

5 Aplicação em uma usina fictícia de Biodiesel

5.1. Metodologia

Com base no entendimento do processo produtivo do Biodiesel, foram selecionadas três oleagionosas (soja, mamona e algodão) como possíveis insumos. Com isso, avaliou-se o ganho proveniente da flexibilidade que um produtor fictício de Biodiesel à base de soja tem ao escolher, numa base mensal, qual oleaginosa irá utilizar em seu processo de produção. Além dessa flexibilidade de escolha dos grãos, foi também inserida no modelo a possibilidade de venda a mercado do óleo extraído na prensagem, em vez de sua utilização na produção do Biodiesel via processo de transesterificação. Essa opção de venda do óleo extraído, por exemplo, pode ser exercida pelo produtor nos momentos em que o fluxo de caixa decorrente da venda do óleo for maior do que os fluxos decorrentes do Biodiesel e glicerina produzidos, dadas oscilações significativas dos preços de mercado dos óleos. A escolha do reagente (etanol ou metanol) ficou restrita ao etanol somente, dada a ausência de uma série de preços nacional para o metanol que proporcionasse uma sólida análise de preços históricos, tendências e volatilidade.

O ganho do produtor fictício foi medido em termos do fluxo de caixa resultante para cada 1000 litros de Biodiesel produzido, numa base mensal. Como a Bahia responde por quase 80% da produção nacional da mamona (conforme relatou-se no Capítulo 4) e também tem tradição agrícola na produção de soja, algodão e mamona, utilizou-se a localização da usina fictícia na região baiana como premissa principal deste estudo. Esse artifício contribui para minimizar o impacto de eventuais custos de transporte regionais para tais insumos.

Assumimos também que o preço de mercado do Biodiesel independe do insumo a partir do qual foi produzido. Dada a negociação recente do Biodiesel no mercado brasileiro, os preços considerados para o Biodiesel nos fluxos de caixa

foram estimados com base nos últimos leilões promovidos pelo Governo, aliados a premissas de crescimento do mercado e expectativas inflacionárias.

A modelagem também parte da premissa que o preço da glicerina atingirá patamares muito baixos, devido ao excesso de oferta da mesma decorrente da produção do Biodiesel. O fluxo de caixa positivo devido à glicerina foi, portanto, desprezado no cálculo da opção.

O preço da torta de mamona, subproduto do esmagamento daquele grão, será mantido constante ao longo de cada ano projetado, sendo atualizado de acordo com as previsões de inflação consideradas. Esse procedimento foi devido à não existência de um mercado interno suficiente para análise de preços históricos, tendências e volatilidade. Quanto ao prazo de exercício da opção, foi considerado que há flexibilidade suficiente na indústria e fornecimento disponível para que a opção possa ser exercida mensalmente.

Os Processos Estocásticos utilizados na modelagem dos preços das variáveis foram o MRM e o MGB. Essa escolha foi confirmada pela forte tendência dos preços reverterem para uma média de longo prazo, como será mostrado a seguir. De forma a possibilitar uma análise comparativa de processos estocásticos, modelou-se adicionalmente os preços pelo MGB.

Os subcapítulos a seguir detalham a Metodologia descrita.

5.2. Modelagem do processo produtivo do Biodiesel

O Modelo de Fluxo de Caixa proposto por este trabalho leva em conta a quantidade necessária de cada grão (em toneladas) para produção de 1000 litros de Biodiesel. Esse valor depende, fundamentalmente, do teor de óleo e da eficiência de extração de óleo por grão. A mamona possui maior produtividade na obtenção do óleo vegetal, quando comparada à soja e ao algodão, porém e conseqüentemente, possui menor produtividade de farelo (torta) gerado como subproduto do processo de esmagamento, o que impacta o fluxo financeiro gerado pela negociação de tais subprodutos. A **Tabela 2** a seguir mostra as produtividades dos grãos soja e mamona, além de outras informações físicas relevantes.

Tabela 2 - Produtividade de grãos para obtenção de óleo.

Matéria Prima	Capacidade (Kg/ha)	Óleo no Grão	Eficiência (Extração)	Óleo Produzido			Farelo Produzido		
		%	%	% peso	(Kg/ha)	(L/ha)	% peso	(Kg/ha)	óleo % peso
Soja	76	18	66	12	9,0	9,8	86	65,4	7,11
Amendoim	30	35	83	29	8,7	9,5	69	20,7	8,62
Girassol	60	35	83	29	17,4	18,2	68	41,0	8,71
Mamona	40	40	75	30	12,0	13,1	68	27,2	14,70
Gergelim	60	60	75	45	27,0	29,4	53	31,8	28,30
Algodão	30	16	69	11	3,3	3,6	82	24,6	6,05
Babaçu	50	60	75	45	22,5	24,6	53	26,5	28,30
Cacau	50	40	85	34	17,0	18,5	64	32,0	9,37
Castanha	40	45	66	30	11,8	12,9	67	26,8	22,84
Cupuaçu	40	25	76	19	7,6	7,8	79	31,6	7,59

Fonte: TERRA VIVA (1999). $1 \text{ hectare (ha)} = 10.000 \text{ m}^2$

Segundo SANTOS (2007) e DANTAS (2006), as densidades do Biodiesel etílico produzido através da soja, da mamona e do algodão, são, respectivamente, 0,922 kg/l, 0,961 kg/l e 0,876 kg/l. A densidade considerada para o etanol foi de 0,79 kg/l.

Com os dados de eficiência de extração de óleo, densidades do Biodiesel, densidade do etanol e conhecendo as reações químicas de produção do Biodiesel (**Figura 6**), foram montadas as seguintes reações químicas para a produção de 1000 litros de Biodiesel à base de soja, mamona e algodão, tendo o etanol como reagente:

Soja

$$123,40 \text{ sacas de } 60 \text{ kg} \rightarrow 6,52 \text{ ton farelo} + 0,88 \text{ ton óleo} \quad (19)$$

$$0,88 \text{ ton óleo} + 163,39 \text{ l etanol} \rightarrow 1000 \text{ l Biodiesel} + 86,67 \text{ kg glicerina} \quad (20)$$

Mamona

$$50,93 \text{ sacas de } 60 \text{ kg} \rightarrow 2,14 \text{ ton farelo} + 0,92 \text{ ton óleo} \quad (21)$$

$$0,92 \text{ ton óleo} + 170,30 \text{ l etanol} \rightarrow 1000 \text{ l Biodiesel} + 90,33 \text{ kg glicerina} \quad (22)$$

Algodão

$$504,65 \text{ arrobas} \rightarrow 6,73 \text{ ton farelo} + 0,84 \text{ ton óleo} \quad (23)$$

$$0,84 \text{ ton óleo} + 155,24 \text{ l etanol} \rightarrow 1000 \text{ l Biodiesel} + 82,34 \text{ kg glicerina} \quad (24)$$

O Biodiesel e a glicerina produzidos são muito semelhantes quimicamente, independente do grão utilizado, premissa confirmada por VALE & SILVA (2007), ao comparar as características físico-químicas do Biodiesel produzido a partir de diferentes oleaginosas. Partindo-se desse pressuposto e considerando-se as reações químicas de produção apresentadas, é possível montar os fluxos de caixa (em R\$) para a produção de 1000 litros de Biodiesel a partir de cada um dos dois insumos analisados.

Na produção e venda de 1000 litros de Biodiesel utilizando soja, mamona ou algodão como insumos, os fluxos de caixas resultantes da utilização de soja, mamona e algodão, separadamente, num mês t , comportam-se, respectivamente, de acordo com as Equações (25), (26) e (27) a seguir:

$$FC_{\text{Biodiesel}} = \text{Receitas}_{\text{Biodiesel}} - \text{Custos}_{\text{Biodiesel}}$$

$$FC_{B_s}(t) = [1000 \times P_B(t) + 6,52 \times P_{F_s}(t) + 0,087 \times P_g(t)] - [163,39 \times P_e(t) + 123,40 \times P_s(t)] \quad (25)$$

$$FC_{B_m}(t) = [1000 \times P_B(t) + 2,14 \times P_{F_m}(t) + 0,090 \times P_g(t)] - [170,30 \times P_e(t) + 50,93 \times P_m(t)] \quad (26)$$

$$FC_{B_a}(t) = [1000 \times P_B(t) + 6,73 \times P_{F_a}(t) + 0,082 \times P_g(t)] - [155,24 \times P_e(t) + 504,65 \times P_a(t)] \quad (27)$$

Onde:

$P_B(t)$ Preço do Biodiesel (R\$/litro), no mês t .

$P_{F_s}(t)$ Preço do farelo/torta de soja (R\$/ton), no mês t .

$P_{F_m}(t)$ Preço do farelo/torta de mamona (R\$/ton), no mês t .

$P_{F_a}(t)$ Preço do farelo/torta de algodão (R\$/ton), no mês t .

$P_g(t)$ Preço da glicerina (R\$/ton), no mês t .

$P_e(t)$ Preço do etanol (R\$/litro), no mês t .

$P_s(t)$ Preço do grão de soja (R\$/saca 60 kg), no mês t .

$P_m(t)$ Preço da baga de mamona (R\$/saca 60 kg), no mês t .

$P_a(t)$ Preço do caroço de algodão (R\$/arroba), no mês t .

O produtor tem alternativamente a opção de vender o óleo decorrente da prensagem da oleaginosa escolhida, em vez de utilizá-lo na produção do Biodiesel. Para cada uma das oleaginosas utilizadas, os fluxos de caixas resultantes da utilização de soja, mamona e algodão, separadamente, num mês t ,

para a produção e venda de óleo bruto, comportam-se, respectivamente, de acordo com as Equações (28), (29) e (30) a seguir:

$$FC_{\text{Óleo Bruto}} = \text{Receitas}_{\text{Óleo Bruto}} - \text{Custos}_{\text{Prensagem}}$$

$$FC_{O_s}(t) = [0,88 \times P_{O_s}(t) + 6,52 \times P_{F_s}(t)] - 123,40 \times P_s(t) \quad (28)$$

$$FC_{O_m}(t) = [0,92 \times P_{O_m}(t) + 2,14 \times P_{F_m}(t)] - 50,93 \times P_m(t) \quad (29)$$

$$FC_{O_a}(t) = [0,84 \times P_{O_a}(t) + 6,73 \times P_{F_a}(t)] - 504,65 \times P_a(t) \quad (30)$$

Onde:

$P_{O_s}(t)$ Preço do óleo de soja (R\$/ton) , no mês t.

