

# UM PROTÓTIPO DE SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA O GERENCIAMENTO DE RISCO EM ATIVOS DA AGROINDÚSTRIA BRASILEIRA

Felipe Macedo de Moraes Pinto<sup>1</sup>; Adiel Teixeira de Almeida Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Produção- CTG – UFPE; E-mail: felipe\_mmp94@hotmail.com

<sup>2</sup>Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Produção– CTG – UFPE. E-mail: adieltaf@gmail.com.

**Sumário:** Este artigo apresenta um Sistema de Apoio a Decisão criado para auxiliar o usuário na formulação de portfólios de investimentos em ativos de risco através de uma abordagem bayesiana, baseado na teoria moderna do portfólio, de Markowitz. O modelo implementado maximiza a utilidade esperada assumindo uma função utilidade exponencial de um usuário avesso ao risco, através do Risco de Bayes. Para ilustrar a funcionalidade do SAD é apresentada uma aplicação numérica para o caso de um investidor no mercado financeiro do Reino Unido.

**Palavras-chave:** análise de portfólio; Markowitz ; risco de Bayes; sistema de apoio a decisão;

## INTRODUÇÃO

No Brasil o portfólio de subprodutos da cana-de-açúcar é diverso. Esta cultura é utilizada na produção principalmente de açúcar (cristal, refinado, dentre outros) e etanol (anidro e hidratado) e, em menor escala, na fabricação de aguardente e alimentação de bovinos. Além disso, de acordo com a UNICA (2013), da biomassa resultante dos resíduos da cana se extrai energia que é empregada na fabricação de açúcar e etanol o que possibilita autossuficiência energética das usinas durante processo produtivo.

Apesar de ser o maior produtor de cana de açúcar, a produção de cana de açúcar não é suficiente para suprir a demanda pelos seus derivados, portanto, resultando num equilíbrio entre oferta e demanda baseado em elevados preços dos produtos derivados, como por exemplo, o etanol hidratado, utilizado como combustível automotivo.

Este trabalho apresenta um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) cujo modelo matemático é construído baseado no modelo proposto por Moraes & Almeida Filho (2014), que possui a finalidade de auxiliar o usuário na formulação de um portfólio de ativos financeiros para aplicar seu capital, segundo a teoria moderna do portfólio (Markowitz, 1952). Neste trabalho, estes ativos financeiros se apresentam na escolha de quais subprodutos da cana-de-açúcar investir, e em que proporção, baseado no cálculo do Risco de Bayes. Então, serão considerados para estudo os três principais subprodutos da cana, açúcar cristal, etanol anidro e etanol hidratado. Um SAD é composto por todos os intervenientes na tomada de uma decisão, desde a extração de dados, passando pelo armazenamento, uso de modelos, interface e até o próprio utilizador (Sprague, Jr. & Watson, H.). Estes sistemas foram criados com o intuito de servir de adjuntos às pessoas que realizam decisões importantes, de maneira a expandir as suas capacidades, mas sem substituir as suas decisões. SAD são usados em decisões, em que um julgamento é necessário, ou em decisões que não podem ser tomadas exclusivamente pelo resultado da aplicação de um algoritmo, servindo assim somente como uma ferramenta para um usuário que deverá tomar a decisão final, não designado para definir a ação de forma autônoma.

Diversos estudos foram realizados sobre o processo de seleção de portfólios. O mais renomado e conhecido modelo de seleção de portfólios foi o desenvolvido por Markowitz (1952), que tinha como objetivo maximizar o retorno esperado e minimizar a variância do retorno.

Morais & Almeida-Filho (2014) desenvolveram um modelo matemático de otimização de portfólios que unifica as medidas de risco e retorno em função da aversão ao risco do decisor através do Risco de Bayes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi desenvolvido um Sistema de Apoio a Decisão para formulação de portfólios de investimento que incorpora um algoritmo com um método de decisão bayesiano, o Risco de Bayes (Berger, 1985), para usuários com funções utilidades exponenciais (Von Neumann, J & Morgenstern), além de desenvolver um método algébrico para o desenvolvimento deste algoritmo, deduzindo e demonstrando que o Risco de Bayes nesta situação pode ser expresso como uma série infinita convergente no formato da equação (1).

