**	-0,00714 <sup>NS</sup>

Fonte: Dados da pesquisa.

K = capital (trator) e L = trabalho (mão-de-obra)

\* Significativo a 1% ; \*\* Significativo a 5%; \*\*\* significativos a 10%; <sup>NS</sup> não significativo.

Na Tabela 6 encontram-se os valores dos produtos marginais (PMg) e as elasticidades de produção do capital (trator) e do trabalho (mão-de-obra), calculados no ponto médio das variáveis e utilizando-se os parâmetros estimados da tabela anterior.

Tabela 6: Elasticidades de produção e produtos marginais do capital e do trabalho calculados nos pontos médios das variáveis, no período de 1996 e 2006.

Especificação	1996	2006
Elasticidade de produção K	0,6396	0,6794
Elasticidade de produção L	0,2604	0,2142
Elasticidade de escala	0,9000	0,8936
Produto marginal K	181,9147	212,2351
Produto marginal L	0,5003	0,5111
PMg K / PMg L	363,6099	415,2263

Fonte: Dados da pesquisa.

K = capital (trator) e L = trabalho (mão-de-obra)

Todas as elasticidades de produção dos fatores calculadas no ponto médio da amostra foram positivas, satisfazendo a condição de monotonicidade em ambas as funções estimadas. De modo geral, ao comparar as elasticidades de produção, verifica-se que a influência da mecanização no processo produtivo é maior que a da mão-de-obra nos dois períodos analisados. Entretanto, dois pontos chamam a atenção: primeiro, nota-se que a influência do capital aumentou, enquanto a do trabalho diminuiu. Com isso, a influência relativa do capital sobre o trabalho na produção agropecuária nordestina aumentou. O segundo ponto é que, embora a elasticidade de produção do trabalho tenha diminuído, a elasticidade de escala

permaneceu praticamente constante, de 0,90 para 0,89, graças ao aumento proporcional ocorrido na elasticidade de produção do capital. Observando esses dados, pode-se dizer, então, que há evidências de que a produção agropecuária do Nordeste continua apresentando rendimentos decrescentes de escala.

Em relação aos produtos marginais, nota-se que ambos aumentaram, embora o aumento no produto marginal do capital tenha sido significativamente superior ao do trabalho. Com isso, a relação  $PMg K / PMg L$  aumentou, indicando que, na média da região, a tecnologia agropecuária poupou trabalho relativamente a capital.

Para evidenciar o tipo de mudança tecnológica ocorrida em cada microrregião utilizou-se da classificação proposta por Hicks, segundo a qual uma mudança tecnológica não-neutra requer que a produtividade marginal de um fator de produção aumente, relativamente à do outro fator. Nesse sentido, a classificação da mudança tecnológica, se poupadora de capital ou de trabalho, dependerá da variação na relação entre os produtos marginais dos fatores. Caso a relação entre o produto marginal do capital e o produto marginal do trabalho aumente, a tecnologia é dita poupadora de trabalho. Caso contrário será poupadora de capital.

Vale ressaltar que, para identificar mudanças na taxa marginal de substituição técnica (razão entre os produtos marginais), os cálculos dos produtos marginais devem ser feitos considerando-se o mesmo conjunto inicial de dados, mudando-se apenas os coeficientes estimados. Em outras palavras, consideram-se os dados de 1996 para estimar os produtos marginais dos fatores em 1996 e em 2006, porém os parâmetros referem-se às funções de produção estimadas para cada ano, conforme descritos na Tabela 5. A classificação dos resultados segundo os tipos de mudanças tecnológicas ocorridas nas microrregiões do Nordeste está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Tipos de mudança tecnológica ocorridas nas microrregiões do Nordeste, no período de 1996 a 2006.

Tipo de mudança tecnológica	Microrregiões	
	Número	%
Poupadora de K	37	19,79
Poupadora de L	150	80,21
Total	187	100,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Após identificar o tipo de mudança tecnológica ocorrida, verificou-se que em 80% das microrregiões a tecnologia foi poupadora de trabalho. Somente em 37 microrregiões isso não ocorreu. O fato de a tecnologia poupadora de trabalho ter predominado não significa necessariamente dizer que o uso de tratores foi intensificado em todas as microrregiões, mas sim que o uso de tratores relativamente à mão-de-obra aumentou. Essa discussão será apresentada a seguir.

### 3.3 Impactos das mudanças na produção agropecuária no uso dos fatores de produção

Uma vez que ocorreram significativas mudanças nas funções de produção da agropecuária, pode-se identificar qual foi o impacto deste processo no uso relativo dos fatores de produção. Essa análise é feita utilizando-se os dados da Tabela 8.