$P_{O_m}(t)$ Preço do óleo de mamona (R\$/ton) , no mês t.

$P_{O_a}(t)$ Preço do óleo de algodão (R\$/ton) , no mês t.

$P_{F_s}(t)$ Preço do farelo/torta de soja (R\$/ton) , no mês t.

$P_{F_m}(t)$ Preço do farelo/torta de mamona (R\$/ton) , no mês t.

$P_{F_a}(t)$ Preço do farelo/torta de algodão (R\$/ton) , no mês t.

$P_s(t)$ Preço do grão de soja (R\$/saca 60 kg) , no mês t.

$P_m(t)$ Preço da baga de mamona (R\$/saca 60 kg) , no mês t.

$P_a(t)$ Preço do caroço de algodão (R\$/arroba) , no mês t.

5.3.

Processos estocásticos dos preços dos insumos do Biodiesel

A escolha do processo estocástico mais adequado para a modelagem do comportamento de uma variável é um desafio recorrente na literatura de Opções Reais. Com o objetivo de esclarecer essa questão, DIAS (2005) apresenta um teste para rejeição do MGB a favor do MRM. Esse teste baseia-se na regressão linear simples entre o retorno logaritmo (natural) dos preços da variável em relação ao nível corrente do logaritmo do preço da variável, na tentativa de encontrar indícios de que o retorno depende do nível de preços corrente. A Equação (31) representa a equação de regressão.

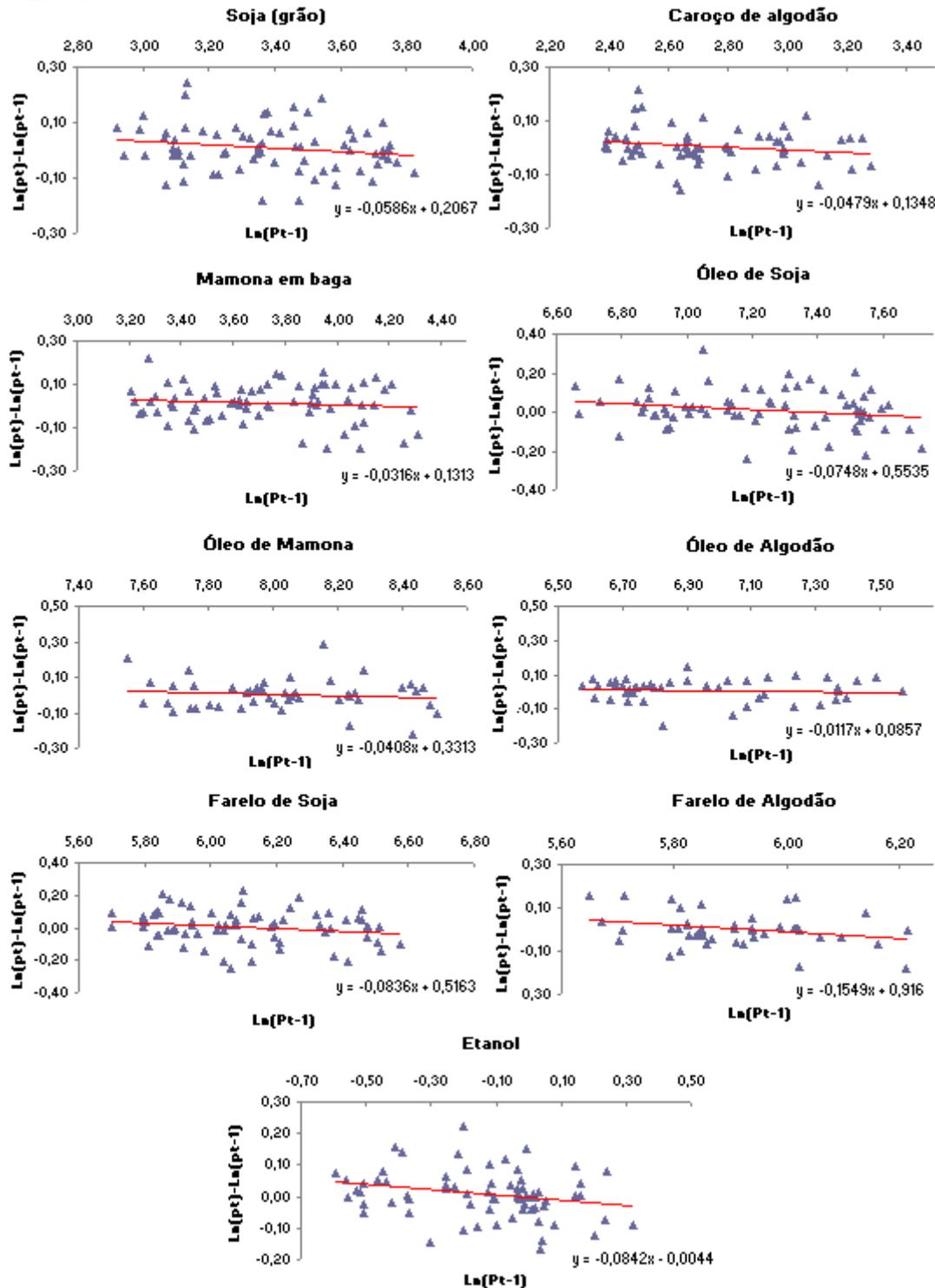
$$\text{Ln}(P_t) - \text{Ln}(P_{t-1}) = a + (b - 1)\text{Ln}(P_{t-1}) + \xi_t \quad (31)$$

Se os preços seguem um MGB, o retorno deve independe do nível de preços correntes e a inclinação da reta deve ser próxima de zero ($b \approx 1$). Analogamente, para a hipótese alternativa de MRM, o retorno depende do nível

de preços correntes (preços altos tendem a cair e preços baixos a subir) e o parâmetro b deve indicar um valor negativo e significativamente diferente de 1.

Na **Figura 18** a seguir são mostradas as referidas regressões para as variáveis inerentes ao estudo, onde se notam retas com inclinações negativas e não nulas.

Figura 18 - Resultados das regressões lineares para rejeição do MGB a favor do MRM para as variáveis do estudo.



Nota-se na Figura 18 que as equações de regressão de algumas das variáveis analisadas apresentam inclinações próximas de zero. No entanto, não é possível afirmar, apenas com base nestes resultados, que os preços de cada variável seguem um MGB. Na tentativa de se buscar indícios de alguma tendência dos preços, um teste de hipóteses pode ser uma boa alternativa.

Sejam H_0 e H_a , respectivamente, a hipótese nula e a hipótese alternativa do seguinte teste de hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0 : (b - 1) &\approx 0 \text{ (preços seguem um MGB)} \\ H_a : (b - 1) &\neq 0 \end{aligned} \quad (32)$$

Onde:

(b-1) é o coeficiente angular da Equação de Regressão, conforme Equação (31).

A **Tabela 3** a seguir, apresenta, para cada uma das variáveis analisadas na Figura 18, os respectivos intervalos de confiança de 95%, com uso da distribuição *t* de *student*. Pode-se notar que só foi possível rejeitar a hipótese nula para o Etanol, a única variável onde o intervalo de confiança não contém o valor 0(zero).

Tabela 3 – Intervalos de confiança para o Teste de Hipóteses das variáveis do Estudo.

Variável	Intervalo de Confiança (95%)*	Decisão do Teste
Soja (grão)	(-0,14 ; 0,02)	Não rejeitar H_0
Caroço de Algodão	(-0,12 ; 0,38)	Não rejeitar H_0
Mamona em baga	(-0,11 ; 0,01)	Não rejeitar H_0
Óleo de Soja	(-0,16 ; 0,01)	Não rejeitar H_0
Óleo de Mamona	(-0,14 ; 0,06)	Não rejeitar H_0
Óleo de Algodão	(-0,10 ; 0,08)	Não rejeitar H_0
Farelo de Soja	(-0,18 ; 0,02)	Não rejeitar H_0
Farelo de Algodão	(-0,32 ; 0,01)	Não rejeitar H_0
Etanol	(-0,16 ; -0,01)	Rejeitar H_0

(*) Dado por $(b-1) - t \times S \leq B \leq (b-1) + t \times S$, sendo S o erro padrão do coef. angular e t o valor crítico da distribuição *t*.

Apesar de não ter sido possível rejeitar o MGB para a maioria das variáveis deste Estudo com a utilização deste teste, a literatura de Opções Reais mostra que isso não é uma tarefa fácil. DIAS (2005) cita que testes econométricos não puderam rejeitar a hipótese do MGB quando 30 anos de dados foram usados e