$$r_x(a) = \sum_{\theta} \left\{ P(\theta|x) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{(-\gamma)^n}{n!} \sum_{j=0}^{\frac{n}{2}} \binom{n}{2j} (2j-1)!! \sigma_{\theta}^{2j} \mu_{\theta}^{n-2j} \right] \right\} \quad (1)$$

Deste modo, o modelo matemático presente no Sistema de Apoio de Decisão resolve o problema de otimização descrito na equação (2) e sujeito às restrições expressas pelas equações (3) e (4).

$$\text{Min } r_x(a) = \sum_{\theta} \left\{ P(\theta|x) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{(-\gamma)^n}{n!} \sum_{j=0}^{\frac{n}{2}} \binom{n}{2j} (2j-1)!! \sigma_{\theta}^{2j} \mu_{\theta}^{n-2j} \right] \right\} \quad (2)$$

$$\sum a_i = 1 \quad (3)$$

$$a_i \geq 0 \quad \forall a \quad (4)$$

O SAD também conta com uma ferramenta de teste de sensibilidade, permitindo alterar qualquer parâmetro e comparar os diferentes resultados diretamente com o auxílio visual de gráficos com as diferentes curvas da fronteira eficiente.

## RESULTADOS

A planilha gerada pelo software para um problema de formulação de portfólio para um investidor que deseja decidir em quais commodities derivados da cana aplicar seu capital baseando-se em dados da CEPEA (2015) e UNICA (2013), ilustrada na Figura 1, mostra a fronteira eficiente de cada observação lado a lado, contendo em cada coluna os pontos representantes de uma mesma fronteira eficiente, expressos em função de sua composição no portfólio e incluindo os valores da média, variância e Risco de Bayes de cada um destes pontos.

Figura 1: Fronteira eficiente de cada observação com os dados dos respectivos pontos

Plan1 - Microsoft Excel (Falha na Ativação do Produto)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
% de Etano	% de Etano	% de Açúç Média	Variação	Risco de B.lambda=0,2	observação=0	% de Etano	% de Etano	% de Açúç Média	Variação	Risco de B.lambda=0,2	observação=1	% de Etano	% de Etano	% de Açúç Média	Variação	Risco de B.lambda=0,2	observação=0	% de Etano	% de Etano
1	0	0	-0,043120	0,0020062	0,00870182006565166			0	1	0,1145476	0,0134045	-0,0223870490815179			0	0	1	0,053	
2	0,999	0,001	-0,043125	0,0020035	0,00870280557042073			0,999	0,001	0,1144012	0,0133765	-0,0223589770812061			0,001	0	0,999	0,053	
3	0,998	0,002	-0,043130	0,0020008	0,00870379116486135			0,998	0,002	0,1142549	0,0133485	-0,0223309036753865			0,002	0	0,998	0,053	
4	0,997	0,003	-0,043135	0,0019981	0,00870477684897376			0,997	0,003	0,1141085	0,0133205	-0,0223028288639843			0,003	0	0,997	0,053	
5	0,996	0,004	-0,043140	0,0019954	0,00870576262275823			0,996	0,004	0,1139621	0,0132925	-0,0222747526469248			0,004	0	0,996	0,053	
6	0,995	0,005	-0,043146	0,0019927	0,00870674848621501			0,995	0,005	0,1138157	0,0132646	-0,0222466750241331			0,005	0	0,995	0,052	
7	0,994	0,006	-0,043151	0,0019900	0,00870773443934438			0,994	0,006	0,1136694	0,0132367	-0,0222185959955345			0,006	0	0,994	0,052	
8	0,993	0,007	-0,043156	0,0019874	0,00870872048214658			0,993	0,007	0,1135230	0,0132088	-0,0221905155610541			0,007	0	0,993	0,052	
9	0,992	0,008	-0,043161	0,0019847	0,00870970661462188			0,992	0,008	0,1133766	0,0131810	-0,0221624337206172			0,008	0	0,992	0,052	
10	0,991	0,009	-0,043166	0,0019820	0,00871069283677055			0,991	0,009	0,1132302	0,0131532	-0,0221343504741489			0,009	0	0,991	0,052	
11	0,99	0,01	-0,043171	0,0019794	0,00871167914859284			0,99	0,01	0,1130839	0,0131254	-0,022106258215744			0,01	0	0,99	0,052	
12	0,989	0,011	-0,043176	0,0019767	0,0087126655008902			0,989	0,011	0,1129375	0,0130977	-0,0220781797628189			0,011	0	0,989	0,052	
13	0,988	0,012	-0,043182	0,0019741	0,00871365204125934			0,988	0,012	0,1127911	0,0130700	-0,0220500922978075			0,012	0	0,988	0,052	
14	0,987	0,013	-0,043187	0,0019714	0,00871463862210407			0,987	0,013	0,1126447	0,0130423	-0,0220220034264655			0,013	0	0,987	0,052	
15	0,986	0,014	-0,043192	0,0019688	0,00871562529262346			0,986	0,014	0,1124983	0,0130147	-0,021993913148718			0,014	0	0,986	0,052	
16	0,985	0,015	-0,043197	0,0019661	0,00871661205281779			0,985	0,015	0,1123520	0,0129871	-0,0219658214644901			0,015	0	0,985	0,052	
17	0,984	0,016	-0,043202	0,0019635	0,00871759890268731			0,984	0,016	0,1122056	0,0129595	-0,021937728373707			0,016	0	0,984	0,052	
18	0,983	0,017	-0,043207	0,0019609	0,00871858584223227			0,983	0,017	0,1120592	0,0129319	-0,0219096338762939			0,017	0	0,983	0,052	
19	0,982	0,018	-0,043213	0,0019583	0,00871957287145296			0,982	0,018	0,1119128	0,0129044	-0,0218815379721758			0,018	0	0,982	0,051	
20	0,981	0,019	-0,043218	0,0019556	0,00872055999034961			0,981	0,019	0,1117665	0,0128768	-0,021853440661278			0,019	0	0,981	0,051	
21	0,98	0,02	-0,043223	0,0019530	0,0087215471989225			0,98	0,02	0,1116201	0,0128494	-0,0218253419435255			0,02	0	0,98	0,051	
22	0,979	0,021	-0,043228	0,0019504	0,00872253449717189			0,979	0,021	0,1114737	0,0128220	-0,0217972418188436			0,021	0	0,979	0,051	
23	0,978	0,022	-0,043233	0,0019478	0,00872352188509804			0,978	0,022	0,1113273	0,0127946	-0,0217691402871573			0,022	0	0,978	0,051	

