

Comparando CVaR e a Variância como medidas de risco em Usinas Sucro Alcooleiras

Celma de Oliveira Ribeiro

Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Almeida Prado, 128, Tr. 2 biênio, 2º andar, CEP 05508-900, São Paulo, SP
celma@usp.br

William Tsunomachi

Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Almeida Prado, 128, Tr. 2 biênio, 2º andar, CEP 05508-900, São Paulo, SP
william.tsunomachi@usp.br

Anna Andra Kajdacsy Balla Sosnoski

Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Almeida Prado, 128, Tr. 2 biênio, 2º andar, CEP 05508-900, São Paulo, SP

Resumo

O risco financeiro ao qual o produtor agrícola está exposto no momento da comercialização do produto final demanda o uso de instrumentos de redução de risco, a fim de assegurar um preço que viabilize economicamente o processo produtivo. Este artigo analisa o problema de elaboração de estratégias de proteção financeira na presença de restrições de produção, através de um modelo de otimização multi-período determinístico. O comportamento do modelo proposto é analisado no caso do mercado sucroalcooleiro, para a gestão financeira de usinas sucroalcooleiras, sendo as estratégias de *hedging* construídas com base no mercado futuro de açúcar. Neste artigo vamos comparar duas medidas de risco o Modelo de Markowitz (1952) que buscava a mínima variância e o modelo de Rockafellar e Uryasev (2002) que usa o CVaR como medida de risco.

Palavras-chave: Otimização; Commodities agrícolas, Medida de Risco

Comparing CVaR and variance like risk measure in a sugar cane factory

Abstract

Agricultural producers face financial risk at the moment of final products selling. This imposes the use of instruments to reduce risks in order to assure prices and production process economical feasibility. This paper examines the problem of creating hedging strategies with production constraints and proposes a deterministic mutiperiod optimization model to solve it. Uncertainty is introduced in the model through scenario trees and risk is analyzed according traditional mean variance approach. The model is analyzed in the sugar market, to help financial management of a sugar cane plant. In this paper we will compare two risk measure the Markowitz model (1952) that minimize the variance and the Rockafellar e Uryasev model (2002) that use CVaR like risk measure.

Key-words: Optimization; Agricultural Commodities. Sugar and Ethanol Sector; Risk Measure

1. INTRODUÇÃO

A evolução da agroindústria canavieira nacional e a incerteza presente nos preços dos produtos têm demandado um melhor posicionamento financeiro por parte dos produtores, exigindo o emprego de estratégias de produção e financeiras elaboradas. O mercado sucroalcooleiro é marcado por grande incerteza o que impõe aos produtores uma definição adequada de políticas de produção e estruturação financeira.

Dentro das diversas possibilidades de proteção financeira existentes no mercado de capitais é comum o emprego de estratégias de compra e venda em mercados de derivativos, com destaque para o mercado futuro. Estes mercados são bastante líquidos e apropriados para assegurar preços de commodities, reduzindo o risco financeiro. Há uma extensa literatura a respeito de estratégias de redução de risco em mercados futuros, porém em geral admite-se que o investidor possui (ou deve adquirir) um ativo e procura vender (ou comprar) o mesmo ativo no mercado futuro de forma a fixar preços. A questão de gestão da posição física em geral não é considerada e conseqüentemente a decisão de produção é tomada de forma isolada da estratégia financeira. Visando reduzir a lacuna existente entre o problema de redução de riscos financeiros e produção, este artigo considera estratégias de *hedging* em mercados futuros em conjunto com as decisões de produção de uma usina sucroalcooleira.

Dentre os diversos riscos associados ao processo de produção e comercialização de produtos derivados de cana de açúcar este artigo trata especificamente da gestão de risco de preço, que consiste na possibilidade do preço do produto final oscilar em sentido contrário ao interesse do produtor, caindo a níveis insuficientes para remunerar o custo de produção. No caso específico dos mercados de álcool e açúcar, a determinação de preços é bastante complexa tanto do ponto de vista de previsão quanto em termos da descrição dos processos estocásticos que regem os preços, o que dificulta a construção de estratégias.