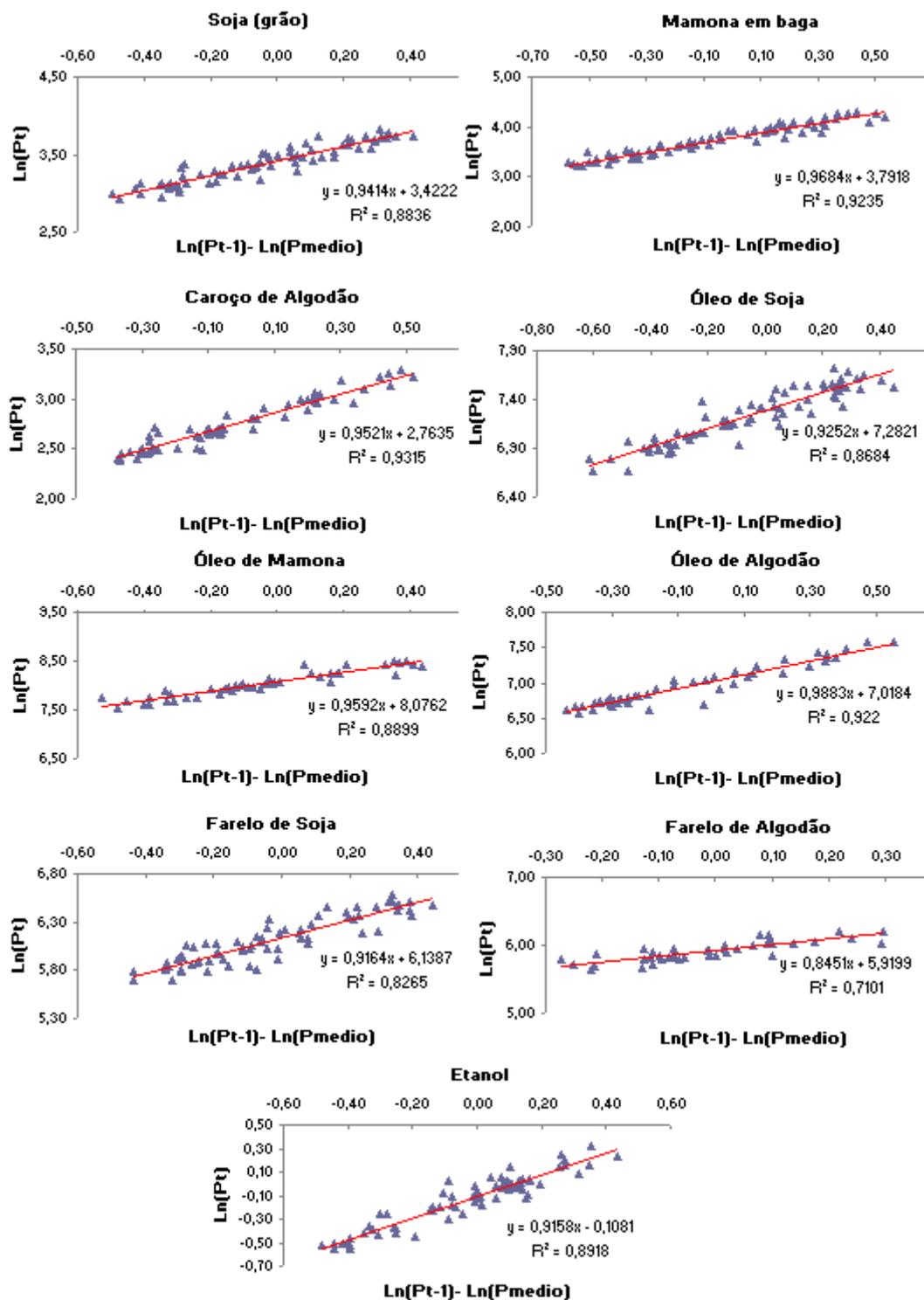
somente nos testes em que foram usados 117 anos de dados é que o MGB foi rejeitado em favor do MRM, para uma série de preços do petróleo.

Mesmo não rejeitando o MGB, é possível observar uma tendência de reversão dos preços das variáveis analisadas para um valor médio de longo prazo. Pode-se utilizar uma relação entre o logaritmo natural dos preços da variável e a diferença entre o logaritmo natural do preço num instante anterior e o logaritmo natural do preço médio da série avaliada, conforme a Equação (33):

$$\text{Ln}(P_t) = a + b [\text{Ln}(P_{t-1}) - \text{Ln}(\bar{P})] \quad (33)$$

A **Figura 19**, a seguir, mostra os resultados dessas regressões para as variáveis do estudo.

Figura 19 - Regressões lineares indicando tendência de reversão à média.



Nesse caso, obtiveram-se fortes indícios de reversão das séries de dados para seus respectivos preços médios, em vista dos altos coeficientes de determinação (R^2) encontrados.

5.3.1. Processos neutros ao risco

Na avaliação de derivativos, Opções e Opções Reais é comum utilizarmos a versão neutra ao risco de um processo estocástico. Esse procedimento nos permite utilizar a taxa de juros livre de risco como taxa de desconto, eliminando da análise a dificuldade de se encontrar uma taxa de desconto ajustada ao risco para cada ativo que se deseja analisar.

Utilizando a mesma nomenclatura definida no Capítulo 2, sendo μ a taxa de desconto ajustada ao risco, π o prêmio de risco e r a taxa de juros livre de risco, no processo ajustado ao risco utiliza-se $\mu = r + \pi$.

Assim, num processo neutro ao risco, basta subtraímos o prêmio de risco da taxa de desconto ajustada ao risco: $r = \mu - \pi$. Dessa forma, no caso de nosso estudo aplicado ao Biodiesel, é preciso calcular o prêmio de risco para cada um dos insumos/subprodutos inerentes ao processo.

Os prêmios de risco são computados pelo modelo CAPM, ou seja, é dado por $\beta_{i,m} \times (R_M - r)$, conforme mostrado na Equação(4). O Beta de cada insumo/subproduto é dado pela covariância dos retornos de sua série de preços (não deflacionada) com o retorno do Ibovespa. O R_m utilizado foi a média mensal dos últimos 10(dez) anos do Ibovespa (nov/97 a dez/07, no valor de 1,58% a.m). Utilizou-se como taxa livre de risco a TJLP de Out/07 a Dez/07 (no valor de 6,25% a.a ou 0,51% a.m)

Na **Tabela 3**, a seguir, são apresentados os prêmios de risco mensais para cada um dos subprodutos/insumos analisados. Para alguns dos subprodutos analisados encontrou-se prêmios de risco levemente negativos, reflexo dos betas também levemente negativos encontrados para tais subprodutos, dados os intervalos históricos mencionados no cálculo dos mesmos.

Tabela 3 - Prêmios de risco mensais para as variáveis do estudo.

	Soja			Mamona		Algodão			Etanol
	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Farelo R\$/ton	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Farelo R\$/arroba	R\$/litro
$\pi = \mu - r$	-0,05%	-0,09%	-0,07%	-0,05%	0,09%	0,10%	0,01%	-0,04%	-0,01%

5.3.2. Modelagem de incertezas utilizando o MGB

Na modelagem de preços seguindo um Movimento Geométrico Browniano, foram utilizadas as equações apresentadas no sub-capítulo 2.6.2.

Para um MGB, utilizando-se um processo neutro ao risco, o preço de um insumo ou subproduto i do Biodiesel, num mês t , obedece a Equação (34) a seguir:

$$\begin{aligned} P(t) &= P(t - \Delta t) \exp[\alpha - (\mu - r) - 0,5\sigma^2 + \sigma N(0,1)], t \geq 1 \\ P(0) &= \text{Preço inicial} \end{aligned} \quad (34)$$

Onde:

α é o parâmetro de drift (ou taxa de ganho de capital) do insumo.

$(\mu - r)$ é o prêmio de risco.

σ é a volatilidade do preço do insumo.

Os parâmetros da equação podem ser estimados das próprias séries de preços de cada um dos insumos.

Segundo WINSTON (1998, p. 328), para a modelagem de um MGB com dados históricos, o parâmetro de *drift* (α) pode ser encontrado através da seguinte Equação:

$$\alpha = N \frac{\overline{\ln(P_t / P_{t-\Delta t})} + \frac{0,5\sigma^2}{N}}{N} \quad (35)$$

Onde N é um fator de correção para obtenção de dados anuais (por exemplo, se quisermos o parâmetro anual, tendo dados mensais, faz-se $N=12$).

Como os Fluxos de Caixa analisados são mensais e os dados também são mensais, utiliza-se $N=1$ para o cálculo dos *drifts* das variáveis analisadas, com volatilidades históricas calculadas através da Equação (36) aplicada às séries históricas de preços das variáveis em questão.

As volatilidades dos insumos, quando modeladas segundo um MGB, foram calculadas segundo o critério de volatilidade histórica. Como HULL (2003) mostra, a volatilidade de uma série histórica de dados pode ser calculada através da Equação (36):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n u_t^2 - \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{t=1}^n u_t \right)^2} \quad (36)$$

$$\text{com, } u_t = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$$

Onde:

$n + 1$ número de observações.

P_i preço da ação no i -ésimo intervalo ($i = 1, 2, \dots, n$).

Os preços iniciais (P_0) foram retirados das séries históricas de preços das variáveis, conforme explicitado no Capítulo 4.

De posse dos dados históricos de preços, foi possível calcular as volatilidades de cada um dos insumos (soja em grão, baga de mamona e caroço de algodão), de seus subprodutos (farelo de soja e farelo de algodão), dos óleos (soja, mamona e algodão) e do etanol, os respectivos *drifts* e preços iniciais. Essas informações são mostradas na **Tabela 4** a seguir.

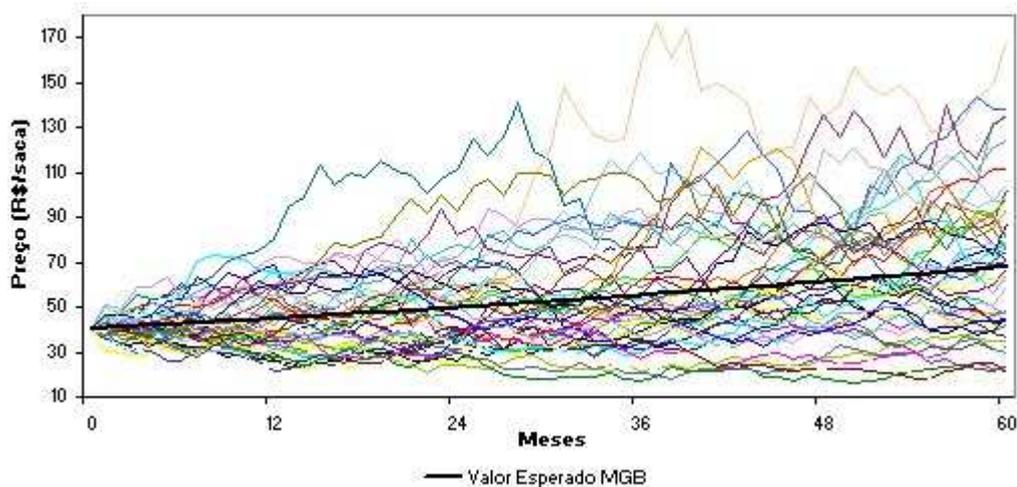
Tabela 4 - Parâmetros do MGB para as variáveis do estudo.

