

# Substituição de fatores produtivos na produção de soja em Mato Grosso

Área: Economia Regional e Agrícola

## Resumo

O trabalho tem por objetivo analisar as inter-relações entre os principais insumos utilizados no processo produtivo da cultura da soja convencional e transgênica em Mato Grosso e as suas possibilidades de substituição, por meio dos conceitos das elasticidades-preço da demanda, de Allen e de Morishima. O referencial teórico baseia-se na teoria da dualidade da função custo e da função de produção. Os dados são resultantes de uma pesquisa de campo realizada através da metodologia painel, nas cinco principais regiões produtoras do Mato Grosso. As variáveis analisadas e discriminadas são formadas por insumos, químicos, capital, terra, mão de obra, comercialização, e outros custos. As elasticidades-preço cruzadas mostraram que há complementaridade entre os fatores mão de obra e capital. Houve uma forte relação de complementaridade entre os fatores capital e mão-de-obra e de substituição entre os fatores químicos e mão-de-obra. Na classificação de Morishima, capital e mão-de-obra são complementares quando o preço de capital varia e substitutos quando varia o preço do fator mão-de-obra.

Palavras-chave: função custo *translog*; elasticidade de substituição; soja; Função de Produção/dualidade; Mato Grosso.

Classificação JEL: Q12; C31; D24

## Abstract

This paper analyzes the substitution relations between the main inputs used in soybean production in Mato Grosso to soybean and Genetically modified soybean, through the estimates of Allen and Morishima substitution elasticities. The theoretical approach used is the production/cost duality. The data was obtained from field research in the five main production regions in the country. Chemicals, capital, land, labor and other costs were the variables under study. The estimated cross-price elasticities pointed to complementary relations between labor and capital. The Allen partial substitution elasticities showed substitution between most of the production factors, but a strong complementarity relation was found between capital and labor. In the Morishima elasticity of substitution concept capital and labor were found to be complements when the price of capital varies and substitutes when the price of labor varies.

Key-Words: Translog Cost Function; substitution elasticities; soybean; production/cost duality; Mato Grosso.

JEL classification: Q12; C31; D24

## 1 Introdução

A importância do agronegócio para o crescimento econômico merece destaque devido à demanda internacional por alimentos, derivada basicamente três fatores: crescimento da população mundial, migração da área rural para a área urbana e aumento da renda *per capita* nos países em desenvolvimento. Em 2012, o PIB do agronegócio foi de R\$ 386 bilhões, representando, aproximadamente 30%, do PIB nacional, segundo dados do ministério da agricultura.

O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor mundial de soja, sendo responsável por aproximadamente 24% da oferta global do produto (FAO, 2011). Atualmente, os líderes mundiais na produção de soja são Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, Índia e Paraguai. A soja é um dos principais itens da pauta de exportações brasileiras. Em 2013 o país exportou, aproximadamente 26 milhões de toneladas de soja em grãos, 5,3 milhões de farelo de soja e 579.690 toneladas de óleo bruto e refinado. As exportações de soja representam aproximadamente 25,75% das exportações do agronegócio brasileiro, e 10,41% de nossas exportações totais, de acordo com dados da Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB, 2012).

A cadeia produtiva da soja é responsável por uma parcela significativa do PIB do agronegócio brasileiro, representada por empresas produtoras de máquinas, equipamentos e insumos agrícolas, propriedades agrícolas, indústrias de processamento, e demais agentes – exportadores, atacadistas, varejistas, entre outros – que operam na produção e distribuição do produtos e derivados da soja (FIGUEIREDO, 2003).

O Mato Grosso é o maior produtor nacional de soja, representando aproximadamente 29% de toda a produção nacional de soja em grãos. As exportações de soja em grãos representaram 54% das exportações nacionais em 2013. O valor bruto da produção de soja apresentou evolução de 23,9% no período de 2011 a 2012, demonstrando alavancagem dos anteriores 12 milhões (em 2011) para 15 milhões de toneladas.

A estimação da função custo para diferentes objetivos podem ser encontrada nos trabalhos de Lau e Yotopoulos (1971, 1972), Antle (1984), Albuquerque (1987), Garcia e Ferreira Filho (2004), Conte e Ferreira Filho (2007), Gomes e Ferreira Filho (2007), Ishii et alli (2007) e Bragagnolo et al (2011). Alguns como Antle (1984) utilizam-se de séries em painel, ao passo que a maior parte dos estudos brasileiros dedica-se a estudos em *cross-section*.

O objetivo deste trabalho foi identificar a estrutura de demanda de fatores de produção da cultura da soja matogrossense, assim como o trabalho de Antle (1984) que trabalha com séries de dados em painel. Buscou-se caracterizar a interdependência no mercado de fatores e as possibilidades de substituição dos recursos no processo produtivo. A análise da tecnologia foi feita através da estimação das elasticidades cruzadas, de Allen e de Morishima

## 2. Estratégia Empírica

A teoria da dualidade existente entre as funções de produção e custo estabelece que as informações economicamente relevantes referente ao processo de produção podem ser obtidas a partir da função custo (CHRISTENSEN; GREENE, 1976; CHAMBERS, 1998; ALVES, 1995; BAIRAM, 1998; BAIRAM; KALYA, 1998). As variáveis analisadas de insumos empregados na produção de soja no Mato Grosso utilizam-se da forma funcional flexível *translog* para a função custo, assumindo que representa o custo de produção como uma

função dos preços dos insumos e da quantidade produzida (LERDA, 1979; GOMES; ROSADO, 2005).

$$C^* = c(Y, P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (1)$$

Nesta função,  $C^*$  representa o custo mínimo de produção,  $Y$  é o nível de produção e  $P_n$  o preço dos insumos necessários ao nível de produção  $Y$ . Logaritmando-se a expressão (1) e expandindo-a através da série de Taylor de segunda ordem em torno de um vetor unitário, obtém-se a função custo transcendental logarítmica (*translog*), indicada na expressão seguinte:

$$\ln C^* = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \sum_i^n \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_i^n \sum_j^n \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i^n \beta_{iY} \ln Y + \frac{1}{2} \alpha_{YY} (\ln Y)^2 \quad (2)$$

Nesta função,  $\alpha$  são parâmetros estruturais da função de custo e os índices  $i$  e  $j$  fazem referência aos fatores de produção utilizados na estimação da função custo. A igualdade das derivadas parciais cruzadas, segundo o teorema de Young, implica em uma restrição de simetria aos parâmetros estruturais da função custo *translog*, resultando em  $\beta_{ij} = \beta_{ji}$  para todo  $i, j$  ( $i \neq j$ ), enquanto a condição de homogeneidade linear da função no vetor de preços requer que (LERNER, 1934; LIMA, 2000):

$$\sum_i^n \alpha_i = 1 \text{ e } \sum_i^n \beta_{ij} = \sum_i^n \beta_{ji} = \sum_i^n \beta_{iY} = \sum_i^n \beta_{Yi} = 0 \quad (3)$$

A função custo *translog* deve atender localmente a duas propriedades importantes da função custo: monotonicidade e concavidade. A monotonicidade da função será satisfeita se as parcelas de custo forem não-negativas, enquanto a concavidade será atendida se o hessiano da matriz resultante for semidefinido negativo. Satisfeitas estas condições, as funções demanda podem ser estimadas através da aplicação do lema de Shephard (BEATTIE; TAYLOR, 1985), segundo o qual a derivada parcial da função custo *translog* em relação ao preço do insumo é igual à quantidade demandada do fator considerado, ou seja:

$$\frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial C^*}{\partial P_i} \cdot \frac{P_i}{C^*} \quad (4)$$

segundo o lema de Shephard:  $\frac{\partial C^*}{\partial P_i} = X_i$  vem que:

$$\frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln P_i} = \frac{P_i X_i}{C^*} = S_i \quad (5)$$