O artigo está estruturado da seguinte maneira. A seção 2 apresenta conceitos referentes aos preços de commodities e estratégias de *hedging*. O modelo proposto é apresentado na seção 3, sendo os resultados computacionais discutidos na seção 4. A conclusão é apresentada na seção 5.

2. RISCO DE PREÇO E HEDGING NO MERCADO SUCRO ALCOOLEIRO

Os mercados de commodities agrícolas, em particular o mercado sucroalcooleiro, apresentam peculiaridades que os distinguem dos mercados de ativos financeiros. Em função de sazonalidade, de variações climáticas, descasamentos de oferta e demanda, possibilidade de armazenagem, políticas protecionistas em âmbito mundial entre outros fatores, os preços de commodities são marcados por grande volatilidade o que dificulta significativamente a gestão financeira por parte de agentes do setor. Há duas questões importantes para o produtor rural: como financiar a produção desde o momento de plantio até a colheita e como assegurar preços ao final da colheita. Para o financiamento da produção o produtor conta com várias alternativas que incluem diferentes títulos de crédito regulados por lei. O processo de comercialização de commodities por sua vez pode ocorrer de diferentes maneiras, seja através do mercado a vista, a termo ou através de contratos de venda antecipada, o que inclui os mercados futuros.

Além dos movimentos sazonais resultantes de condições de plantio e colheita, peculiaridades do mercado mundial caracterizado por barreiras protecionistas e interferência governamental, dificultam a tomada de decisão. A cana de açúcar tem sua colheita no início do outono, uma característica que determina o comportamento dos preços desses produtos. Nas estações comumente chuvosas do Brasil (setembro a março), a produção de cana cai (entressafra), aumentando nos meses de abril a agosto, período de pouca chuva, que é o período de safra. Em decorrência da evolução da tecnologia disponível para o cultivo e produção de cana e seus subprodutos, o período de safra e entressafra tem apresentado variações que levam à impossibilidade de identificar sazonalidade nestes preços através de análise estatística. No caso do açúcar, em particular, são observadas também oscilações nos preços do açúcar decorrentes de desajustes entre oferta e demanda em nível mundial.

No mercado de derivativos há diversos instrumentos que possibilitam a redução do risco de preço, em especial os contratos futuros e as opções. Este artigo trata especificamente de estratégias que empregam o mercado futuro. Através da combinação de duas posições, uma no mercado à vista e outra no mercado futuro, é possível reduzir o risco de preço a que um produtor agrícola está exposto. Estas operações são conhecidas como estratégias de *hedging*. A questão de *hedging* com o uso de mercado futuro é objeto de estudo há mais de cinco décadas. Working (1953), em artigo clássico na área de *hedging* em commodities, discute o papel dos mercados futuros como instrumento de proteção contra flutuações de preços. O autor trata do uso de estratégias com futuros por parte dos diversos agentes do mercado, destacando a quase inexistência de produtores (*farmers*) que, na época, utilizavam estas ferramentas. Collins (1997) destaca o amplo espectro no uso de estratégias de *hedging*, que depende fundamentalmente do agente que o utiliza dentro da cadeia de suprimentos, e salienta a importância dos fundos de investimento dentro deste mercado. Tomek e Peterson (2001) discutem abordagens empregadas por produtores agrícolas na gestão de risco de preço e apontam as dificuldades existentes na elaboração de modelos para elaboração de estratégias de *hedging*. Garcia e Leuthold (2004) apontam como uma importante área de pesquisa a ligação entre o *hedging* e a estrutura de capital do produtor.

Em geral a elaboração de estratégias de *hedging* refere-se à construção de carteiras que maximizam a utilidade esperada do investidor, usualmente retratada pela minimização de alguma medida de risco. Ou seja, busca-se resolver o problema $\max_{C_f} E[U(C_f)]$ onde C_f denota o número de unidades de contratos no mercado futuro que se deve comprar (ou vender) para cada unidade do ativo à vista C_s disponível, sendo $U(\cdot)$ a utilidade do investidor. Assume-se que a posição em caixa é fixa, se procura uma posição ótima no futuro, sendo que a função utilidade reflete a aversão ao risco do investidor. O quociente C_f/C_s é denominado razão de *hedge*.