Fonte: Autoria Própria

Figura 2: Interface de visualização e importação dos conjuntos de ativos

MODGAINS

Conjunto de Dados de Entrada | Mecanismos de Probabilidade | Resultados

Histórico de Preço dos Ativos | Histórico de Índices Macroeconômicos | Aversão ao Risco

Para cadastrar o histórico de preços dos ativos de investimento, faça o download do modelo de planilha:

Indique o nome do novo ativo de investimento a ser inserido no sistema:

Para inserir o histórico de preços do ativo de investimento, importe a planilha preenchida:

Ativos de investimento adicionados

Açúcar Cristal

Açúcar Cristal	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
janeiro	1,05116975913334	1,07377623005259	1,08818140174072	0,856985016986256	1,07824553431357	1,14159196651517	1,24364466292135	1,04244310747594	0,8465
fevereiro	1,09475106586213	0,959272905919921	1,11073494561138	0,886678172164756	1,17182655583015	1,16830476455789	1,12532437692599	1,05873224666452	0,8848
março	1,1295978358262	0,929381427027347	1,2082090782395	0,856187968401884	1,21363269261832	1,13643264229362	1,14908766362555	1,0819826670605	0,9022
abril	1,18446105976873	1,05642875115323	1,22502516548211	0,917480803606561	1,19991117408821	1,12785095545534	1,07403870056128	1,05379168855863	0,9093
maio	1,2953731624576	0,995991857474239	1,33698037211819	0,913723570660906	1,19666463290624	1,13699422449852	1,05088378778916	1,05154412227184	0,9679
junho	1,2673258282873	1,05083861584913	1,38606272824274	1,12391690404396	1,15381617476669	1,12906621922833	0,991423904940218	0,998319338040005	0,9614
julho	1,22155465409495	1,09480265467494	1,35891391286045	1,11367223741761	1,11714947972386	1,1203952855277	0,945125497614275	0,91304497337819	0,9907
agosto	1,29953181527985	1,15976987947694	1,20555261065465	1,1036175646525	1,10116377161701	1,10263632434688	0,990679854192564	0,851870512659025	0,9862
setembro	1,41689218956511	1,06288326457799	1,10221395348837	1,22052677233657	1,06955387563884	1,10417624772792	0,91547140284562	0,821327339048814	1,0100
outubro	1,1686924132523	1,04107718445831	1,1074327689243	1,15878150694164	1,08654117315285	1,09932041278631	0,973761146031282	0,797353925781714	1,0471
novembro	1,15249336194668	1,05420092843449	1,05639613309353	1,08797121196241	1,06709542380765	1,1591049837806	0,962286876365595	0,768920656757484	1,0533
dezembro	1,1398018018018	1,0099285445656	0,909714843326466	1,00676564156946	1,10991318319168	1,28008421175322	0,935808832814814	0,830526490412087	0,9965