Desta forma,  $S_i$  representa a parcela dos custos relacionada ao  $i$ -ésimo insumo. Tomando as derivadas parciais de (2) em relação a cada fator, temos:

$$\frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln P_i} = \alpha_i + \sum_i^n \beta_{iY} \ln Y + \ln P_j = S_i \quad (6)$$

O que constitui um sistema de  $n$ -equações de parcelas de custo. A solução desse sistema de equações fornecerá os parâmetros estruturais da função custo necessários ao cálculo das elasticidades, como proposto por Binswager (1974). As elasticidades-preço diretas ( $\eta_{ii}$ ) e cruzadas ( $\eta_{ij}$ ) são definidas como (BLACKORBY; RUSSEL, 1981; DIAS, 1982):

$$\eta_{ii} = \frac{\beta_{ii}}{S_i} + S_i - 1 \quad (7)$$

$$\eta_{ij} = \frac{\beta_{ij}}{S_i} + S_j \quad (8)$$

As elasticidades de substituição parcial de Allen ( $\sigma_{ij}$ ) podem ser definidas como:

$$\sigma_{ii} = \frac{1}{S_i^2} + (\beta_{ii} + S_i^2 - S_1) \quad (9)$$

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{S_i S_j} \beta_{ij} + 1 \quad (10)$$

Pode-se ainda definir uma outra medida de substitutibilidade, denominada de elasticidade de substituição de Morishima ( $\sigma_{ij}^M$ ), como apresentada por Chambers (1998):

$$\sigma_{ij}^M = S_j(\sigma_{ij} - \sigma_{jj}) = \eta_{ij} - \eta_{jj} \quad (11)$$

Pontos importantes nas relações de substitutibilidade merecem destaque. Primeiro, deve-se destacar que pela homogeneidade da demanda de insumo, tem-se que  $\sum_{i \neq j} \sigma_{ij} = -\sigma_{jj}$  e pela concavidade da função custo deve-se ter  $\sigma_{jj} \leq 0$ , logo  $\sum_{i \neq j} \sigma_{ij} \geq 0$  evidenciando que determinado insumo não pode ser Allen complementar a todos os demais insumos. Segundo, a elasticidade de Allen apresenta simetria, ou seja,  $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ , o mesmo não ocorrendo com a elasticidade de Morishima. Por fim, quando dois insumos são Allen substitutos, ( $\sigma_{ij} \geq 0$ ) também devem ser Morishima substitutos, ( $\sigma_{ij}^M > 0$ ). Entretanto, se eles forem complementares em Allen, ( $\sigma_{ij} < 0$ ), não necessariamente serão Morishima complementares ( $\sigma_{ij}^M < 0$ ), pois pode ocorrer que  $|\sigma_{ij}| < |\sigma_{jj}|$  e assim, serão substitutos pela definição de elasticidade de substituição de Morishima. A significância dos valores obtidos para as elasticidades será avaliada pelos erros padrões (*Se*) para cada elasticidade, conforme definido por Binswager (1974), onde:

$$Se_{\eta_{ij}} = \frac{Se_{\beta_{ij}}}{S_i} \quad (12)$$

$$t = \frac{\eta_{ij}}{Se_{\eta_{ij}}} \quad (13)$$

## 2.1. Procedimentos de estimação

O procedimento utilizado baseou-se na estimação de alguns dos parâmetros da função de custo total *translog*, a partir do sistema de “n” equações de parcelas de custo. Como os erros destas equações podem estar contemporaneamente correlacionados, o método utilizado na estimação deste sistema é o proposto por Zellner (1962), para equações aparentemente não-relacionadas (*Seemingly Unrelated Regression – SUR*). Além disto, uma vez que a soma das parcelas de custos é igual a um (1), torna-se necessário suprimir uma das equações do sistema a fim de evitar a singularidade da matriz de variâncias e covariâncias.

Esta metodologia, utilizada em trabalhos como os de Berndt e Wood (1975), Zagatto

(1991), Reis e Teixeira (1995), Rochelle e Ferreira Filho (1999); Ray (1982) é particularmente útil quando o objetivo da análise é o de se verificar as relações no mercado de fatores, mediante estimativa das elasticidades de substituição e elasticidades-preço direta e cruzada da demanda por fatores. Para tornar-se o modelo operacional, impõem-se as restrições teóricas de simetria e de homogeneidade, através da normalização da função de custo total *translog*. O problema da singularidade da matriz de variância e covariância dos erros das equações de parcela de custos é equacionado, deixando-se de fora a equação de parcela de custos de um dos fatores de produção. Estima-se, assim, o restante do sistema e obtêm-se os parâmetros excluídos por diferença.

## **2.2. Dados e caracterização socioeconômica das diferentes regiões produtoras de soja do Mato Grosso**

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos por meio de pesquisa de campo realizada nas cinco regiões produtoras do estado de Mato Grosso, no período de janeiro a dezembro. As informações foram coletadas tendo como base a metodologia *survey* dos sistemas de produção de soja em grãos, referentes às safras 2009/2010, 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14. O Mato Grosso está dividido em regiões produtoras: Médio Norte (Sorriso e demais municípios da região), Sudeste (Campo Verde e demais municípios da região), Nordeste (Canarana e demais municípios da região) Oeste (Sapezal e demais municípios da região, e Centro-Sul (Diamantino e demais municípios da região).

O instituto de Economia agropecuária de Mato Grosso (IMEA) utilizando-se da metodologia painel, realizou entrevistas com uma amostra de 10 produtores por região no distribuídos em cinco regiões produtoras, efetuando 43 levantamentos no período de 2009 a 2013, sendo 123 observações para soja convencional e 127 para soja transgênica, totalizando 250 observações. O objetivo foi a obtenção das variáveis econômicas e sociais que buscassem caracterizar os produtores de cada região. Realizou-se a pesquisa em sindicatos rurais conveniados, cooperativas, revendas de produtos agrícolas, e produtores situados em um único estabelecimento para discussão e fornecimento de informações referentes aos insumos de forma a simular uma propriedade que reunisse as características da região. As quantidades produzidas (produção) foram coletadas de acordo com a base de dados de estimativas de safras do IMEA para as regiões consideradas na amostra e respectivos municípios da região.

## **2.3. Descrição das variáveis**

A análise das variáveis dos custos de produção considerou desde o preparo do solo para o plantio até a colheita da soja. As variáveis consideradas foram: (I) insumos, (Q) químicos, (K) capital, (L) mão-de-obra, (T) terra, (C) comercialização e outros custos (O). Os preços dos fatores foram obtidos diretamente, através da pesquisa de campo realizada pelo Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária (IMEA), ou pela razão entre a despesa do fator e a quantidade utilizada.

Os custos são divididos em fixos e variáveis, considerando que os custos fixos são compostos pelos itens: manutenção periódica e depreciação (variável capital), seguro do capital fixo (variável outros) e custo da terra (variável terra). Os custos variáveis tem a composição dos seguintes itens: Sementes (variável Insumos), fertilizantes e defensivos (variável químicos), Mão de Obra (variável mão de obra), operações com máquinas (variável capital), assistência técnica (variável insumos), transporte da produção (variável

comercialização), beneficiamento (variável comercialização), armazenagem (variável comercialização), impostos (variável comercialização), juros do financiamento (variável capital) e despesas de comercialização (variável outros).

### **2.3.1. Insumos (I)**

Nesse item foram incluídos outros gastos que ocorrem na produção de soja: semente e tratamento de semente. Obteve-se o preço de aquisição da semente (R\$/kg de semente) diretamente da pesquisa de campo. Para os produtores de soja transgênica que utilizaram semente composta por preços de *royalties*, considerou-se o preço comercial do grão de soja, referente ao mês de outubro de 2012. Para os produtores de soja não transgênica e transgênica que efetuaram a compra de sementes foram considerados os preços comerciais de aquisição das sementes. Nos custos com tratamento de semente agregaram-se os gastos com inoculantes, micro nutrientes (cobalto e molibdênio), inseticidas e fungicidas. Obteve-se o preço pago pelo tratamento de semente (em R\$/kg de semente) pela divisão do gasto total com esses insumos (em R\$) pelo total de semente tratada utilizada (em kg).