Conforme discutido anteriormente, entre 1996 e 2006, a produção agropecuária do Nordeste foi marcada pela redução no uso de mão-de-obra e expansão do uso de terra e trator. Com isso, é de se esperar que as relações mão-de-obra/área e mão-de-obra/trator diminuam.

Além disso, uma vez que o aumento no uso de tratores foi pouco menor que a expansão da área dos estabelecimentos, a relação trator/área reduziu-se pouco, cerca de 1,4%.

Tabela 8: Mudanças no uso relativo dos fatores de produção utilizados na agropecuária do Nordeste, no período de 1996 a 2006.

Especificação	Unidade	1996	2006	Variação (%)
Trator/área	Unidade/1000 hectares	0,7405	0,7301	-1,40
Mão-de-obra/área	Pessoa/1000 hectares	109,59	95,56	-12,81
Mão-de-obra/trator	Pessoa/Unidade	148,01	130,89	-11,57

Fonte: IBGE – Censo Agropecuário (dados básicos).

Contudo, o que chama a atenção são as magnitudes das reduções nas relações envolvendo a mão-de-obra. Em apenas onze anos, o número de trabalhadores por trator utilizado na agropecuária diminuiu cerca de 11,6%. Nesse sentido, a introdução de tecnologias poupadoras de mão-de-obra se deu tanto devido ao aumento no número de tratores quanto à redução no uso do trabalho.

A permanência de êxodo rural em várias áreas do Nordeste nos últimos anos continua reduzindo a mão-de-obra no campo. Entretanto, resta saber se foi a redução de trabalhadores que induziu a utilização de tecnologias poupadoras de mão-de-obra ou foi a adoção dessas tecnologias que forçaram o êxodo rural.

Por fim, pode-se verificar como as mudanças recentes afetaram o uso da terra destinada à produção agropecuária. É importante ressaltar que as mudanças apresentadas na Tabela 9 não devem ser atribuídas exclusivamente ao tipo de progresso tecnológico na agropecuária nordestina. Outros fatores podem ter influenciado na tomada de decisão dos produtores na definição de qual atividade agropecuária realizar.

Tabela 9: Distribuição do uso da terra na produção agropecuária do Nordeste, nos períodos de 1996 e 2006. Dados em hectares.

Especificação	1996	2006	Variação (%)
Lavouras permanentes	2.649.493	5.236.654	97,65
Lavouras temporárias	20.411.065	16.977.971	-16,82
Pastagens	32.076.321	32.648.525	1,78
Matas e florestas	19.783.084	25.578.535	29,29
Total	74.919.963	80.441.685	7,37

Fonte: IBGE – Censo Agropecuário.

Apesar de outros fatores exercerem influência, o fato é que a distribuição das terras entre os usos alternativos teve significativa mudança. Conforme se pode observar, as áreas destinadas às lavouras permanentes e às matas e florestas tiveram aumentos significativos, enquanto a área destinada às pastagens aumentou pouco e a área de lavouras temporárias reduziu significativamente.

O expressivo aumento na área destinada às lavouras permanentes pode ser justificado pelo aumento no cultivo de frutas. Diversas regiões do Nordeste têm se especializado na produção de frutas voltadas, em grande parte, para a exportação. Já o aumento nas áreas de matas e florestas ocorreu, basicamente, pela expansão de matas plantadas, com destaque para o cultivo de eucalipto, bem como pelo fato de os produtos florestais serem de grande

importância econômica para a região, representando 18,8% da pauta de exportação nordestina em 2007. (CNA, 2008).

#### 4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, alguns pontos chamam a atenção. Destaque inicial se dá ao fato de que entre 1996 e 2006 praticamente metade das microrregiões do Nordeste tiveram perda de produtividade total de dois dos principais fatores de produção agrícola: trabalho e capital, este último representado pela mecanização da agricultura mediante uso de tratores. Se, por um lado, houve redução na composição da força de trabalho, por outro, ocorreu a elevação do uso de capital, proporcionando uma modificação tecnológica na alocação dos fatores de produção, como foi observado pelo Índice de Malmquist.

Embora se tenha observado redução no nível geral da eficiência técnica no uso dos fatores, as mudanças, por sua vez, geraram expressivos ganhos tecnológicos em todas as microrregiões, possibilitando aumento do valor da produção, principalmente nos estratos onde os ganhos de produtividade foram maiores.