Há essencialmente duas abordagens na construção de estratégias de *hedging*: as estáticas que presumem que a razão de *hedge* se mantém constante ao longo do tempo, desde a elaboração da estratégia até o momento em que uma posição é revertida (por exemplo, no vencimento do contrato futuro ou na execução da posição à vista), e as dinâmicas são alteradas ao longo do tempo e envolvem o cálculo da razão de *hedge* com base em informações condicionais (CHEN et al., 2003). Um modelo estático bastante conhecido é o de mínima variância, proposto por Johnson (1960), na qual se minimiza o risco do portfólio, avaliado através da variância das mudanças no valor do portfólio com estratégia de *hedging*, que conduz a uma expressão simples para o cálculo da razão de *hedge*. Emprega-se, neste caso uma abordagem consistente com a de modelos de composição de carteiras proposta por Markowitz (LUENBERGER, 1997), quando se constatou que desvios positivos e negativos têm um impacto diferente para os investidores, foi necessário o uso de métricas percentis, como por exemplo, o *Value at Risk* (VaR) e o *Conditional Value at Risk* (CVaR). O VaR é uma métrica que quantifica o potencial máximo de perda que um ativo financeiro pode sofrer dentre um certo nível de confiança, porém o VaR não analisa as perdas que podem ocorrer quando ultrapassamos o valor máximo de perda. Em 1999 Artzner ET AL., mostrou que o VaR não possui subaditividade e convexidade, assim não podemos considerar esta métrica como uma medida de risco coerente.

Poucos artigos na literatura procuram tratar de problemas de gestão de carteiras constituídas de ativos físicos e financeiros. Chen et al. (2003) analisam modelos multiperíodo para elaboração de políticas de estoque e apreçamento, com base em medidas de utilidade aditivas que incorporam a aversão ao risco do investidor. Geman e Ohana (2008) tratam de problemas de armazenagem e venda de contratos por parte de um vendedor de varejo que trabalha em um universo no qual a demanda pelo produto e a evolução de preços é estocástica.

3. O MODELO PROPOSTO

O modelo proposto para determinação de estratégias de *hedging* considera restrições de produção. Assume-se que um produtor sucroalcooleiro deve determinar uma estratégia de

produção em conjunto com uma estratégia de *hedging* no mercado futuro, dentro de um horizonte de planejamento H , podendo optar, no período $t \in \{1, 2, \dots, K, H\}$, por três alternativas distintas: vender parte de sua produção no mercado físico à vista, armazenar parte de sua produção, ou vender no mercado futuro, adotando uma estratégia de *hedge* para parte de sua produção. Em cada período está disponível uma quantidade C de cana-de-açúcar que pode tanto ser convertida para álcool anidro, álcool hidratado ou açúcar. A produção no instante t (X_t) pode ser armazenada, vendida à vista ou no mercado futuro e, portanto X_t se relaciona com as vendas realizadas no mercado físico (V_t), as vendas realizadas no mercado futuro (VF_t) e a variação do estoque naquele período ($A_t - A_{t-1}$) de acordo com a equação:

$$X_t = V_t + VF_t + A_t - A_{t-1} \quad \forall t$$

O modelo busca maximizar a esperança da utilidade do investidor ao final de um período de um ano (em dias úteis). Vamos adotar duas diferentes maneiras para as tomadas de decisões uma delas mensal e a outra toma as decisões coincidindo com os vencimentos dos produtos no mercado futuro de açúcar (No caso do mercado brasileiro $H = 5$, correspondente aos meses de fevereiro, abril, julho, setembro e novembro). As restrições do sistema produtivo referem-se à capacidade de produção, respeitando-se a capacidade máxima de processamento da cana-de-açúcar e a disponibilidade de matéria prima em cada período do ano (presume-se que não é possível o armazenamento de cana-de-açúcar para processamento em um próximo período). A demanda mínima do mercado para os produtos principais – açúcar e álcool - deve ser atendida, assumindo-se limites superiores e inferiores de produção. Devido às limitações do espaço físico para armazenagem dos produtos derivados da cana, é necessário considerar uma restrição que avalie o giro de estoque não permitindo o acúmulo excessivo da produção nos estoques. Destaca-se que a parcela da produção alocada para vendas no mercado futuro também necessita permanecer em estoque até o próximo vencimento. O modelo não considera a possibilidade de venda de mais de 100% da produção no mercado futuro.