### **2.3.2. Capital (K)**

O preço do capital foi determinado através da relação entre os fluxos de serviço do capital e o estoque de capital fixo (DIAS, 1982; GARCIA, 2004). Sobre o capital aplicado na produção incidiram os seguintes custos: juros e depreciação (amortização). As estimativas de depreciação foram efetuadas pelo método linear (BUARQUE, 1991). A vida útil das instalações foi estimada em 30 anos, com valor residual de 30%. A vida útil e o valor residual das máquinas foram estimados em 12 mil horas e 20% do valor inicial para os tratores, em 10 mil horas e 20% do valor inicial para as colheitadeiras e 8.000 horas e 10% do valor inicial para os equipamentos (distribuidor de calcário, pulverizador e semeadora), respectivamente (GADANHA et al, 1991).

A remuneração do capital em instalações e equipamentos foi feita pela taxa de juros obtida pelos produtores nas linhas de financiamento para investimento em máquinas e equipamentos agrícolas. Segundo Hoffmann *et al.* (1987), é comum calcular os juros sobre o valor médio do capital empregado na atividade. O valor médio do bem é a média aritmética entre o valor inicial e o valor residual do bem de capital. O fluxo de serviço do capital é calculado somando-se os custos de juros e depreciação (amortização). O estoque de capital fixo é obtido multiplicando o valor inicial (novo) de máquinas, equipamentos e instalações por sua porcentagem de uso.

Para o cálculo da variável operações com máquinas, as estimativas de conservação de máquinas e equipamentos foram efetuadas considerando-se uma taxa de manutenção de 50% sobre o valor inicial das máquinas (tratores e colheitadeiras), de 40% para distribuidores de calcário e pulverizadores e 80% para semeadoras. Calculou-se o consumo de combustível multiplicando-se a potência das máquinas pelo coeficiente 0,12. O valor obtido multiplicado pelo preço do combustível forneceu o preço do consumo do combustível, em R\$/hora.

### **2.3.3. Químicos (Q)**

Para composição dessa variável elaborou-se um índice considerando os gastos com herbicidas (dessecantes, pré e pós-emergentes), defensivos agrícolas (inseticidas, acaricidas, fungicidas e formicidas), adjuvantes, fertilizantes granulados e foliares. O índice foi composto por uma média ponderada, com fatores dados pelas parcelas de custo.

### 2.3.4. Mão de Obra (L)

A variável mão-de-obra foi composta pelos gastos com a mão-de-obra familiar e a contratada, incluindo os funcionários fixos nas propriedades e os temporários (diaristas). O preço da mão-de-obra (R\$/ hora) foi o quociente entre as despesas com este recurso (em R\$), incluindo os encargos sociais (45,42%) sobre o salário, e o número total de horas trabalhadas. Os gastos totais com mão-de-obra foram obtidos diretamente da pesquisa de campo.

### 2.3.5. Terra (T)

O valor do arrendamento foi considerado como uma *proxy* do preço da terra (R\$/ha). O custo dessa parcela foi calculado considerando a área total plantada com soja na propriedade e o preço do arrendamento.

### 2.3.6. Comercialização (C)

A variável comercialização da produção foi composta pelos gastos com transporte da produção, armazenagem, beneficiamento e impostos. O preço dos gastos com transporte da produção fornecido pelo Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária (IMEA) é decorrente do preço do frete em relação aos portos de destinos da produção: Paranaguá e Santos. Os gastos armazenagem e beneficiamento foram obtidos das empresas (plantas esmagadoras) responsáveis pelo processamento da soja e também por meio da pesquisa de campo realizada pelo IMEA. Os gastos com tributação representam a agregação dos impostos incidentes sobre a comercialização da soja: Fundo de Amparo a Cultura da Soja (FACS), Fundo Estadual de Habitação e Transporte (FETHAB), Imposto sobre propriedade rural (ITR) e o Funrural.

### 2.3.7. Outros custos (O)

Foram ser inclusos aqui os gastos com seguro do capital fixo e despesas administrativas que representam as demais despesas, decorrentes de gastos com material de escritório, honorários, entre outras.

## 2.4. Estimação do modelo

Os fatores de produção considerados foram insumos (I), químicos (Q), capital (K), mão-de-obra (L), terra (T), transporte e comercialização (C) e outros custos (O). O sistema de equações, sem restrições, composto pelas parcelas de custo é representado por:

$$\begin{aligned} \ln C^* = & \beta_I + \beta_Y \ln Y + \frac{1}{2} \gamma_{YY} (\ln Y)^2 + [\beta_I \ln P_I + \beta_Q \ln P_Q + \beta_K \ln P_K + \beta_L \ln P_L + \beta_T \ln P_T + \beta_C \ln P_C + \\ & \beta_O \ln P_O] + \frac{1}{2} [\gamma_{II} (\ln P_I)^2 + \gamma_{IQ} \ln P_I \ln P_Q + \gamma_{IK} \ln P_I \ln P_K + \gamma_{IL} \ln P_I \ln P_L + \gamma_{IT} \ln P_I \ln P_T + \\ & \gamma_{IC} \ln P_I \ln P_C + \gamma_{IO} \ln P_I \ln P_O] + \frac{1}{2} [\gamma_{QQ} (\ln P_Q)^2 + \gamma_{QK} \ln P_Q \ln P_K + \gamma_{QL} \ln P_Q \ln P_L + \gamma_{QT} \ln P_Q \ln P_T + \\ & \gamma_{QC} \ln P_Q \ln P_C + \gamma_{QO} \ln P_Q \ln P_O] + \frac{1}{2} [\gamma_{KK} (\ln P_K)^2 + \gamma_{KL} \ln P_K \ln P_L + \gamma_{KT} \ln P_K \ln P_T + \gamma_{KC} \ln P_K \ln P_C + \\ & \gamma_{KO} \ln P_K \ln P_O] + \frac{1}{2} [\gamma_{LL} (\ln P_L)^2 + \gamma_{LT} \ln P_L \ln P_T + \gamma_{LC} \ln P_L \ln P_C + \gamma_{LO} \ln P_L \ln P_O] + \frac{1}{2} [\gamma_{TT} (\ln P_T)^2 + \\ & \gamma_{TC} \ln P_T \ln P_C + \gamma_{TO} \ln P_T \ln P_O] + \frac{1}{2} [\gamma_{CC} (\ln P_C)^2 + \gamma_{CO} \ln P_C \ln P_O] + \frac{1}{2} [\gamma_{OO} (\ln P_O)^2] + \\ & [\gamma_{IY} \ln P_I \ln Y + \gamma_{QY} \ln P_Q \ln Y + \gamma_{KY} \ln P_K \ln Y + \gamma_{LY} \ln P_L \ln Y + \gamma_{TY} \ln P_T \ln Y + \gamma_{CY} \ln P_C \ln Y + \\ & \gamma_{OY} \ln P_O \ln Y +] \end{aligned} \quad (14)$$

$$S_I = \beta_I + \gamma_{II} \ln P_I + \gamma_{IQ} \ln P_Q + \gamma_{IK} \ln P_K + \gamma_{IL} \ln P_L + \gamma_{IT} \ln P_T + \gamma_{IC} \ln P_C + \gamma_{IO} \ln P_O + \gamma_{CY} \ln Y \quad (15)$$