Fonte: Autoria própria

## DISCUSSÃO

O SAD desenvolvido, que possui uma de suas interfaces apresentada na Figura 2, é de simples e intuitiva utilização: basta importar as planilhas de séries históricas de dados (ativos e observações) e nomeá-las, informar a aversão ao risco do usuário, podendo isto ser realizado tanto de forma direta quanto eduzida, e então clicar no botão 'Processar Informações' para processar internamente os dados e em seguida no botão 'Gerar Resultado' para gerar uma planilha do Excel que apresenta informações sobre a média, desvio-padrão, composição e Risco de Bayes de todos os pontos do conjunto pertencentes à fronteira eficiente em cada um dos cenários de observações possíveis avaliados, com destaque para o portfólio de menor Risco de Bayes sendo esta a decisão recomendada pelo modelo neste cenário.

Após o processamento dos dados, o software disponibiliza informações detalhadas em tabelas sobre todos os conjuntos de dados refinados que são utilizados na geração de resultados, criando assim uma janela através da qual o usuário pode acompanhar de forma clara o desenvolvimento matemático dos dados e ver o elo entre os dados fornecidos e os resultados obtidos.

Ao término da geração de resultados, além da criação de um arquivo no formato Excel com informações sobre a média, desvio-padrão, composição e Risco de Bayes de todos os pontos do conjunto pertencentes à fronteira eficiente em cada um dos cenários de observações possíveis avaliados, a exemplo da Figura 1, torna-se possível também a realização de testes de sensibilidade através de uma nova interface diretamente no software, permitindo alterar diretamente as variáveis e parâmetros utilizadas nos cálculos e realizar uma comparação direta entre os cenários levantados.

### CONCLUSÕES

O SAD construído é bastante útil para utilização como uma ferramenta para um investidor no mercado financeiro, no intuito de que, uma vez definida com precisão a função utilidade do usuário, ele permite unificar as medidas de retorno e variabilidade do portfólio, reduzindo ambiguidades e indecisões a respeito do portfólio preferido entre os candidatos, permitindo uma visão mais precisa sobre as características principais das melhores decisões possíveis, gerando resultados flexíveis que se adaptam ao usuário e ao cenário encontrado.

Para trabalhos futuros, o objetivo é expandir a gama de formatos de funções utilidade aceitas no SAD, bem como permitir na análise de sensibilidade a liberdade de alterar os valores da distribuição *a posteriori*.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente apoiado pelo CNPq.

### REFERÊNCIAS

- Almeida, A.T. (2013) Processo de Decisão nas Organizações. 1ª ed.; São Paulo.
- BERGER, J.O. (1985). *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. Springer-Verlag, Berlin.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - ESALQ/USP. Indicadores de Preços. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/indicador/>> Acesso em: Janeiro de 2015.
- MARKOWITZ, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7, 77-91.
- MORAIS, F.M. ; ALMEIDA FILHO, A.T. ; Uma proposta de risco de Bayes utilizado na análise de risco de ativos financeiros para decisores avessos a risco. In: Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2015.
- SPRAGUE, JR.; WATSON, H. *Decision support systems: putting theory into practice*. USA: Prentice-Hall, 1989.
- UNICA, 2013. União da Indústria de Cana-de-açúcar. Setor Sucroenergético. Disponível em: <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)> Acesso em: Janeiro de 2015.
- VON NEUMANN, J ; MORGENSTERN, O. (1947) *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.