	Soja			Mamona		Algodão			Etanol
	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Farelo R\$/ton	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Farelo R\$/arroba	R\$/litro
$\sigma^{(*)}$	8,47%	10,27%	10,15%	8,58%	8,86%	6,35%	8,14%	7,59%	7,40%
α	0,0122	0,0182	0,0116	0,0171	0,0073	0,0059	0,0079	0,0033	0,0099
P_0	40,57	2102,87	603,70	70,84	4631,69	14,46	1951,22	418,82	0,9196

(*) Volatilidades Mensais

A **Figura 20**, a seguir, mostra algumas iterações da evolução estocástica desses preços para o caso da soja (grão) durante o período de análise. Nesta figura é possível ver o comportamento determinístico dos preços (valor esperado) e o comportamento estocástico dos preços.

Figura 20 - Preços da soja (grão) simulados pelo MGB para o período de 60 meses.



5.3.3. Modelagem das incertezas utilizando o MRM

Como vimos no subcapítulo 2.6.3, a forma mais simples do processo de reversão à média é o Modelo Aritmético de Ornstein-Uhlenbeck, definido pela Equação (37) a seguir:

$$dx(t) = \eta(\bar{x} - x)dt + \sigma dz(t) \quad (37)$$

Onde:

x_t é o logaritmo do preço P_t : $x_t = \ln[P(t)]$

η é a velocidade de reversão à média.

σ é a volatilidade da variável.

dz_t é um processo de Wiener, com distribuição normal

Para um MRM seguindo a Equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, utilizando-se um processo neutro ao risco, o preço de um insumo ou subproduto i do Biodiesel, que apresenta um comportamento de reversão a um valor médio \bar{P}_i , num mês t , obedece a Equação (38) a seguir:

$$P_t = \exp \left(\ln(P_{t-\Delta t}) e^{-\eta \Delta t} + \left[\ln \bar{P} - \left(\frac{\mu - r}{\eta} \right) (1 - e^{-\eta \Delta t}) \right] - (1 - e^{-2\eta \Delta t}) \frac{\sigma^2}{4\eta} + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta \Delta t}}{2\eta}} \varepsilon \right) \quad (38)$$

Onde:

η é a velocidade de reversão à média do insumo/subproduto.

σ é a volatilidade dos preços do insumo/subproduto.

\bar{P} é o preço médio de longo prazo para qual os preços tendem a reverter.

$(\mu - r)/\eta$ é o prêmio de risco normalizado do insumo/subproduto.

$\varepsilon \sim N(0,1)$.

Para o cálculo dos parâmetros do MRM, BASTIAN PINTO, BRANDÃO & ALVES (2008), utilizam uma relação entre o logaritmo natural da relação dos preços da variável num instante t e num instante anterior e o logaritmo natural do preço num instante anterior, conforme a Equação (39).

$$\ln(P_t/P_{t-1}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(P_{t-1}) + \varepsilon \quad (39)$$

Essa regressão é a mesma proposta por DIAS (2005) para o teste de rejeição do MGB a favor do MRM, conforme mostrado no sub-capítulo 5.3, com resultados ilustrados na **Figura 18**.

Utilizando a regressão citada, o coeficiente de velocidade de reversão à média pode ser encontrado a partir da seguinte relação:

$$\eta = -\ln(\beta_1 + 1)/\Delta t \quad (40)$$

BASTIAN PINTO, BRANDÃO & ALVES (2008) também demonstram que a volatilidade e o preço médio de longo prazo podem ser calculados a partir dos parâmetros β_0 e β_1 da regressão, através das seguintes equações:

$$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \log(\beta_1 + 1)}{[(\beta_1 + 1)^2 - 1] \Delta t}} \quad (41)$$

$$\bar{P} = \exp\left[-\frac{\beta_0}{\beta_1} + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - (\beta_1 + 1)^2}\right] \quad (42)$$

Onde σ_ε é o erro padrão da regressão.

A **Tabela 5** a seguir mostra os resultados encontrados para os parâmetros do MRM para cada uma das variáveis analisadas. Os preços iniciais (P_0) foram retirados das séries históricas de preços das variáveis, conforme explicitado no Capítulo 6. Os coeficientes de velocidade de reversão à média, as volatilidades e os preços médio de longo prazo foram calculados pelas Equações (40), (41) e (42)

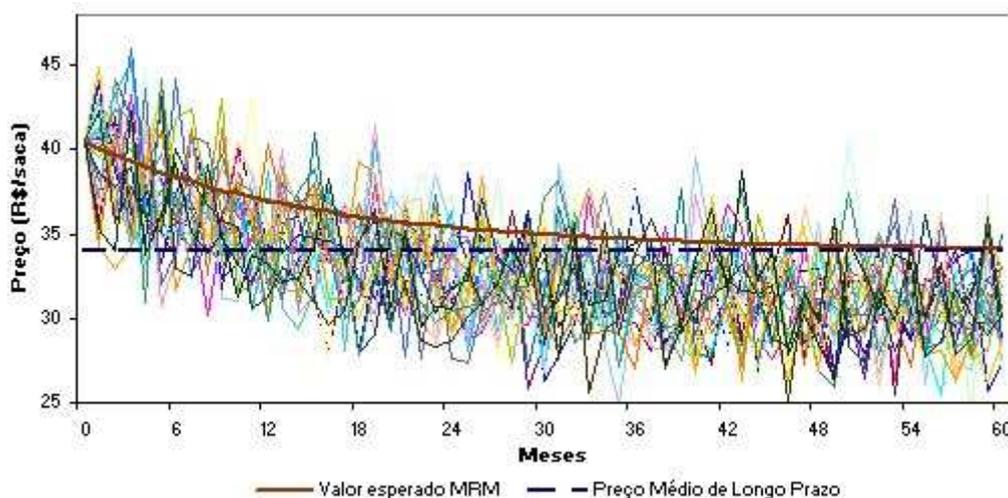
Tabela 5 - Parâmetros do MRM para as variáveis do estudo.

	Soja			Mamona		Algodão			Etanol
	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Farelo R\$/ton	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Grão R\$/saca	Óleo R\$/ton	Farelo R\$/arroba	R\$/litro
$\sigma^{(*)}$	8,66%	10,52%	10,47%	8,73%	9,08%	6,45%	8,28%	8,01%	8,80%
\bar{P}	34,04	1636,25	481,22	63,76	3361,93	16,68	1517,51	370,20	1,05
η	0,0604	0,0777	0,1906	0,0321	0,0416	0,0491	0,0118	0,1683	0,0880
P_0	40,57	2102,87	603,70	70,84	4631,69	14,46	1951,22	418,82	0,9196

(*) Volatilidades Mensais

A **Figura 21**, a seguir, mostra algumas iterações da evolução estocástica desses preços para o caso da soja (grão) durante o período de análise. Nesta figura é possível ver o comportamento determinístico dos preços (valor esperado) e o comportamento estocástico dos preços em torno da média de longo prazo.

Figura 21 - Preços da soja (grão) simulados pelo MRM para o período de 60 meses.



5.4. Fluxos de Caixa do Projeto Básico

O Projeto Básico (sem opções) considera os fluxos de caixa mensais decorrentes da produção exclusiva de Biodiesel de Soja em uma usina hipotética localizada na Região Baiana.

O cálculo do valor do projeto sem opções é realizado através do emprego de técnicas tradicionais de avaliação, projetando-se o fluxo de caixa livre ao longo da

vida do projeto. Estes fluxos de caixa, em vez de serem descontados a valor presente considerando-se uma taxa que remunere o risco do projeto, foram descontados à taxa livre de risco, com subtração do prêmio de risco na projeção estocástica de preços (como observa-se nas Equações (13) e (18)). Esse procedimento, conforme explicitado no subcapítulo 5.3.1, torna a análise mais simples, pois pode-se eliminar a dificuldade de se encontrar a taxa ajustada ao risco para cada uma das variáveis.

O valor presente destes fluxos de caixa, subtraídos do investimento necessário para iniciar o projeto, nos dá o valor do projeto. A Equação (43) sintetiza esse procedimento, para um projeto de n períodos mensais (n fluxos de caixa), com risco remunerado pela taxa livre de risco r :

$$VPL_{Bs} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_{Bs}(t)}{(1+r)^t} - I_0$$

com: (43)

$$FC_{Bs}(t) = [1000 \times P_B(t) + 6,52 \times P_{Fs}(t) + 0,087 \times P_g(t)] - [163,39 \times P_e(t) + 123,40 \times P_s(t)]$$

Onde:

r : taxa mensal de juros livre de risco.

n : número de períodos (meses) do projeto.

$FC_{Bs}(t)$ Fluxo de caixa esperado para o Biodiesel de soja no t -ésimo mês.

I_0 : investimento necessário para início do projeto.

$P_{Bs}(t)$ Preço do Biodiesel de Soja (R\$/litro), no mês t .

$P_g(t)$ Preço da glicerina (R\$/ton) , no mês t .

$P_e(t)$ Preço do etanol (R\$/litro) , no mês t .

$P_s(t)$ Preço do grão de soja (R\$/saca 60 kg) , no mês t .

Considerou-se, por simplificação, que a Usina fictícia já produziu Biodiesel de Soja suficiente para amortização de seu custo inicial de implantação. Dessa forma considerou-se nulo o investimento necessário para início do projeto ($I_0=0$). Essa premissa não afeta o resultado deste trabalho, já que o objetivo aqui é analisar o ganho decorrente da flexibilidade produtiva e não a viabilidade da implantação de uma Usina de Biodiesel.

5.5. Fluxos de Caixa do Projeto com Opções

Segundo HULL (2003), o lucro de uma opção europeia de compra de um ativo financeiro é dado por:

$$\max(S_t - K, 0) - c \quad (44)$$

Onde:

S_t : preço do ativo na data de exercício.