$$S_Q = \beta_Q + \gamma_{QI} \ln P_I + \gamma_{QQ} \ln P_Q + \gamma_{QK} \ln P_K + \gamma_{QL} \ln P_L + \gamma_{QT} \ln P_T + \gamma_{QC} \ln P_C + \gamma_{QO} \ln P_O + \gamma_{QY} \ln Y \quad (16)$$

$$S_K = \beta_K + \gamma_{KI} \ln P_I + \gamma_{KQ} \ln P_Q + \gamma_{KK} \ln P_K + \gamma_{KL} \ln P_L + \gamma_{KT} \ln P_T + \gamma_{KC} \ln P_C + \gamma_{KO} \ln P_O + \gamma_{KY} \ln Y \quad (17)$$

$$S_L = \beta_L + \gamma_{LI} \ln P_I + \gamma_{LQ} \ln P_Q + \gamma_{LK} \ln P_K + \gamma_{LL} \ln P_L + \gamma_{LT} \ln P_T + \gamma_{LC} \ln P_C + \gamma_{LO} \ln P_O + \gamma_{LY} \ln Y \quad (18)$$

$$S_T = \beta_T + \gamma_{TI} \ln P_I + \gamma_{TQ} \ln P_Q + \gamma_{TK} \ln P_K + \gamma_{TL} \ln P_L + \gamma_{TT} \ln P_T + \gamma_{TC} \ln P_C + \gamma_{TO} \ln P_O + \gamma_{TY} \ln Y \quad (19)$$

$$S_C = \beta_C + \gamma_{CI} \ln P_I + \gamma_{CQ} \ln P_Q + \gamma_{CK} \ln P_K + \gamma_{CL} \ln P_L + \gamma_{CT} \ln P_T + \gamma_{CC} \ln P_C + \gamma_{CO} \ln P_O + \gamma_{CY} \ln Y \quad (20)$$

$$S_O = \beta_O + \gamma_{OI} \ln P_I + \gamma_{OQ} \ln P_Q + \gamma_{OK} \ln P_K + \gamma_{OL} \ln P_L + \gamma_{OT} \ln P_T + \gamma_{OC} \ln P_C + \gamma_{OO} \ln P_O + \gamma_{OY} \ln Y \quad (21)$$

As parcelas de gastos com químicos, capital, mão-de-obra, terra e outros custos são representadas por  $S_I, S_Q, S_K, S_L, S_T, S_C, S_O$ , respectivamente.  $Y$  é o nível da produção de soja (em toneladas) e  $P_I, P_Q, P_K, P_L, P_T, P_C, P_O$  são os preços dos insumos (em R\$).

As restrições de homogeneidade linear, dadas pelas equações (22) a (57) e as de simetria dadas pelas equações (58) a (63), são incorporadas ao sistema através da normalização das equações pelo preço da variável outros custos ( $P_O$ ):

$$\beta_I, \beta_Q, \beta_K, \beta_L, \beta_T, \beta_C, \beta_O = 1 \quad (22)$$

$$\gamma_{IY} + \gamma_{QY} + \gamma_{KY} + \gamma_{LY} + \gamma_{TY} + \gamma_{CY} + \gamma_{OY} = 0 \quad (23)$$

$$\gamma_{II} + \gamma_{IQ} + \gamma_{IK} + \gamma_{IL} + \gamma_{IT} + \gamma_{IC} + \gamma_{IO} = 0 \quad (24)$$

$$\gamma_{QQ} + \gamma_{QI} + \gamma_{QK} + \gamma_{QL} + \gamma_{QT} + \gamma_{QC} + \gamma_{QO} = 0 \quad (25)$$

$$\gamma_{KK} + \gamma_{KI} + \gamma_{KK} + \gamma_{KL} + \gamma_{KT} + \gamma_{KC} + \gamma_{KO} = 0 \quad (26)$$

$$\gamma_{LQ} + \gamma_{LI} + \gamma_{LK} + \gamma_{LL} + \gamma_{LT} + \gamma_{LC} + \gamma_{LO} = 0 \quad (27)$$

$$\gamma_{TQ} + \gamma_{TI} + \gamma_{TK} + \gamma_{TL} + \gamma_{TT} + \gamma_{TC} + \gamma_{TO} = 0 \quad (28)$$

$$\gamma_{CQ} + \gamma_{CI} + \gamma_{CK} + \gamma_{CL} + \gamma_{CT} + \gamma_{CC} + \gamma_{CO} = 0 \quad (29)$$

$$\gamma_{OQ} + \gamma_{OI} + \gamma_{OK} + \gamma_{OL} + \gamma_{OT} + \gamma_{OC} + \gamma_{OO} = 0 \quad (30)$$

$$\gamma_{QI} + \gamma_{II} + \gamma_{QI} + \gamma_{LI} + \gamma_{TI} + \gamma_{CI} + \gamma_{OI} = 0 \quad (31)$$

$$\gamma_{QQ} + \gamma_{QI} + \gamma_{QK} + \gamma_{LQ} + \gamma_{TQ} + \gamma_{CQ} + \gamma_{OQ} = 0 \quad (32)$$

$$\gamma_{QK} + \gamma_{KK} + \gamma_{LK} + \gamma_{TK} + \gamma_{CK} + \gamma_{OK} + \gamma_{IK} = 0 \quad (33)$$

$$\gamma_{QL} + \gamma_{KL} + \gamma_{LL} + \gamma_{TL} + \gamma_{CL} + \gamma_{OL} + \gamma_{IL} = 0 \quad (34)$$

$$\gamma_{QT} + \gamma_{KT} + \gamma_{LT} + \gamma_{TT} + \gamma_{CT} + \gamma_{OT} + \gamma_{IT} = 0 \quad (35)$$

$$\gamma_{QC} + \gamma_{KC} + \gamma_{LC} + \gamma_{TC} + \gamma_{CC} + \gamma_{OC} + \gamma_{IC} = 0 \quad (36)$$

$$\gamma_{QO} + \gamma_{KO} + \gamma_{LO} + \gamma_{TO} + \gamma_{CO} + \gamma_{OO} + \gamma_{IO} = 0 \quad (37)$$

$$\begin{aligned} &\gamma_{QQ} + \gamma_{QK} + \gamma_{QL} + \gamma_{QT} + \gamma_{QC} + \gamma_{QO} + \gamma_{QI} + \gamma_{KQ} + \gamma_{KL} + \gamma_{KK} + \gamma_{KT} + \gamma_{KC} + \gamma_{KO} + \gamma_{KI} + \\ &\gamma_{LQ} + \gamma_{LK} + \gamma_{LL} + \gamma_{LT} + \gamma_{LC} + \gamma_{LO} + \gamma_{LI} + \gamma_{TI} + \gamma_{TQ} + \gamma_{TK} + \gamma_{TL} + \gamma_{TT} + \gamma_{TC} + \gamma_{TO} + \\ &\gamma_{OI} + \gamma_{OQ} + \gamma_{OK} + \gamma_{OL} + \gamma_{OT} + \gamma_{OC} + \gamma_{OO} + \gamma_{OQ} + \gamma_{QK} + \gamma_{LQ} + \gamma_{TQ} + \gamma_{CQ} + \gamma_{OQ} + \gamma_{IQ} + \\ &\gamma_{QK} + \gamma_{KK} + \gamma_{LK} + \gamma_{TK} + \gamma_{CK} + \gamma_{OK} + \gamma_{IK} + \gamma_{IL} + \gamma_{QL} + \gamma_{KL} + \gamma_{LL} + \gamma_{TL} + \gamma_{CL} + \gamma_{OL} + \\ &\gamma_{QT} + \gamma_{KT} + \gamma_{LT} + \gamma_{TT} + \gamma_{CT} + \gamma_{OT} + \gamma_{IT} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\gamma_{QI} = \gamma_{IQ} \quad (39)$$