Contraditoriamente, a Região Nordeste, que possui 46% da população sobrevivendo na zona rural, tem apresentado elevação em tecnologias poupadoras de trabalho e, conseqüentemente, prejudicando a geração de empregos rurais. Com isso, pode-se dizer que a expansão no uso de capital proporcionou redução da mão-de-obra empregada na produção agropecuária, uma vez que o aumento da produção ocorreu tanto pela substitutibilidade entre trabalho e capital como pelo aumento proporcionalmente maior da produtividade do trabalho, quase três vezes o aumento da produtividade do capital. Com isso, houve redução considerável no número de empregos no setor.

Sem dúvida que houve um *trade-off* entre adoção de tecnologia e emprego. Entretanto, resta identificar qual o sentido desta causalidade, isto é, se foi a modernização agrícola que expulsou o pessoal ou foi a falta de pessoal que forçou o uso de tecnologias mecânicas. Em outras palavras, a migração rural-urbana, verificada nas últimas décadas, teve como causa principal aspectos de expulsão do meio rural ou de atração do meio urbano?

Responder a esta questão não se trata de tarefa fácil. Diversos autores defendem que, com a aceleração do crescimento econômico fruto da estratégia de desenvolvimento urbano-industrial ocorrido no Brasil entre as décadas de 50 e 70, houve nítida evasão da mão-de-obra camponesa para os centros urbanos em busca de melhores condições de trabalho, favorecendo o efeito da atração das grandes cidades.

Em contraste, a partir do final da década de 70 e, principalmente, durante a década de 80, com o advento de sucessivas crises que desencadearam na redução das taxas de crescimento econômico e exportação, desencadeou-se um ambiente de desemprego urbano e queda na demanda por produtos agrícolas. Somado à rigidez da legislação trabalhista no campo, esses fatos aceleraram a substituição de mão-de-obra por máquinas, aumentando o desemprego agrícola. Com isso, o que se verificou nesse período foi a predominância das forças de expulsão, responsáveis pela diminuição do emprego rural.

Não se pode deixar de levar em consideração o interesse político dos países centrais na implantação da modernização agrícola, vislumbrando-se a expansão da demanda dos pacotes tecnológicos agrícolas por parte dos países periféricos. Segundo essa linha de pensamento, esse processo não possibilitou a substituição natural de fatores escassos na produção agrícola de países em desenvolvimento, mas promoveu a adoção maciça de uma nova política tecnológica intensiva em capital.

Independentemente do sentido da causalidade ou do fato de ter sido fruto de um processo natural ou forçado, um fato relevante que cabe a esta discussão é que, mesmo sendo



nítidos os movimentos migratórios para os centros urbanos, estes também não têm sido capazes de absorver toda a mão-de-obra excedente.

Desta forma, retorna-se ao paradigma já enfrentado pelos países desenvolvidos, que é a utilização de baixo contingente de mão-de-obra no setor agrícola. A despeito de discussões teóricas, é necessário gerar emprego, não só nas atividades urbanas, como também na agricultura. Contudo, dada a importância do setor na produção de alimentos e segurança alimentar, é preciso, também, que haja crescimento contínuo da produção, independente da forma como serão alocados os fatores.

Além disso, é preciso considerar que as alternativas para o crescimento da produção agropecuária podem e devem ser diferentes entre as regiões do Nordeste, levando-se em conta o impacto regional na distribuição da renda e emprego. Em outras palavras, é provável que políticas agrícolas diferenciadas entre as regiões sejam mais efetivas do que uma política global de crescimento da produção.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVES, D.W, CHRISTENSEN, L.R., DIEWERT, W.E. The economic theory of index numbers and the measurement of inputs, output and productivity. **Econometrica**, 50(6), p. 1393-1414, 1982.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE AGRICULTURA – CNA. **Agropecuária no Nordeste: uma visão geral**. Superintendência Técnica: 2008.

HICKS, J. R. **The theory of wages**. London: Macmillan, 1932. 261 p.

KRÜGER, J., CANTNER, U., HANUSCH, H. **Explaining international productivity differences**. University of Augsburg, 1998. 21 p.

LIMA, J.E. Definições e aplicações de elasticidades de substituição: revisão e aplicação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. 38, nº1, Jan/Mar 2000. P. 9-44.

MARINHO, E.L.L., BARRETO, F.A.F.D. **Análise da produtividade e progresso tecnológico dos estados do Nordeste**. Fortaleza: CENER, 2000. 30 p.

SHEPHARD, R.W. **Theory of cost and production functions**. Princeton: Princeton University Press, 1970.