K : preço de exercício.

c : preço da opção de compra

Para o processo produtivo do Biodiesel, partindo-se do pressuposto que a usina fictícia deste Estudo participa completamente do processo (ou seja, por si só as etapas de esmagamento do grão e transesterificação), o produtor do Biodiesel, além de garantir a qualidade do óleo bruto, consegue capturar a flexibilidade advinda da escolha de oleaginosas. O produtor pode, então, escolher num determinado mês qual grão utilizará (soja, mamona ou algodão) e tal decisão é independente da decisão tomada no mês anterior.

É possível, então, definir o lucro de um produtor que considera as flexibilidades do processo, de forma análoga à Equação (44). No processo de escolha entre as oleaginosas, um produtor de Biodiesel de Soja tem a opção de pagar um prêmio (que nesse caso é o custo de conversão do processo produtivo) para ter a possibilidade de utilizar como insumos outras oleaginosas (algodão e mamona, por exemplo). Dessa forma, o lucro do produtor de Biodiesel de Soja que tem a flexibilidade de utilizar mamona e algodão como insumos alternativos pode ser definido conforme a Equação (45) a seguir.

$$L_1 = \max \left[(FC_{Bm} - C_{s \rightarrow m}), (FC_{Ba} - C_{s \rightarrow a}), FC_{Bs} \right] \quad (45)$$

Onde:

FC_{Bs} : Fluxo de caixa para o Biodiesel de Soja.

FC_{Bm} : Fluxo de caixa para o Biodiesel de Mamona.

FC_{Ba} : Fluxo de caixa para o Biodiesel de Algodão.

$C_{s \rightarrow m}$ Custo de conversão do processo produtivo para uso de mamona.

$C_{s \rightarrow a}$ Custo de conversão do processo produtivo para uso de algodão.

BARROS et al. (2003), considera que os custos de processamento do Biodiesel, baseado em diversas culturas (soja, algodão, mamona, entre outras), dependem principalmente da escala da Planta Produtora. Com base nisso pode-se considerar que os custos de conversão do processo para uso de outras oleaginosas são praticamente nulos.

Além da opção de variabilidade dos *inputs*, para uma oleaginosa específica, o produtor de Biodiesel tem ainda a opção de continuar a produção de Biodiesel (via transesterificação) ou vender o óleo bruto extraído na prensagem dos grãos. Nessa escolha, o lucro do produtor pode ser definido conforme a Equação XX a seguir.

$$L_2 = \max(FC_{Oleo}, FC_{Biod}) \quad (46)$$

Onde:

FC_{Oleo} : Fluxo de venda do óleo bruto, dada a prensagem de oleaginosa específica

FC_{Biod} : Fluxo de caixa para o Biodiesel derivado de uma oleaginosa específica.

A flexibilidade de *inputs* foi modelada como uma seqüência de opções européias do uso das oleaginosas, tomando-se o maior Fluxo de Caixa gerado a cada período, sendo o Fluxo dado pelas Equações (25), (26) e (27). Com isso, foram realizadas Simulações de Monte Carlo dos processos estocásticos dos preços das variáveis de interesse (cada um dos grãos, óleos brutos, farelos e do etanol), escolhendo-se a opção que maximizava esses Fluxos em cada período mensal.

Além da opção nos *inputs* (soja, algodão ou mamona), existe a opção de venda do óleo bruto após a prensagem dos grãos, em vez de sua posterior utilização na produção do Biodiesel (via transesterificação). Essa opção de venda dos óleos brutos também foi considerada e seus Fluxos de Caixa potenciais foram calculados estocasticamente através das Equações (28), (29) e (30), sendo também comparados com os Fluxos das demais opções existentes.

Dessa forma, considerando as Equações (45) e (46), o valor presente dos Fluxos de Caixa para o Projeto com as opções de conversão (escolha de soja, mamona ou algodão como *inputs*) e opção de venda do óleo bruto após prensagem dos grãos, utilizando um processo neutro ao risco, é dado pela seguinte Equação:

$$VPL_{Opcoes} = \sum_{t=1}^n \frac{FC(t)}{(1+r)^t} - C_0$$

$$FC(t) = \max[FC_{Bs}(t); FC_{Bm}(t); FC_{Ba}(t); FC_{Os}(t); FC_{Om}(t); FC_{Oa}(t)] \quad (47)$$

Onde:

r : taxa mensal de juros livre de risco.

n : número de períodos (meses) do projeto.

I_0 : custo de conversão do processo produtivo (considerado nulo).

$FC_{Bs}(t)$ Fluxo de caixa previsto de Biodiesel de soja no t-ésimo mês.

$FC_{Bm}(t)$ Fluxo de caixa previsto de Biodiesel de mamona no t-ésimo mês.

$FC_{Ba}(t)$ Fluxo de caixa previsto de Biodiesel de algodão no t-ésimo mês.

$FC_{Os}(t)$ Fluxo de caixa previsto de Óleo de soja no t-ésimo mês.

$FC_{Om}(t)$ Fluxo de caixa previsto de Óleo de mamona no t-ésimo mês.

$FC_{Oa}(t)$ Fluxo de caixa previsto de Óleo de algodão no t-ésimo mês.

5.6. Resultados

Para a simulação dos Projetos (Básico e Com Opções) foi utilizado o Método de Simulação de Monte Carlo, automatizado pelo software @RISK, da Palisade Corporation, simulando um total de 10.000 iterações, em conjunto com uma planilha eletrônica contendo todas as informações referentes a fluxos de caixa e preços modelados por Reversão à Média e pelo Movimento Geométrico Browniano. Apesar de tudo o que foi dito em relação a possíveis limitações do MGB quando destinado a modelar preços de *commodities*, optou-se por incluí-lo comparativamente nesta análise.

O Método de Simulação de Monte Carlo é uma importante ferramenta que, aliada à simulação computacional, torna-se uma alternativa poderosa para a obtenção de respostas a um problema complexo ou que não permita uma solução analítica. Esse Método consiste em estimar a distribuição de uma variável de *output* dependente de diversas variáveis probabilísticas de *input*

No Processo Produtivo do Biodiesel tem-se como variáveis de *input* os preços das oleaginosas (custos variáveis), dos subprodutos e do produto final (farelos, óleos brutos e Biodiesel, considerados receitas de vendas). A rigor consideram-se também *inputs* de depreciação e amortização (estes dois últimos

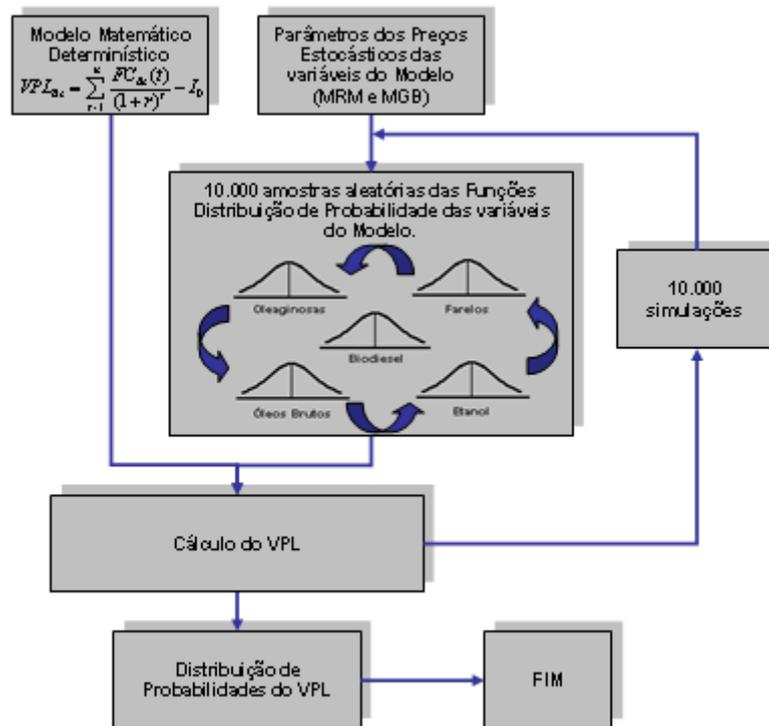
não considerados neste Estudo). A variável de *output* é o Valor Presente Líquido (VPL) do Projeto.

Para a simulação dos fluxos de caixa dos projetos, utilizando-se a simulação de Monte Carlo, foram seguidos os seguintes procedimentos:

- a) Construção de um modelo básico das variações dos fluxos de caixa futuros, conforme as Equações (43) e (47).
- b) Projeção de várias simulações, com geração de valores aleatórios para as variáveis de *input* (preços de oleaginosas, preços dos farelos, preços dos óleos, preço do etanol e preço do Biodiesel) e parâmetros dos processos estocásticos dos preços das variáveis.
- c) Estabelece-se para cada variável uma distribuição de probabilidades acumuladas.
- d) Geração de valores aleatórios para cada variável de acordo com suas probabilidades de ocorrência.
- e) Repetição desta operação diversas vezes (aqui se estipulou 10.000 iterações), até se obter uma distribuição de probabilidades da variável *output* (VPL) do Projeto.

A **Figura 22** a seguir sintetiza a Simulação de Monte Carlo para o Projeto fictício de Biodiesel, objeto deste Estudo.

Figura 22 – Fluxograma da Simulação de Monte Carlo para o Projeto Fictício de Biodiesel



Nos subcapítulos a seguir são detalhadas as premissas e discutidos os resultados encontrados para cada um dos Casos Base analisados, ou seja, com simulação de preços seguindo um MRM e um MGB.