$$\gamma_{QK} = \gamma_{KQ} \quad (40)$$

$$\gamma_{QL} = \gamma_{LQ} \quad (41)$$

$$\gamma_{QT} = \gamma_{TQ} \quad (42)$$

$$\gamma_{QC} = \gamma_{CQ} \quad (43)$$

$$\gamma_{QO} = \gamma_{OQ} \quad (44)$$

$$\gamma_{KI} = \gamma_{IK} \quad (45)$$

$$\gamma_{KL} = \gamma_{LK} \quad (46)$$

$$\gamma_{KT} = \gamma_{TK} \quad (47)$$

$$\gamma_{KC} = \gamma_{CK} \quad (48)$$

$$\gamma_{KO} = \gamma_{OK} \quad (49)$$

$$\gamma_{LT} = \gamma_{TL} \quad (50)$$

$$\gamma_{LC} = \gamma_{CL} \quad (51)$$



$$\gamma_{LO} = \gamma_{OL} \quad (52)$$

$$\gamma_{TO} = \gamma_{OT} \quad (53)$$

$$\gamma_{TI} = \gamma_{IT} \quad (54)$$

$$\gamma_{LI} = \gamma_{IL} \quad (55)$$

$$\gamma_{CI} = \gamma_{IC} \quad (56)$$

$$\gamma_{OI} = \gamma_{IO} \quad (57)$$

Conforme já observado, como as parcelas dos gastos com os fatores químicos, capital, mão-de-obra, terra e outros custos somam-se à unidade ( $S_I + S_Q + S_K + S_L + S_T + S_C + S_O = 1$ ), é necessário, também, suprimir a equação da parcela de gastos com outros custos, para evitar uma matriz de covariância singular. O modelo a ser estimado com as restrições impostas fica, assim, composto do seguinte conjunto de equações:

$$S_I = \beta_I + \gamma_{II} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{IQ} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{IK} \ln\left(\frac{P_K}{P_O}\right) + \gamma_{IL} \ln\left(\frac{P_L}{P_O}\right) + \gamma_{IT} \ln\left(\frac{P_T}{P_O}\right) + \gamma_{IC} \ln\left(\frac{P_C}{P_O}\right) + \gamma_{QY} \ln Y \quad (58)$$

$$S_Q = \beta_Q + \gamma_{QI} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{QQ} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{QK} \ln\left(\frac{P_K}{P_O}\right) + \gamma_{QL} \ln\left(\frac{P_L}{P_O}\right) + \gamma_{QT} \ln\left(\frac{P_T}{P_O}\right) + \gamma_{QC} \ln\left(\frac{P_C}{P_O}\right) + \gamma_{QY} \ln Y \quad (59)$$

$$S_K = \beta_K + \gamma_{KI} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{KQ} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{KK} \ln\left(\frac{P_K}{P_O}\right) + \gamma_{KL} \ln\left(\frac{P_L}{P_O}\right) + \gamma_{KT} \ln\left(\frac{P_T}{P_O}\right) + \gamma_{KC} \ln\left(\frac{P_C}{P_O}\right) + \gamma_{KY} \ln Y \quad (60)$$

$$S_L = \beta_L + \gamma_{LI} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{LQ} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{LK} \ln\left(\frac{P_K}{P_O}\right) + \gamma_{LL} \ln\left(\frac{P_L}{P_O}\right) + \gamma_{LT} \ln\left(\frac{P_T}{P_O}\right) + \gamma_{LC} \ln\left(\frac{P_C}{P_O}\right) + \gamma_{LY} \ln Y \quad (61)$$

$$S_T = \beta_T + \gamma_{TI} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{TQ} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{TK} \ln\left(\frac{P_K}{P_O}\right) + \gamma_{TL} \ln\left(\frac{P_L}{P_O}\right) + \gamma_{TT} \ln\left(\frac{P_T}{P_O}\right) + \gamma_{TC} \ln\left(\frac{P_C}{P_O}\right) + \gamma_{TY} \ln Y \quad (62)$$

$$S_C = \beta_C + \gamma_{CI} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{CQ} \ln\left(\frac{P_Q}{P_O}\right) + \gamma_{CK} \ln\left(\frac{P_K}{P_O}\right) + \gamma_{CL} \ln\left(\frac{P_L}{P_O}\right) + \gamma_{CT} \ln\left(\frac{P_T}{P_O}\right) + \gamma_{CC} \ln\left(\frac{P_C}{P_O}\right) + \gamma_{CY} \ln Y \quad (63)$$

Os parâmetros excluídos do sistema são calculados por diferença de acordo com as expressões (64) a (72):

$$\beta_O = 1 - \beta_Q - \beta_K - \beta_L - \beta_T - \beta_I - \beta_C \quad (64)$$

$$\gamma_{OY} = -\gamma_{QY} - \gamma_{KY} - \gamma_{LY} - \gamma_{TY} - \gamma_{CY} - \gamma_{IY} \quad (65)$$

$$\gamma_{QO} = -\gamma_{QQ} - \gamma_{QK} - \gamma_{QL} - \gamma_{QT} - \gamma_{QC} - \gamma_{QI} \quad (66)$$

$$\gamma_{KO} = -\gamma_{KQ} - \gamma_{KK} - \gamma_{KL} - \gamma_{KT} - \gamma_{KC} - \gamma_{KI} \quad (67)$$

$$\gamma_{LO} = -\gamma_{LQ} - \gamma_{LK} - \gamma_{LL} - \gamma_{LT} - \gamma_{LC} - \gamma_{LI} \quad (68)$$

$$\gamma_{TO} = -\gamma_{TQ} - \gamma_{TK} - \gamma_{TL} - \gamma_{TT} - \gamma_{TC} - \gamma_{TI} \quad (69)$$

$$\gamma_{CO} = -\gamma_{CQ} - \gamma_{CK} - \gamma_{CL} - \gamma_{CT} - \gamma_{CC} - \gamma_{CI} \quad (70)$$

$$\gamma_{OO} = -\gamma_{OQ} - \gamma_{OK} - \gamma_{OL} - \gamma_{OT} - \gamma_{OC} - \gamma_{OI} \quad (71)$$

$$\gamma_{IO} = -\gamma_{IQ} - \gamma_{IK} - \gamma_{IL} - \gamma_{IT} - \gamma_{IC} - \gamma_{IO} \quad (72)$$

### 3. Discussão e Resultados

#### 3.1. Soja convencional

As parcelas de custo calculadas pela média aritmética da amostra foram todas positivas, o que garante a monotonicidade da função (TABELA 1). As maiores parcelas se referem a capital e terra e químicos (46%). A participação é expressiva desses dois componentes no custo de produção da soja convencional nas regiões amostradas.

**Tabela 1** – Parcelas de custos dos fatores de produção para a soja convencional nas regiões amostradas

Período	insumos	químicos	capital	mão de obra	terra	comercialização	outros custos
2008	5,70%	52,19%	14,22%	1,38%	14,03%	9,25%	3,22%
2009	7,02%	44,70%	16,53%	1,51%	15,11%	10,91%	4,23%
2010	7,37%	45,10%	17,88%	1,69%	12,84%	10,27%	4,84%
2011	6,79%	46,34%	14,74%	1,78%	15,22%	11,01%	4,12%
2012	6,74%	47,42%	12,65%	1,97%	16,32%	11,25%	3,66%
2013	6,20%	45,85%	12,63%	2,87%	17,01%	10,76%	4,68%
Média	6,64%	46,93%	14,78%	1,87%	15,09%	10,58%	4,12%

O sistema de produção de soja é praticamente todo mecanizado, o que justifica a elevada participação do capital na composição do custo de produção da cultura.

Os resultados das estimativas das funções para as parcelas de custo, com a imposição das restrições de homogeneidade linear e simetria são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Resultados da estimativa das equações parciais de custo da soja convencional, nas regiões amostradas.