Na produção de açúcar e álcool temos como subproduto o bagaço da cana de açúcar, como existe um mercado para esse produto, vamos comercializá-lo para aumentar o lucro da nossa usina.

3.1 PARÂMETROS DO MODELO

$I = \{1, 2, \dots, N\}$: indexação dos produtos que podem ser produzidos pela usina.

Ce_i : custo de armazenagem (e movimentação) do produto i .

$Cp_i(t)$: custo de produção do produto i no tempo t .

$PF_i(t)$: preço no mercado futuro do primeiro vencimento do produto $i \in I$ no instante t .

$P_{Bag}(t)$: preço do comércio de bagaço no instante t .

$P_i(t)$: preço do produto $i \in I$ no tempo t ;

$D_i(t)$: demanda do produto i no tempo t .

$C(t)$: quantidade de cana disponível no tempo t .

K : Capital mínimo requerido a cada período. Este valor é estimado como o mínimo de riqueza gerada necessária para manter o funcionamento da usina e permitir investimentos no próprio negócio.

$Conv_{X \rightarrow Y}$: Conversor para determinar quantidade obtida de produto Y a partir de determinada quantidade de produto X .

3.2 VARIÁVEIS DE DECISÃO

$t = 0$

$A_i(0)$: quantidade do produto i , $i \in I$, estocado em $t = 0$.

$V_i(0)$: quantidade do produto i , $i \in I$, vendido em $t = 0$.

$VF_i(0)$: quantidade do produto i , $i \in I$, vendido no mercado futuro, tomada de decisão em $t = 0$ e liquidação da posição em $t = 1$.

$Bag(0)$: quantidade de bagaço produzido no tempo $t = 0$.

$t = 1, \dots, H$

$A_i(t)$: quantidade do produto i , $i \in I$, estocado no tempo t .

$V_i(t)$: quantidade do produto i , $i \in I$, vendido no tempo t .

$VF_i(t)$: quantidade do produto i , $i \in I$, vendido no mercado futuro, tomada de decisão em t e liquidação da posição em $t + 1$.

$Bag(t)$: quantidade de bagaço produzido no tempo t .

As variáveis de decisão são medidas em porcentagem da quantidade de cana disponível. Neste artigo apresenta-se a versão determinística do modelo na qual as variáveis de decisão independem do cenário considerado, ou seja, não é adotada uma abordagem de otimização estocástica.

3.3 RESTRIÇÕES

Presume-se que as estratégias de *hedging* sejam realizadas apenas no mercado futuro de açúcar uma vez que não há liquidez no mercado futuro de álcool. As restrições foram elaboradas para que as condições básicas de funcionamento da usina sejam atendidas. São elas:

Retorno da usina

$$R_s(t) = \sum_i (V_i(t)P_i(t)Conv_{cana \rightarrow i} - X_i(t)Cp_i(t)Conv_{cana \rightarrow i}$$

$$- A_i(t)Ce_i(t)Conv_{cana \rightarrow i}) +$$

$$PF_{açúcar}(t)VF_{açúcar}(t-1)Conv_{cana \rightarrow açúcar} +$$

$$P_{Bag}(t)Bag(t)$$

Limite da produção de álcool

$$X_{álcool}(t) = A_{álcool}(t) - A_{álcool}(t-1) + V_{álcool}(t)$$

Limite da produção de açúcar

$$X_{açúcar}(t) = A_{açúcar}(t) - A_{açúcar}(t-1) + V_{açúcar}(t) + VF_{açúcar}(t)$$

Produção não pode exceder a quantidade total de cana

$$X_i(t) \leq C(t) \quad \forall t, \forall i$$

$$\sum_i X_i(t) = C(t) \quad \forall t$$

Satisfazer a demanda mínima

$$D_i(t) \leq V_i(t) + A_i(t-1) \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, H\}, \forall i$$