5.6.1. Projetos Básicos

As premissas básicas utilizadas para encontrar o VPL dos Projetos Básicos (utilizando o MRM e o MGB como simuladores de preços) da usina fictícia de Biodiesel de soja foram:

- Fluxos de caixa mensais, referentes à produção de 1000 litros de Biodiesel, comportando-se de acordo com a Equação (43);
- Preços dos grãos, dos farelos e do etanol reverterem a um valor médio (para a análise pelo MRM) e se difundem geometricamente (para a análise pelo MGB), segundo as Equações (38) e (34), e com os parâmetros mostrados nas **Tabelas 4 e 5**;

- Para a torta de mamona, foi considerado o preço R\$ 420/ton para todo o Projeto, dadas as limitações apresentadas no sub-capítulo 5.2.
- Projeto com 60 (sessenta) períodos mensais;
- O custo de investimento inicial no Projeto é nulo, ou seja, foi considerada uma usina já existente, em plena produção e que já tenha amortizado seu custo de implantação;
- Os custos de esmagamento dos grãos e os custos do processo de transesterificação não foram considerados na análise. A não inserção destes custos não invalida o estudo, já que os custos de conversão do processo produtivo dependem principalmente da escala da Planta Produtora, premissa confirmada pelo Estudo de BARROS et al. (2003).
- A receita decorrente da venda da glicerina produzida foi desconsiderada, dada a perspectiva de queda brusca nos preços praticados devido ao excesso de glicerina “injetada” no mercado.
- Preço Corrente Biodiesel - R\$ 2,154 (de acordo com o preço do último Leilão praticado em 2007, deflacionado pelo IGP-DI de dez/07, conforme **Tabela 1**).
- Taxa de desconto livre de risco (utilizada como taxa de desconto dos fluxos de caixa, conforme processo neutro ao risco) é a TJLP de Out/07 a Dez/07 - 6,25% a.a ou 0,51% a.m.

5.6.1.1. Caso Base MRM

A **Tabela 6** mostra alguns resultados do Projeto Básico (sem opções) para os Fluxos de Caixa dos primeiros seis meses, considerando os preços revertendo a um valor médio (MRM).

Tabela 6 - Fluxos de Caixa dos 6 primeiros meses para o Projeto Básico - MRM (Fluxos em R\$).

	Mês 0	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6
PREÇO DOS INSUMOS (MRM)							
P _{sj} (R\$/saca)	40,568	40,101	39,734	39,392	39,072	38,773	38,494
P _{fs} (R\$/ton)	603,702	591,230	581,423	572,579	564,592	557,371	550,835
P _{et} (R\$/litro)	0,920	0,929	0,938	0,948	0,956	0,964	0,971
P _{Bs} (R\$/litro)	2,154	2,154	2,154	2,154	2,154	2,154	2,154
FLUXOS DE CAIXA PROJ BÁSICO (R\$/1000litros produzidos) (*)	-	911,259	890,951	874,014	859,975	848,431	839,038

(*) Fluxos definidos de acordo com a Equação (25).

O valor presente dos Fluxos de Caixa do Projeto Básico (sem opções), com base nas premissas apresentadas no subcapítulo 5.6.1 e preços revertendo à média de longo prazo pelo MRM, foi de **R\$44.044,25** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido.

Ao simular-se os preços difundindo geometricamente pelo MGB, o Fluxo de Caixa do Projeto Básico (sem opções) encontrado foi de **R\$12.274,58** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido.

5.6.1.2. Caso Base MGB

A **Tabela 7** mostra alguns resultados do Projeto Básico (sem opções) para os Fluxos de Caixa dos primeiros seis meses, considerando os preços comportando-se segundo um MGB

Tabela 7 - Fluxos de Caixa dos 6 primeiros meses para o Projeto Básico - MGB (Fluxos em R\$).

	Mês 0	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6
PREÇO DOS INSUMOS (MGB)							
P _{sj} (R\$/saca)	40,568	40,942	41,319	41,700	42,084	42,472	42,863
P _{fs} (R\$/ton)	603,702	608,037	612,404	616,802	621,231	625,693	630,186
P _{et} (R\$/litro)	0,920	0,926	0,933	0,940	0,947	0,954	0,960
P _{Bs} (R\$/litro)	2,154	2,154	2,154	2,154	2,154	2,154	2,154
FLUXOS DE CAIXA PROJ BÁSICO (R\$/1000litros produzidos) (*)	-	917,496	898,336	878,944	859,317	839,453	819,349

(*) Fluxos definidos de acordo com a Equação (25).

O valor presente dos Fluxos de Caixa do Projeto Básico (sem opções), com base nas premissas apresentadas no subcapítulo 5.6.1 e preços difundindo

geometricamente pelo MGB, foi de **R\$12.274,58** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido.

Nota-se que houve uma diferença significativa nos valores encontrados para os Projetos Básicos ao se variar o método de simulação de preços estocásticos. Isso ocorre devido à diferença na simulação do preço da soja, que é considerada um custo do processo produtivo (conforme mostrado nas Equações 25 a 30) decorrente da aplicação de cada um dos modelos (MRM ou MGB). No MGB os preços da soja aumentam exponencialmente, resultando num VPL menor do que o encontrado pelo MRM.

Essa diferença no valor dos VPL's dos Projetos Básicos não invalida o objetivo principal do estudo, que é avaliar o ganho proveniente ao se valorar as opções inerentes ao processo produtivo, dada a simulação de preços através de um processo estocástico específico.

5.6.2. Projetos com Opções

As premissas utilizadas para o Projeto com Opções (utilizando o MRM e o MGB como simuladores de preços) foram:

- Fluxos de caixa mensais, referentes à produção de 1000 litros de Biodiesel e Óleos, conforme Equações (25) a (30);
- Preços dos grãos, das tortas (exceto torta de mamona), dos óleos e do etanol comportam-se estocasticamente revertendo-se a um valor médio (para a análise pelo MRM) e difundindo-se geometricamente (para a análise pelo MGB), de acordo com as Equações (38) e (34), respectivamente, com os parâmetros mostrados nas **Tabelas 4 e 5**;
- Para a torta de mamona, foi considerado o preço R\$ 420/ton para todo o Projeto, dadas as limitações apresentadas no sub-capítulo 5.2.
- Projeto com 60 (sessenta) períodos mensais;
- O custo de investimento inicial no Projeto é nulo, ou seja, foi considerada uma usina já existente, em plena produção e que já tenha amortizado seu custo de implantação;

- Os custos de esmagamento dos grãos e os custos do processo de transesterificação não foram considerados na análise. A não inserção destes custos não invalida o estudo, já que os custos de conversão do processo produtivo dependem principalmente da escala da Planta Produtora, premissa confirmada pelo Estudo de BARROS et al. (2003).
- A receita decorrente da venda da glicerina produzida foi desconsiderada, dada a perspectiva de queda brusca nos preços praticados devido ao excesso de glicerina “injetada” no mercado.
- Preço Corrente Biodiesel - R\$ 2,154 (de acordo com o preço do último Leilão praticado em 2007, deflacionado pelo IGP-DI de dez/07, conforme **Tabela 1**).
- Taxa de desconto livre de risco (utilizada como taxa de desconto dos fluxos de caixa, conforme processo neutro ao risco) é a TJLP de Out/07 a Dez/07 - 6,25% a.a ou 0,51% a.m.

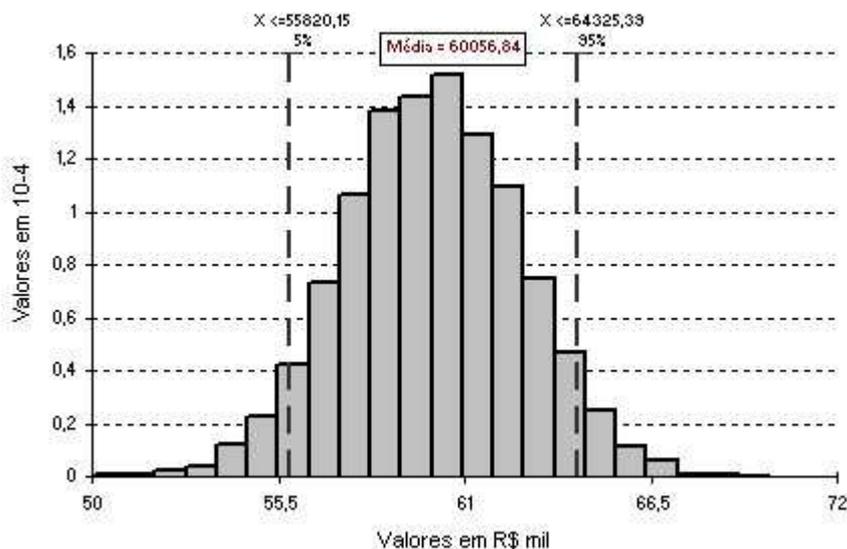
5.6.2.1.

Projeto com Opções - Simulação pelo MRM

Na Simulação de preços pelo Processo de Reversão à Média, o valor presente dos Fluxos de Caixa quando se avaliou a produção flexível de Biodiesel utilizando três possibilidades de *inputs* (soja, mamona ou algodão) e com a opção de venda dos óleos brutos após prensagem (em vez de sua utilização na reação de transesterificação), foi de **R\$ 60.056,84** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido. Isso nos levou a valorar as opções (mudança ou conversão de insumo de produção de Biodiesel e opção de venda dos óleos brutos), relativamente ao Projeto Básico sem opções (que só utiliza soja como *input*, valorado por **R\$ 44.044,25** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido), em **R\$ 16.012,59** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido.

A **Figura 23** a seguir mostra a distribuição de probabilidades dos valores do Projeto com as opções agregadas para o total de 10.000 iterações efetuadas, utilizando-se o MRM como processo estocástico simulador dos preços das variáveis (grãos, farelos e etanol).

Figura 23 - Distribuição de probabilidades dos VPL's do Projeto com opções, com preços simulados pelo MRM.