Parcelas	Intercepto	LnP <sub>I</sub>	LnP <sub>Q</sub>	LnP <sub>K</sub>	LnP <sub>L</sub>	LnP <sub>T</sub>	LnP <sub>C</sub>	LnP <sub>O</sub>	lnY
SI	0,12503	0,05957	-0,02968	-0,00657	-0,00160	-0,00943	-0,00821	-0,00408	0,00081
SQ	0,07017	-0,03011	0,24517	-0,06193	-0,01879	-0,06838	-0,04201	-0,02437	0,00046
SK	0,21363	-0,00523	-0,06295	0,11728	-0,00437	-0,01857	-0,02300	-0,00283	-0,00119
SL	0,11525	-0,00494	-0,01116	-0,01044	0,02856	-0,00484	-0,00387	0,00492	-0,00078
ST	0,18760	-0,01248	-0,06906	-0,01604	-0,00363	0,12948	-0,01764	-0,01062	0,00025
SC	0,16487	-0,00698	-0,04958	-0,01463	-0,00514	-0,01725	0,10045	-0,00573	0,00008
SO	0,12345	0,00017	-0,02272	-0,00766	0,00497	-0,01100	-0,00573	0,04271	0,00036
Somatório	1	0	0	0	0	0	0	0	0

SI= parcela de custo referente aos insumos; SQ= parcela de custo referente aos químicos; SK = parcela de custo referente ao capital; SL= parcela de custo referente à mão-de-obra; ST = parcela referente à terra; SC= parcela de custo referente a comercialização; SO = parcela referente a outros custos; lnY= logaritmo da quantidade produzida; LnP<sub>Q</sub>= logaritmo do preço dos químicos; LnP<sub>K</sub> = logaritmo do preço do capital; LnP<sub>L</sub>= logaritmo do preço da mão-de-obra; LnP<sub>T</sub>= logaritmo do preço da terra e LnP<sub>O</sub>= logaritmo do preço de outros custos, calculado pela restrição de homogeneidade.

As estimativas das elasticidades-preço direta e cruzada da demanda de fatores para a produção de soja, nos estados amostrados, estão na Tabela 3. Os sinais negativos das elasticidades-preço diretas, que compõem a diagonal principal, confirmam a concavidade da função custo. O somatório igual a zero das elasticidades-preço direta e cruzada, em cada linha indica a imposição da restrição de homogeneidade linear da função custo.



Observa-se que a maior parte das elasticidades (TABELA 4) apresenta sinais positivos, indicando substituição entre os fatores de produção de soja. Isto era de se esperar, pois estes sinais são determinados pelas elasticidades cruzadas. Os fatores químicos e mão-de-obra e químicos e terra apresentam relação de substituição e demanda relativamente elástica.

Os fatores capital e terra, bem como capital e outros custos também são considerados substitutos no processo produtivo. O valor da elasticidade de substituição parcial de Allen entre capital e terra é menor que a unidade. Quando a relação preço do capital/preço da terra aumenta 1%, a quantidade relativa ótima (quantidade de terra/quantidade de capital) aumenta 0,98%.

Pelo fato (da Tabela 4) de ser simétrica, a mesma relação é válida para mão-de-obra e capital. Há uma forte relação de complementaridade entre esses dois fatores, pois a variação relativa na demanda de um fator é mais que proporcional à variação no preço relativo entre eles. Os fatores mão-de-obra e terra e químicos e outros custos também são complementares.

Os resultados para as elasticidades de substituição de Morishima estão na Tabela 5. Os valores representam as elasticidades de substituição do fator que se encontra na linha em relação ao fator da coluna, com variação do preço do fator da coluna. O conceito de Morishima não é simétrico e é menos restritivo, pois relaciona a variação nas quantidades relativas desses fatores com o ajuste ótimo de ambos para variações no preço de um deles. De acordo com a classificação de Allen, os fatores mão-de-obra e capital são complementares. Na classificação de Morishima, eles serão complementares quando o preço de capital variar e substitutos quando variar o preço do fator mão-de-obra

À medida que o preço da mão-de-obra aumenta, diminui a utilização de capital (comportamento complementar), porém isso também provoca o declínio na utilização da mão-de-obra devido à concavidade da função custo nos preços dos fatores, mas a uma taxa que faz com que a relação entre a utilização dos fatores capital/mão-de-obra cresça, o que evidencia a substituição. Esse efeito não é captado pelo conceito de Allen.

**Tabelas 5** – Estimativas das elasticidades de substituição parcial de Morishima entre fatores para produção de soja convencional, nas regiões amostradas

	Insumos	Químicos	Capital	Mão-de-obra	Terra	Comercialização	Outros Custos
Insumos		0,08375503	0,09676014	0,09770519	0,09630875	0,09686048	0,09755339
Químicos	0,37963824		0,47014996	0,47900222	0,46899054	0,47484315	0,47824023
Capital	0,20356738	0,20286868		0,20566839	0,20293849	0,20329897	0,20561413
Mão-de-obra	-0,8351518	-0,83515559	0,20566839		-0,8358758	-0,83555572	-0,83493321
Terra	0,13754641	0,13749248	0,1379348	0,13372352		0,05066263	0,05066263
Comercialização	0,05058101	0,05097478	0,05022738	0,04918664	0,05066263		0,05172878
Outros Custos	0,01295457	0,01297346	0,01303452	0,01366179	0,01293845	0,01293845	

### 3.2. Soja transgênica

As parcelas de custo calculadas pela média aritmética da amostra foram todas positivas, o que garante a monotonicidade da função (TABELA 6). As maiores parcelas se referem a capital (14,4%) e terra (15%) e químicos (44,7%). A participação é expressiva desses dois componentes no custo de produção da soja transgênica nos municípios amostrados. O sistema de produção de soja é praticamente todo mecanizado, o que justifica a elevada participação do capital na composição do custo de produção dessa cultura.

**Tabela 6 – Parcelas de custos dos fatores de produção para a soja transgênica nas regiões amostradas**

Período	insumos	químicos	capital	mão de obra	terra	comercialização	outros custos
2008	7,97%	45,74%	17,64%	1,85%	14,73%	8,15%	3,93%
2009	10,50%	44,01%	14,51%	1,21%	13,75%	10,82%	5,20%
2010	10,22%	43,35%	16,47%	1,49%	11,82%	10,60%	6,04%
2011	7,06%	44,73%	13,95%	2,24%	15,13%	11,20%	5,69%
2012	6,02%	45,23%	11,52%	2,33%	18,66%	11,85%	4,39%
2013	6,72%	45,41%	12,30%	3,09%	16,90%	10,78%	4,81%
Média	8,08%	44,75%	14,40%	2,04%	15,17%	10,56%	5,01%

Os resultados das estimativas das funções para as parcelas de custo de soja transgênica, com a imposição das restrições de homogeneidade linear e simetria são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7 - Resultados da estimativa das equações parciais de custo da soja transgênica, nas regiões amostradas**

Parcelas	Intercepto	lnP <sub>i</sub>	lnP <sub>q</sub>	lnP <sub>k</sub>	lnP <sub>L</sub>	lnP <sub>T</sub>	lnP <sub>c</sub>	lnP <sub>o</sub>	lnY
SI	0,14783	0,06773	-0,03983	-0,00784	-0,00545	-0,00999	-0,00596	0,00133	0,00053
SQ	0,05041	-0,04011	0,25322	-0,05484	-0,01420	-0,07442	-0,04258	-0,02737	0,00103
SK	0,20102	-0,01139	-0,05227	0,11365	-0,00237	-0,02344	-0,01800	-0,00716	-0,00100
SL	0,09553	0,00429	-0,01283	-0,01239	0,02611	-0,00244	-0,01000	0,00835	-0,00026
ST	0,20219	-0,01185	-0,07718	-0,01704	-0,00512	0,13767	-0,01773	-0,00966	0,00022
SC	0,15450	-0,01062	-0,04608	-0,01153	-0,00323	-0,01998	0,10162	-0,00736	-0,00009
SO	0,14852	0,00133	-0,02737	-0,00716	0,00835	-0,00966	-0,00736	0,04187	-0,00043
Somatório	1	0	0	0	0	0	0	0	0

SI= parcela de custo referente aos insumos; SQ= parcela de custo referente aos químicos; SK = parcela de custo referente ao capital; SL= parcela de custo referente à mão-de-obra; ST = parcela referente à terra; SC= parcela de custo referente a comercialização; SO = parcela referente a outros custos; lnY= logaritmo da quantidade produzida; lnP<sub>q</sub>= logaritmo do preço dos químicos; lnP<sub>k</sub> = logaritmo do preço do capital; lnP<sub>L</sub>= logaritmo do preço da mão-de-obra; lnP<sub>T</sub>= logaritmo do preço da terra e lnP<sub>o</sub>= logaritmo do preço de outros custos, calculado pela restrição de homogeneidade.