Produção não pode ser negativa

$$A_i(t) \geq 0 \quad \forall t, \forall i$$

$$X_i(t) \geq 0 \quad \forall t, \forall i$$

$$V_i(t) \geq 0 \quad \forall t, \forall i$$

$$VF_i(t) \geq 0 \quad \forall t, \forall i$$

Limite de Estoque

$$A_i(t) \leq \text{LimEst}(t) \quad \forall t, \forall i$$

Retorno mínimo da usina

$$R(t) \geq K \quad \forall t$$

3.4. FUNÇÃO OBJETIVO

Este artigo analisa duas medidas de risco: O Valor em Risco Condicional (CVaR) e a variância como função objetivo. O vetor de decisão $f_t = [V_t \quad VF_t \quad A_t]^t$ é formado pelos vetores $V_t = (V_1(t), V_2(t), K, V_n(t))$, $VF_t = (VF_1(t), VF_2(t), K, VF_n(t))$ e $A_t = (A_1(t), A_2(t), K, A_n(t))$.

No modelo de Markowitz (1952) a função objetivo busca determinar uma carteira de mínima variância. Sendo a matriz de covariância representada por Σ , a função objetivo neste caso:

$$\text{Min} \quad f_H^t \Sigma f_H$$

Segundo Jorion (1997), o Valor em Risco (VaR) é uma medida de risco que sintetiza a pior perda esperada dentro de um fixado período de tempo com uma determinada confiança. Artzner et al. (1999), mostraram que o VaR não pode ser considerado uma medida de risco coerente pois não possui subaditividade e convexidade. Para sanar os problemas do VaR, Rockafellar e Uryasev (2002) criaram o CVaR como medida de risco. Analisando a distribuição de probabilidade da perda, o CVaR mede a perda média para valores à direita do Var, sendo portanto maior que o VaR. Com base em geração de cenários pode-se verificar que o CVaR, quando empregados em modelos de composição de carteiras, pode ser escrito como: Min

$$\alpha + \frac{1}{q(1-\beta)} \sum_{k=1}^q u_k$$

$$\text{s.t.} \quad x^T y_k + \alpha + u_k \geq 0$$

$$u_k \geq 0$$

Onde:

$k = 1, \dots, q$ representa os cenários de decisões a serem tomadas

$f(x, y_k)$ = função distribuição de perdas, sendo x a posição tomada e y_k o retorno no período k .

β = nível de confiança

α = variável que representa o valor de VaR (Value at Risk)

u_k = variáveis que representam as perdas na usina

4. APLICAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS

4.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

Os preços de fechamento dos contratos de álcool e açúcar no mercado à vista foram obtidos através do site do CEPEA/ESALQ, considerando o período de 4 de janeiro de 2002 à 6 de fevereiro de 2009. Os preços do mercado futuro do açúcar foram obtidos através de um terminal Bloomberg, considerando o mesmo período que o do mercado a vista de 4 de janeiro de 2002 à 6 de fevereiro de 2009. Com os históricos das cotações do mercado futuro e a vista foram construídos os cenários mensais com as cotações de cada mês, por exemplo, o período de janeiro

tem as cotações de janeiro do ano de 2002 até 2009. De maneira análoga para os períodos coincidentes com o vencimento do mercado futuro do açúcar (fevereiro, abril, julho, setembro e novembro) os cenários são construídos a partir de dados do mercado futuro do açúcar.

Os dados sobre custos de produção do álcool e do açúcar e os fatores de conversão de cana em açúcar, cana em álcool e a quantidade gerada de bagaço de cada um desses produtos, foram concedidos por uma empresa do setor de segurança do trabalho¹.

Em cada período da tomada de decisão está disponível uma quantidade C em toneladas de cana de açúcar que pode tanto ser convertida para álcool anidrido, álcool hidratado como para açúcar.

A demanda de álcool foi estimada com base na evolução projetada da venda de veículos bi-combustível (*flex*) e no número de veículos em circulação. Presume-se que a participação de veículos *flex* na frota total se expressa através de uma curva de Gompertz, calibrada com base em dados da ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Assumindo-se um consumo médio mensal para estes veículos e a porcentagem de álcool adicionada a gasolina, obtém-se qual seria a necessidade do mercado de álcool. No caso do açúcar a demanda é estável e sabe-se que seus valores oscilam entre 30 e 40% da produção de cana-de-açúcar brasileira, quantidade esta suficiente para abastecer o mercado interno e permitir a exportação.