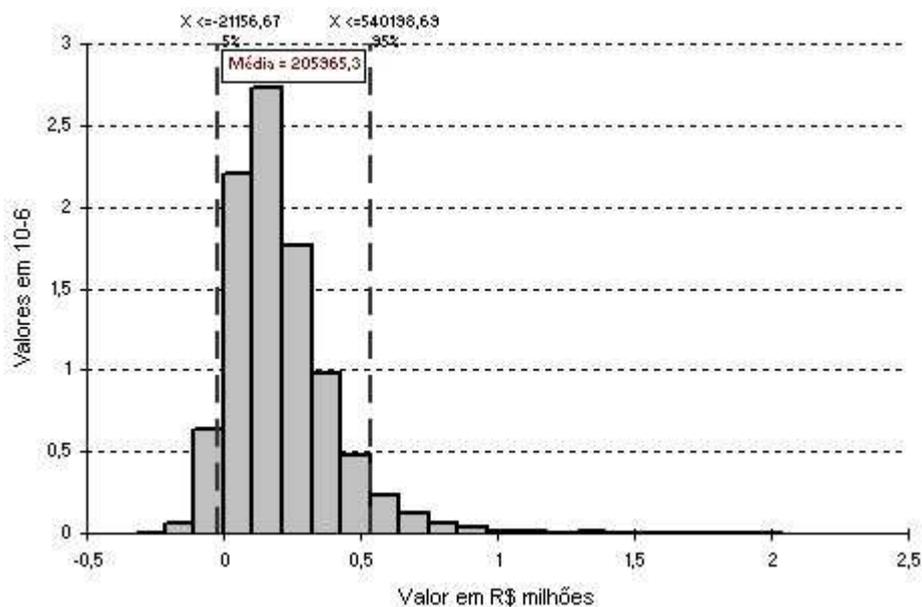


5.6.2.2. Projeto com Opções - Simulação pelo MGB

Na simulação dos preços segundo um MGB, a produção flexível do Biodiesel (utilizando três possibilidades de *inputs* e com a opção de venda dos óleos brutos após prensagem) nos levou a um valor de **R\$205.965,30** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido, significando que as opções existentes (conversão dos insumos e venda dos óleos brutos) agregam, ao Projeto Básico (que só utiliza soja como *input*, valorado por **R\$12.274,58** para cada 1000 litros de Biodiesel produzido), o valor de **R\$193.690,72** para cada 1000 litros de produção do referido combustível.

A **Figura 24** a seguir mostra a distribuição de probabilidades dos valores do Projeto com as opções agregadas para o total de 10.000 iterações efetuadas, utilizando-se o MGB como processo estocástico simulador dos preços das variáveis (grãos, óleos, farelos e etanol).

Figura 24 - Distribuição de probabilidades dos VPL's do Projeto com opções, com preços simulados por um MGB.



5.7. Síntese dos Resultados

Na **Tabela 8** a seguir são sintetizados os resultados encontrados para o VPL do Projeto de acordo com a Metodologia proposta por este Estudo.

Tabela 8 - Comparativo do valor do Projeto com o uso das opções de conversão e possibilidade de venda do óleo bruto (R\$/1000 litros de Biodiesel).

	Insumos	Simulação pelo MRM		Simulação pelo MGB	
		VPL por FCD (R\$)	VPL c/opções (R\$)	VPL por FCD (R\$)	VPL c/opções (R\$)
Projeto Básico	Soja	44.044,25		12.274,58	
Projeto com Opções	Soja, Mamona e Algodão		60.056,84		205.965,30
Valor agregado ao Projeto (R\$)		16.012,59		193.690,72	
Ganho %		36,3%		1577,99%	

No Projeto Básico com simulação de preços através do MGB encontrou-se um VPL menor do que o encontrado através do MRM. Isso ocorre porque os preços da soja (considerada um custo do Processo Produtivo) aumentam exponencialmente num MGB, o que não ocorre no MRM (preços reverterem ao preço médio de longo prazo).

Já no Projeto com Opções, o MGB agregou maior volatilidade aos fluxos de caixa, gerando VPL's consideravelmente maiores dos que os encontrados ao se utilizar o MRM. No caso de preços iniciais muito abaixo de seu valor de longo prazo, é possível que a velocidade de reversão à média atue mais fortemente do que a difusão browniana e, conseqüentemente cause grande impacto nos preços determinísticos.

Independente da diferença de valores da opção encontrados pelo MGB e o MRM (dadas as premissas e limitações inerentes ao Estudo), observa-se que, em ambos os casos, a opção de poder utilizar soja, mamona ou algodão como subproduto do Biodiesel (em vez de utilizar a soja somente) tem valor. Esse ganho é proveniente das opções de conversão de *inputs* (insumos utilizados, ou seja, soja em grão, mamona em baga e caroço de algodão) e escolha dos *outputs* (produção exclusiva dos óleos brutos em vez do Biodiesel combustível).

No subcapítulo a seguir são analisados os impactos das variações de algumas premissas nos resultados encontrados. Mediu-se a sensibilidade dos resultados em relação às variáveis arbitradas nas premissas, ou seja, a taxa de juros, o preço do Biodiesel e preço da torta de mamona.

5.8. Análise de sensibilidade dos resultados encontrados

As premissas, conforme definidas nos subcapítulos 5.6.1 e 5.6.2, apresentam 3 (três) variáveis cuja variação não foi projetada estocasticamente: o preço da torta de mamona, o preço do Biodiesel e a taxa de juros livre de risco (esta última utilizada como taxa de desconto, pois utilizou-se o processo neutro ao risco).

Neste subcapítulo avaliou-se o impacto da variação das mesmas no valor do Projeto com Opções, tanto para o MRM como para o MGB.

Para medir a sensibilidade utilizou-se intervalos de 0,5% na variação da taxa de juros, variações de R\$ 100/tonelada no preço da torta de mamona e variações de 10% no preço do Biodiesel, com simulações contendo 5000 iterações.

Nas **Tabelas 9, 10 e 11** pode-se observar como varia o valor do Projeto com Opções em função da variação das variáveis citadas, com a utilização do MRM como modelo de previsão.

Tabela 9 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MRM) à variação da taxa de juros e do preço da Torta de Mamona.

Valor do Projeto com Opções (MRM)		Preço da Torta de Mamona (R\$/ton)				
		220,00	320,00	420,00	520,00	620,00
Taxa de juros livre de risco	5,25%	52208,59	56135,39	61273,04	67883,80	75884,49
	5,75%	51634,69	55526,81	60616,20	67160,77	75077,49
	6,25%	51072,22	54930,29	59972,32	66451,93	74286,34
	6,75%	50520,88	54345,50	59341,05	65756,95	73510,62
	7,25%	49980,37	53772,16	58722,07	65075,45	72749,93

Tabela 10 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MRM) à variação da taxa de juros e do preço do Biodiesel.

Valor do Projeto com Opções (MRM)		Preço do Biodiesel (R\$/litro)				
		1,780	1,958	2,154	2,369	2,606
Taxa de juros livre de risco	5,25%	54387,66	57028,29	61319,66	67396,66	75684,22
	5,75%	53826,55	56429,00	60662,20	66658,91	74839,41
	6,25%	53276,37	55841,45	60017,71	65935,79	74011,45
	6,75%	52736,82	55265,35	59385,86	65226,93	73199,93
	7,25%	52207,65	54700,38	58766,31	64531,98	72404,40

Tabela 11 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MRM) à variação do preço da Torta de Mamona e do preço do Biodiesel.

Valor do Projeto com Opções (MRM)		Preço do Biodiesel (R\$/litro)				
		1,780	1,958	2,154	2,369	2,606
Preço Torta de Mamona (R\$/ton)	220,00	40339,48	44710,79	51093,86	59451,64	69735,81
	320,00	46210,09	49651,53	54919,05	62145,98	71442,69
	420,00	53403,79	55948,18	60032,72	65966,52	74026,89
	520,00	61784,65	63541,87	66488,16	71083,85	77707,52
	620,00	71122,02	72258,38	74218,92	77538,59	82665,75

Os resultados das **Tabelas 9, 10 e 11** são consolidados, respectivamente, nas **Figuras 25, 26 e 27**.

Figura 25 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MRM) à variação da taxa de juros e do preço da Torta de Mamona.

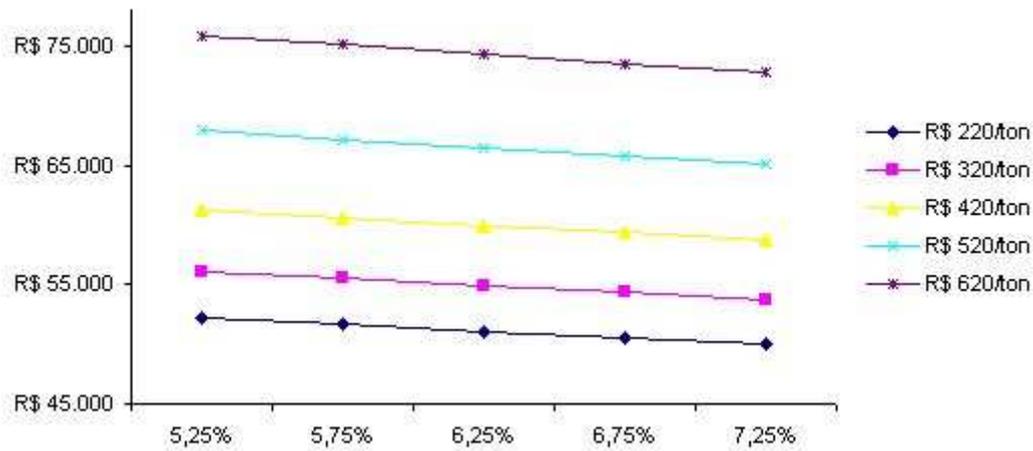


Figura 26 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MRM) à variação da taxa de juros e do preço do Biodiesel.