A maior parte das elasticidades-preço diretas resultou em valores menores que a unidade, indicando que a demanda dos fatores analisados é inelásticas. Em relação às elasticidades-preço cruzadas, o sinal positivo indica substituição entre fatores e o sinal negativo complementaridade.

As estimativas das elasticidades-preço direta e cruzada da demanda de fatores para a produção de soja, nos estados amostrados, estão na Tabela 8.

**Tabela 8 – Estimativas das elasticidades-preço diretas e cruzadas da demanda dos fatores para a produção de soja transgênica, nas regiões amostradas.**

Quantidade	Insumos	Químicos	Capital	Mão-de-obra	Terra	Comercialização	Outros Custos	Somatório
Insumos	-0,0036	-0,0802	0,0146	-0,0560	0,0295	0,0325	0,0632	0
Químicos	-0,0127	0,0100	0,0029	-0,0124	0,0047	0,0216	-0,0141	0
Capital	0,0088	0,0109	0,0573	-0,0012	-0,0274	-0,0346	-0,0139	0
Mão-de-obra	-0,2248	-0,3138	-0,0081	0,4462	0,0319	-0,4333	0,5018	0
Terra	0,0131	0,0131	-0,0201	0,0035	-0,0031	0,0067	-0,0132	0
Comercialização	0,0210	0,0880	-0,0369	-0,0697	0,0097	0,0075	-0,0196	0
Outros Custos	0,1028	-0,1442	-0,0373	0,2034	-0,0485	-0,0494	-0,0268	0

Os sinais negativos das elasticidades-preço diretas que compõem a diagonal principal, confirmam a concavidade da função custo. O somatório igual a zero das elasticidades-preço direta e cruzada, em cada linha indica a imposição da restrição de homogeneidade linear da função custo.

Observa-se que mão-de-obra e capital são fatores complementares: o aumento no preço de um fator leva à redução na demanda do outro fator. Terra e mão-de-obra e químicos e outros custos também apresentaram complementaridade entre si. Nota-se relação de substituição entre todos os demais pares de fatores produtivos: químicos e capital, químicos e mão-de-obra, químicos e terra, capital e terra, capital e outros custos, mão-de-obra e outros custos e terra e outros custos. A relação de substituição indica que, à medida que o preço de um fator aumenta, o fator substituto é mais intensamente utilizado (ROCHELE e FERREIRA FILHO, 1999).

Os resultados das elasticidades de substituição parcial de Allen entre fatores estão na Tabela 9. Os valores fora da diagonal principal são simétricos e o valor positivo indica substituição entre fatores e o sinal negativo indica complementaridade. Na diagonal principal os valores referem-se às elasticidades de substituição diretas. Os sinais negativos das elasticidades de substituição diretas confirmam a concavidade da função custo.

**Tabelas 9** – Estimativas das elasticidades de substituição parcial de Allen entre fatores para produção de soja transgênica, nas regiões amostradas

Quantidade	Preço dos fatores						
	Insumos	Químicos	Capital	Mão-de-obra	Terra	comercialização	Outros Custos
Insumos	-0,04894921	0,749	0,98703067	0,99864114	0,9774628	0,99077119	10008147
Químico		0,02164226	0,98560208	0,9994386	0,97335092	0,98953298	0,99733043
Capital			0,47215825	0,99964313	0,96803308	0,98314212	0,99733969
Mão-de-obra				24400309	0,97786128	0,93780852	10206027
Terra					-0,0186865	0,93780852	0,9973689
Comercialização						0,06585523	0,99708071
Outros Custos							-0,59327665

Observa-se que a maior parte das elasticidades (TABELA 9) apresentam sinais positivos, indicando substituição entre os fatores de produção de soja. Isto era de se esperar, pois estes sinais são determinados pelas elasticidades cruzadas. Os fatores químicos e mão-de-obra e químicos e terra apresentam relação de substituição e demanda relativamente elástica.

Os fatores capital e terra, bem como capital e outros custos também são considerados substitutos no processo produtivo. O valor da elasticidade de substituição parcial de Allen entre capital e terra é menor que a unidade. Mão-de-obra e capital são complementares na produção de soja. Para um aumento relativo de 1% no preço do capital, a razão quantidade de capital/mão-de-obra se reduz em 1,84%. Pelo fato da Tabela 9 ser simétrica, a mesma relação é válida para mão-de-obra e capital. Há uma forte relação de complementaridade entre esses dois fatores, pois a variação relativa na demanda de um fator é mais que proporcional à variação no preço relativo entre eles. Os fatores mão-de-obra e terra e químicos e outros custos também são complementares.

Os resultados para as elasticidades de substituição de Morishima são apresentados na Tabela 10. Os valores representam as elasticidades de substituição do fator que se encontra na linha em relação ao fator da coluna, com variação do preço do fator da coluna. O conceito

de Morishima não é simétrico e é menos restritivo, pois relaciona a variação nas quantidades relativas desses fatores com o ajuste ótimo de ambos para variações no preço de um deles. À medida que o preço da mão-de-obra aumenta, diminui a utilização de capital (comportamento complementar), porém isso também provoca o declínio na utilização da mão-de-obra devido à concavidade da função custo nos preços dos fatores, mas a uma taxa que faz com que a relação entre a utilização dos fatores capital/mão-de-obra cresça, o que evidencia substituição.

**Tabelas 10** – Estimativas das elasticidades de substituição parcial de Morishima entre fatores para produção de soja transgênica, nas regiões amostradas

	Insumos	Químicos	Capital	Mão-de-obra	Terra	Comercialização	Outros Custos
Insumos		0,05855413	0,07602101	0,07687299	0,07531891	0,07629549	0,07703249
Químicos	0,33638765		0,44581113	0,45221023	0,44014522	0,44762909	0,45123524
Capital	0,06252103	0,06234755		0,06405256	0,06021415	0,06204884	0,06377285
Mão-de-obra	-0,42797394	-0,42795935	0,06405256		-0,42835396	-0,42908645	-0,4275723
Terra	0,16497469	0,16429371	0,16341301	0,16504068		0,10482716	0,10482716
Comercialização	0,10516144	0,10502066	0,10429403	0,09913967	0,10482716		0,10587882
Outros Custos	0,07191133	0,07175415	0,07175456	0,07280398	0,07175588	0,07175588	

#### 4. Considerações Finais

Este trabalho buscou estimar as parcelas de custo para a produção de soja para o estado de Mato Grosso na forma de painel, através do modelo de custo *translog*. As despesas com os fatores capital e químicos representaram as maiores parcelas dos custos de produção. As estimativas das elasticidades-preço diretas indicaram que os fatores considerados possuem demanda inelástica, com exceção de outros custos. A demanda por terra foi a mais sensível às variações no preço. As elasticidades-preço cruzadas mostraram que há complementaridade entre os fatores mão-de-obra e capital. A relação de substituição predominou entre os demais fatores produtivos.