4.2 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

As restrições de demanda e de riqueza mínima por período levaram à inviabilidade do modelo, pois em alguns períodos a cotação do açúcar e do álcool era inferior ao custo de produção dos mesmos. Como o foco principal deste trabalho é a análise de estratégias financeiras, optou-se por relaxar as restrições de riqueza mínima. Cabe destacar que os dados obtidos a respeito do custo de produção e do lucro mínimo, não são confiáveis, pois cada usina tem os seus parâmetros e seria difícil achar um valor geral que possa representar estes valores de maneira fiel.

As tabelas abaixo apresentam os resultados da simulação como a venda à vista do álcool anidrido ($V_{anidrido}(t)$), venda à vista do álcool hidratado ($V_{hidratado}(t)$), venda do açúcar à vista ($V_{açúcar}(t)$), venda do açúcar no mercado futuro ($VF_{açúcar}(t)$), quantidade estocada de açúcar ($A_{açúcar}(t)$), quantidade estocada de álcool anidrido ($A_{anidrido}(t)$), quantidade estocada de álcool hidratado ($A_{hidratado}(t)$).

A soma das vendas à vista, com as vendas futuras e a variação de estoque tanto de álcool como de açúcar de um período para o período subsequente não deve ultrapassar 1 (100%), de acordo com as restrições do problema. No entanto como o estoque é acumulativo e pode não ser utilizado para vendas no período subsequente, seu valor pode superar 1.

As tabelas 1 e 2 mostram os resultados obtidos da simulação utilizando como medida de risco o CVaR e a Variância respectivamente. Os períodos de tomada de decisão desse modelo coincidem com os vencimentos do mercado futuro do açúcar.

	$V_{anidrido}(t)$	$V_{hidratado}(t)$	$V_{açúcar}(t)$	$VF_{açúcar}(t)$	$A_{açúcar}(t)$	$A_{anidrido}(t)$	$A_{hidratado}(t)$
Fevereiro	0,30	0,30	0,36	0,00	0,04	0,00	0,00
Abril	0,42	0,30	0,26	0,17	0,06	0,00	0,00
Junho	0,30	0,30	0,24	0,15	0,04	0,00	0,00
Setembro	0,30	0,30	0,26	0,00	0,04	0,00	0,00
Novembro	0,48	0,30	0,26	0,22	0,00	0,00	0,00

Tabela 1 – Decisões ótimas através do uso de CVaR

¹ CIPA- Serv. Esp. Ass. de Seg. e Trein. Indl. Ltda

Os valores do Valor em Risco e do Valor em Risco Condicional neste problema foram $VaR = 0,0167$ e $CVaR = 0,0223$.

	$V_{anidrido}(t)$	$V_{hidratado}(t)$	$V_{açúcar}(t)$	$VF_{açúcar}(t)$	$A_{açúcar}(t)$	$A_{anidrido}(t)$	$A_{hidratado}(t)$
Fevereiro	0,30	0,30	0,30	0,00	0,10	0,00	0,00
Abril	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Junho	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Setembro	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Novembro	0,50	0,30	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10

Tabela 2 – Decisões ótimas através do uso da Variância

A variância obtida neste caso foi de 10,8376.

As tabelas 3 e 4 mostram os resultados obtidos da simulação utilizando como medida de risco o CVaR e a Variância respectivamente, as tomadas de decisões desse modelo são mensais.

	$V_{anidrido}(t)$	$V_{hidratado}(t)$	$V_{açúcar}(t)$	$VF_{açúcar}(t)$	$A_{açúcar}(t)$	$A_{anidrido}(t)$	$A_{hidratado}(t)$
Janeiro	0,33	0,33	0,30	0,04	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	0,34	0,34	0,30	0,03	0,00	0,00	0,00
Março	0,30	0,30	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril	0,33	0,33	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00
Mai	0,33	0,33	0,30	0,04	0,00	0,00	0,00
Junho	0,33	0,33	0,30	0,03	0,00	0,00	0,00
Julho	0,33	0,33	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,33	0,33	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00
Setembro	0,33	0,33	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00
Outubro	0,30	0,30	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembro	0,33	0,33	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00
Dezembro	0,33	0,33	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00

Tabela 3 – Decisões ótimas através do uso de CVaR

Os valores do Valor em Risco e do Valor em Risco Condicional neste problema foram $VaR = 0,1531$ e $CVaR = 0,4403$.