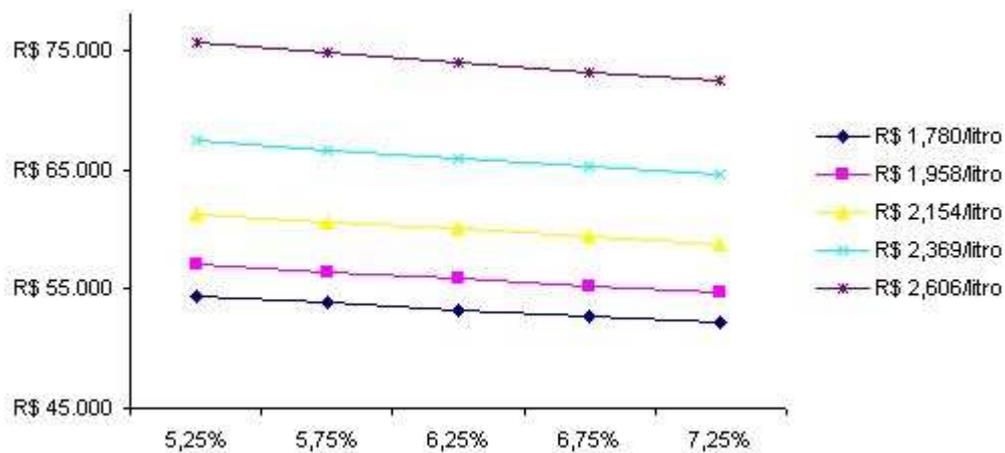
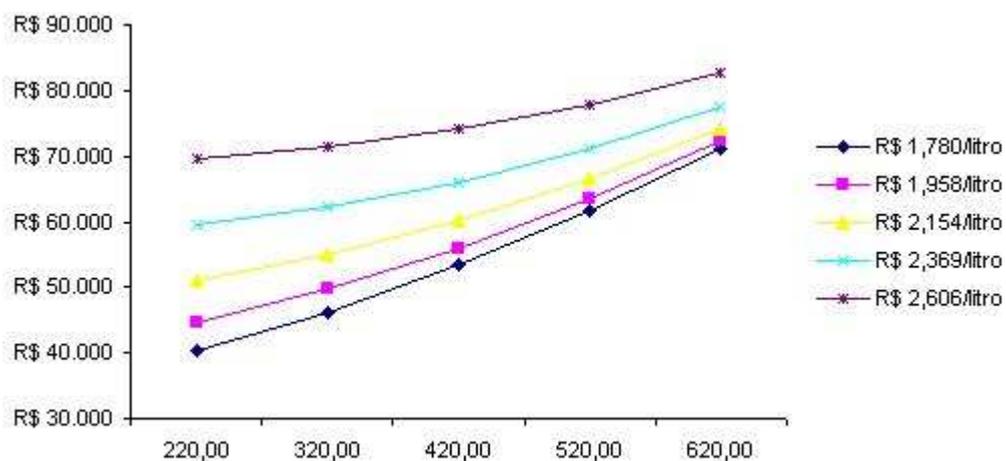


Figura 27 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MRM) à variação do preço da Torta de Mamona e do preço do Biodiesel.



Nas **Tabelas 12, 13 e 14** pode-se observar como varia o valor do Projeto com Opções em função da variação das variáveis analisadas, com a utilização do MGB como modelo de previsão.

Tabela 12 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MGB) com variação da taxa de juros e do preço da Torta de Mamona.

Valor do Projeto com Opções (MGB)		Preço da Torta de Mamona (R\$/ton)				
		220	320	420	520	620
Taxa de juros livre de risco	5,25%	201468,30	205064,10	207296,10	216848,60	223324,60
	5,75%	198581,00	202158,90	204365,80	213801,80	220187,30
	6,25%	195756,60	199316,60	201499,00	210821,00	217118,10
	6,75%	192993,20	196535,60	198694,00	207904,30	214115,00
	7,25%	190289,30	193814,10	195949,10	205050,10	211176,20

Tabela 13 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MGB) à variação da taxa de juros e do preço do Biodiesel.

Valor do Projeto com Opções (MGB)		Preço do Biodiesel (R\$/litro)				
		1,780	1,958	2,154	2,369	2,606
Taxa de juros livre de risco	5,25%	203104,30	211251,4	211322,90	209714,90	212921,8
	5,75%	200227,30	208260,9	208337,20	206773,50	209941,1
	6,25%	197412,70	205335,2	205416,30	203895,70	207024,8
	6,75%	194659,00	202472,6	202558,20	201079,70	204171,2
	7,25%	191964,30	199671,3	199761,40	198323,80	201378,5

Tabela 14 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MGB) à variação do preço da Torta de Mamona e do preço do Biodiesel.

Valor do Projeto com Opções (MGB)		Preço do Biodiesel (R\$/litro)				
		1,780	1,958	2,154	2,369	2,606
Preço Torta de Mamona (R\$/ton)	220,00	190315,90	192762,3	196418,00	198429,90	206724,3
	320,00	194245,00	196643,6	200198,20	202095,70	210116,4
	420,00	198408,70	200757,1	204219,80	206007,70	213742,7
	520,00	202806,30	205103,4	208480,10	210167,40	217606,5
	620,00	207430,90	209677,4	212974,00	214567,20	221709,9

Os resultados das **Tabelas 12, 13 e 14** são consolidados, respectivamente, nas **Figuras 28, 29 e 30**.

Figura 28 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MGB) com variação da taxa de juros e do preço da Torta de Mamona.

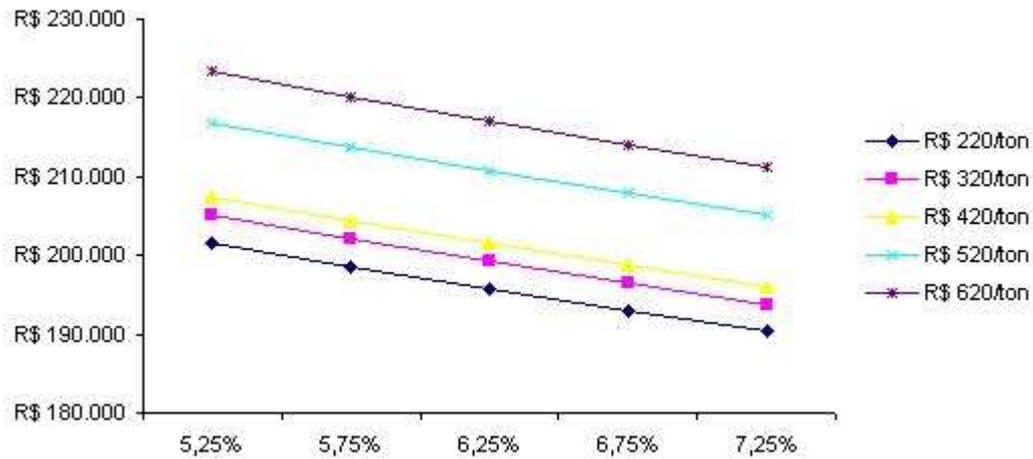


Figura 29 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MGB) à variação da taxa de juros e do preço do Biodiesel.

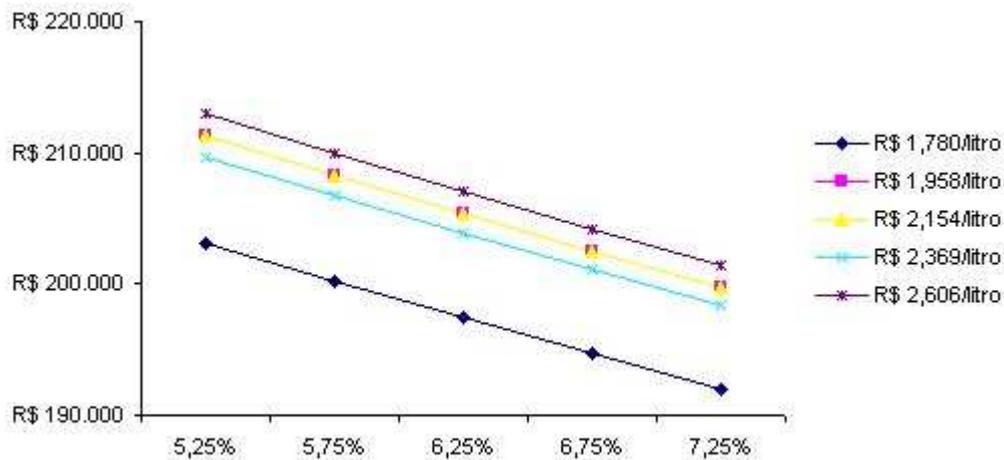
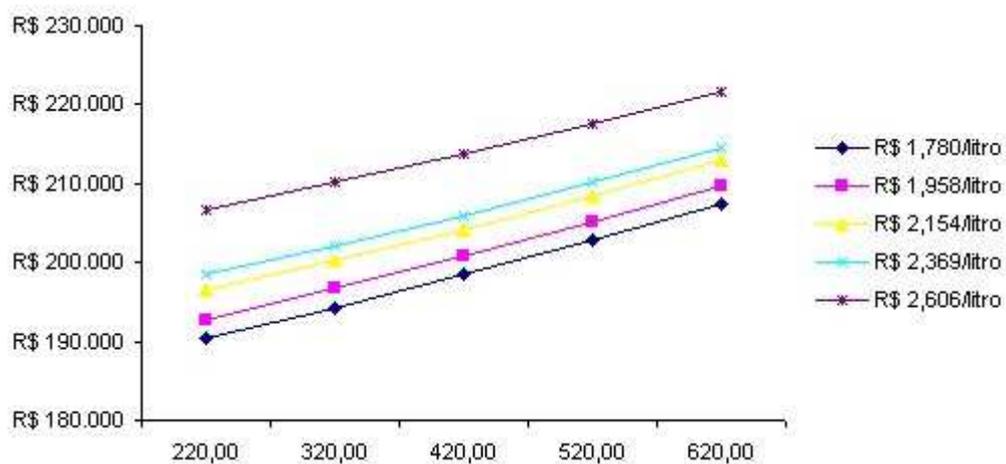


Figura 30 - Sensibilidade do Valor do Projeto com Opções (via MGB) à variação do preço da Torta de Mamona e do preço do Biodiesel.



Como era esperado, o valor do Projeto com Opções é inversamente proporcional à taxa de juros livre de risco, já que esta foi utilizada como taxa de desconto do Projeto. Os preços do Biodiesel e da Torta de Mamona, como influem positivamente nos fluxos de caixa aumentam o valor do Projeto quando aumentam de valor.

No caso do MRM, pode-se notar uma influência mais significativa dos preços da Torta de Mamona e do Biodiesel no valor da Opção, dada a evidente convergência das curvas, conforme pode ser observado na **Figura 27**. Isso ocorre porque as demais variáveis (com exceção do óleo de algodão) reverteram a preços médios menores dos que os atuais, enquanto o preço da Torta de Mamona e do Biodiesel são fixos em todo o período.

Mesmo com a evidente influência do valor das variáveis “Preço do Biodiesel” e “Preço da Torta de Mamona” nota-se que, para todos os intervalos simulados de variação destas variáveis, as opções de conversão associadas ao Processo Produtivo do Biodiesel têm valor, sendo possível gerar cenários mais favoráveis e que adicionem valor à análise tradicional pelo Fluxo de Caixa Descontado.