As elasticidades de substituição parcial de Allen indicaram substituição entre a maior parte dos fatores de produção de soja. Houve uma forte relação de complementaridade entre os fatores capital e mão-de-obra e de substituição entre os fatores químicos e mão-de-obra. Na classificação de Morishima, capital e mão-de-obra são complementares quando o preço de capital varia e substitutos quando varia o preço do fator mão-de-obra.

## REFERENCIAS

- ALBUQUERQUE, M.C.C.. Uma análise translog sobre mudança tecnológica e efeitos de escala: um caso de modernização eficiente. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v.1, n. 17, p. 191-220, 1987.
- ANTLE, J.M. The structure of U.S. Agricultural Technology, 1910-78. **American Journal of Agricultural Economics**, Malden, v. 66, N. 4, p. 414-421, novembro, 1984.
- BINSWANGER, Hans P.. A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Factor Demand. **American Journal of Agricultural Economics**, Malden, v.53, p. 377-386, 1974.
- ALVES, E. (1995) **A função custo**. Piracicaba: ESALQ, DESR, 1995. 99 p. (Série didática, 102).
- BAIRAM, E.I. (1998) (Ed.). **Production and cost functions: specification, measurement and applications**. Vermont: Ashgate Publ., 1998. 132 p.
- BAIRAM, E.I.; KALYA, E. (1998). Production versus cost functions: unreliability of the duality theorem in accounting and economics. In: BAIRAM, E.I. (Ed.). **Production and cost functions: specification, measurement and applications**. Vermont: Ashgate Publ., 1998. p. 42-53.
- BEATTIE, B.R.; TAYLOR, C.R. (1985) **The economics of production**. New York: John Wiley, 1985. 258 p.
- BERNDT, E.R.; WOOD, D.O. (1975). Technology, prices and the derived demand for energy. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 57, n. 3, p. 259-268, Aug. 1975.
- BINSWANGER, H.P. (1974) A cost function approach to the measurement of elasticities of factor demand and elasticities of substitution. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 56, p. 377– 386, May 1974.
- BLACKORBY, C; RUSSEL, R.R. The Morishima elasticity of substitution, symmetry, constancy, separability and its relationship to the Hicks and Allen elasticities. **Review of Economic Studies**, Bristol, v.48, p. 147-158, 1981.
- BRAGAGNOLO, C.; MIQUELETO, G. J.; PAVÃO, A. R.; B DE SF FILHO, J.; GOMES, A. L. Elasticidades de substituição e de preços na produção de leite. *Revista de Política Agrícola*, 20(2), 119-130. 2011.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Alice Web**. Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/alice.asp>. Acesso em: 12 jul. 2005.
- BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 266 p.
- CHAMBERS, R. G. **Applied production analysis: a dual approach**. New York: Cambridge University Press, 1998. 331 p.
- CHRISTENSEN, L.R.; GREENE, W.H. Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 84, n. 4, p. 655-676, 1976.
- CONTE, L. ; FERREIRA FILHO, J. B. S. . Substituição de fatores produtivos na produção de soja no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, p. 475, 2007
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.com.br/>. Acesso em: 15 set. 2005.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Disponível em: <http://www.cna.org.br/>. Acesso em: 15 set. 2005.
- DE MORAES, G.I.; LOURES, A.R. Função custo e substituição entre insumos na agropecuária para os municípios de Minas Gerais. In: **Anais do XV Seminário sobre economia mineira**, Diamantina, 2012.
- DIAS, R.S. **Elasticidade de substituição e de demanda de fatores na agricultura**



- brasileira**. 1982. 58 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.
- FAO. **Statistical databases**. Disponível em: <http://www.fao.org/>. Acesso em: 21julho. 2013.
- FIGUEIREDO, M. G. de. **Agricultura e estrutura produtiva do Estado do Mato Grosso: uma análise insumo-produto**. 187p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.
- GADANHA, D.C.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YAHN, C.H.; TOMIMORI, S.M.A.W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: IPT, 1991. 468 p.
- GARCIA, L.A.F. **Economias de escala na produção de frangos de cortes no Brasil**. 2004. 114 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- GOMES, M.F.M.; ROSADO, P.L. Mudança na produtividade dos fatores de produção da cafeicultura nas principais regiões produtoras do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 633-655, out/dez. 2005.
- GOMES, A. L. ; FERREIRA FILHO, J. B. S. . Economias de escala na produção de leite: uma análise dos estados de Rondônia, Tocantins e Rio de Janeiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, p. 591-620, 2007.
- GREENE, W.H. **Econometric analysis**. 4th ed. Inc. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2000. 1004 p.
- HOFFMANN, R.; ENGLER, J.J. de C.; SERRANO, O. **Administração da empresa agrícola**. 2.ed. São Paulo: Pioneira, 1987. 325 p.
- IBGE. Instituto brasileiro de geográfica e estatística. Sistema de dados agregado de recuperação automática: quantidades produzidas de soja (SIDRA). 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 01.08.2013
- IMEA. Instituto matogrossense de pesquisa agropecuária. Custos de produção de soja para Mato Grosso. Disponível em: <<http://www.imea.com.br>>. Acesso em 01.08.2013.
- ISHII, K.S.; SOUZA, M.J.P.; FERREIRA FILHO, J.B.S.. A Oferta e a Estrutura de Demanda de Fatores de Produção da Sojicultura Brasileira: O Modelo da Função Lucro Translog. . In: **Anais do Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 2007**, Londrina, 2007.
- LAU, L. J.& YOTOPOULOS, P.A. A test for relative Efficiency and an application to Indian agriculture. **American Economic Review**, v. 61, p.94-109, março, 1971.
- \_\_\_\_\_. Profit, supply and factor demand functions. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 54, n. 1, p.11-18, fevereiro,1972.
- HOFFMANN, R.; ENGLER, J.J. de C.; SERRANO, O. **Administração da empresa agrícola**. 2.ed. São Paulo: Pioneira, 1987. 325 p.
- LERDA, J.C. Resultados básicos na teoria da dualidade: vantagens e alguns usos em microeconomia. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p.101 – 133, jan./abr. 1979.
- LERNER, A.P. The question of symmetry. **Review of Economic Studies**, Bristol, v. 1, p.147-148, 1934.
- LIMA, J.E. de. Definições de elasticidades de substituição: revisão e aplicação. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 9-44, jan./mar. 2000.
- MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. 100 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- PARRÉ, J.L.; FERREIRA FILHO, J.B.S. Estudo da tecnologia utilizada na produção de soja no Estado de São Paulo. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v.6, n.11, p.7-18, nov. 1998.

- PARRÉ, J.L.; FERREIRA FILHO, J.B.S. Estudo da tecnologia utilizada na produção de soja no Estado de São Paulo. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v.6, n.11, p.7-18, nov. 1998.
- RAY, S.C. A translog cost function analysis of U.S agriculture, 1939-77. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 56, p. 490-498, 1982.
- REIS, R.P.; TEIXEIRA, E.C. Estrutura de demanda e substituição de fatores produtivos na pecuária leiteira: o modelo de custo *translog*. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 49, n. 3, p.545-554, jul/set. 1995.
- ROCHELLE, T.C.P.; FERREIRA FILHO, J.B.S. Função de custo *translog* e o mercado de fatores para o algodão no Estado de São Paulo: o caso da DIRA de Campinas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 37, n. 2, p.77-95, abr./jun. 1999.
- UZAWA, H. Production functions with constant elasticities of substitution. **Review of Economics Studies**, Clevedon, v.29, n. 81, p. 291-299. 1962.
- ZAGATTO, L.C.A.G. **Estrutura produtiva de pequenos agricultores e implicações para a geração e adoção de tecnologia**. 1991. 122p. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- ZELLNER, A. Na efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregattion bias. **Journal of the American Statistical Association**. New York, n. 57, p. 349-368, June 1962.