	$V_{anidrido}(t)$	$V_{hidratado}(t)$	$V_{açúcar}(t)$	$VF_{açúcar}(t)$	$A_{açúcar}(t)$	$A_{anidrido}(t)$	$A_{hidratado}(t)$
Janeiro	0,30	0,30	0,30	0,00	0,10	0,00	0,00
Fevereiro	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Março	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Abril	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Mai	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Junho	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Julho	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Agosto	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Setembro	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Outubro	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Novembro	0,50	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
Dezembro	0,50	0,30	0,20	0,00	0,00	0,10	0,00

Tabela 4 – Decisões ótimas através do uso da variância

A variância obtida neste caso foi de 52,0570.

5. CONCLUSÃO

Observa-se ao utilizar o CVaR como função objetivo que os resultados não têm uma preferência de produção tão grande para nenhum produto, quando comparados com as soluções do problema de mínima variância. Esta preferência pela produção de um produto mostra como a variância pode correr um risco maior por não diversificar tanto os produtos produzidos na usina e também por não investir tanto no mercado futuro, que poderia ser uma estratégia de *hedging* adotada pela usina.

O modelo desenvolvido revela-se útil para decisões relativas a *hedging* no mercado sucroalcooleiro. Boa parte dos modelos propostos na literatura trabalha com estratégias de *hedging* sem considerar as restrições presentes no meio produtivo e conseqüentemente possuem pouca aplicação prática. Verificou-se com este estudo que os modelos propostos para construir estratégias de *hedging* podem ser aprimorados se considerarem as restrições do sistema produtivo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHEN, S. S.; LEE, C.F.; SHRESTHA, K. Futures hedge ratios: a review. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 43, p. 433-465, 2003.
2. COLLINS, R.A. Toward a positive economic theory of hedging. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 79, n.2, p. 488-499, 1977.
3. GARCIA, P., LEUTHOLD, R.M. A Selected Review of Agricultural Commodity Futures and Options Markets. *European Review of Agricultural Economics*, v.31, p.235-72, 2004.
4. GEMAN, H. *Commodities and Commodity Derivatives: Modeling and Pricing for Agriculturals, Metals and Energy*. England: Wiley, 2005.
5. GEMAN, H., OHANA, S. Time-consistency in managing a commodity portfolio: A dynamic risk measure approach. *Journal of Banking & Finance*, v.32, p.1991-2005, 2008.
6. GULPINAR, N; RUSTEM, B; STTERGREN, R. Simulation and optimization approaches to scenario tree generation. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 28, n.7, p.1291-1315, 2004.
7. HOYLAND, K; WALLACE, S, W. Generating Scenario Trees for Multistage Problems. *Management Science*, v. 47, n.2, p. 295-307, 2001.
8. JOHNSON, L.L. The theory of hedging and speculation in commodity futures. *Review of Economic Studies*, v. 27, p. 139-151, 1960.
9. JORION, PHILIPPE. Value at Risk – A nova fonte de referência para a gestão do risco financeiro. BM&F, 1997
10. LUENBERGER, D. G. *Investment Science*. New York: Oxford University Press, 1997.
11. ROCKAFELLAR, R. T.; URYASEV, S. Optimization of conditional value-at-risk. *Journal of Risk*, 2, 21-41, 2002
12. TOMEK, W.G., PETERSON, H.H., Risk Management in Agricultural Markets: a Review. *Journal of Futures Markets*, v.21, n.10, p. 953-985, 2001.
13. TSENG, C., BARZ, G. Short-Term Generation Asset Valuation: A Real Options Approach. *Operations Research*, v. 50, n.2, p.297-310, 2002.
14. WORKING, H. Trading and hedging. *The American Economic Review*, v.43, p.314-343, 1953.