12
Referências bibliográficas

[1] Agência Nacional de Energia Elétrica – www.aneel.gov.br

[2] Billera, L. J.and David C. Heath (1982), Allocation of Shared Costs: A Set of Axioms Yielding A Unique Procedure, Mathematics of Operations Research, Vol.7, No.1, 32-39.

[3] Bonneville Power Administration, BPA Power Business Line, http://www.bpa.gov/power/

[4] Campodonico N., Pereira M.V., Kelman R., "Long-term hydro scheduling based on stochastic-models", Proceedings of EPSOM 1998.

[5] Fortunato L.A.M., Neto T.A.A., Albuquerque J..R., Pereira M.V.F. - Introdução ao Planejamento da Expansão e Operação de Sistemas de Produção de Energia Elétrica. ELETROBRÁS/Editora Universitária da UFF, 1990.

[6] Kelman J., Kelman R., Pereira M., "Energia Firme Sistemas Hidrelétricos e Usos múltiplos dos recursos hídricos", Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003.

[7] Maschler, M, Peleg, B. Y Shapley, L. (1979) Geometric Properties Of The Kernel, Nucleolus, And Related Solutions Concepts. Mathematics of Operations Research, vol. 4, no. 4, pp. 303-338.

[8] Myerson, R. (1991) Game Theory Analysis Of Conflict. Harvard University Pres, London, Inglaterra.

[9] Oliveira G. C., Granville S., Pereira M., Applications in Energy: Electrical Power, Handbook of Applied Optimization, Edited by P. M. Pardalos and M. G. C. Resende, Oxford University Press, 2002.

[10] Shapley L.S., Cores of convex games, Int. J. Game Theory 1 (1971), 11_26.

[11] Vieira, X. and Granville, S. and Pereira, M. and Gorenstin, B. and. Mello, J. and Melo, A., "Ancillary Services: How to Allocate Costs in an Optimization-Based Framework", Proceedings of the CIGRÉ Symposium, Neptun, 1997.

[12] Von NEUMANN, John; MORGENSTERN, Oskar. Theory of Games and Economic Behaviour. Princeton Press, 1947.

[13] Young, H., "Cost allocation", Handbook of game theory with economic applications", edited by Robert Aumann and Sergiu Hart. N.H Elsevier, 1994

[14] R. Kelman, L.A.Barroso, M.V.Pereira, "Market power assessment in hydrothermal systems", IEEE Trans. Power Syst, Vol. 16, No.3, 2001

[15] Vieira F.X., Pereira M., Gorenstin B., Mello J., Melo A., Granville S., "Transmission System cost allocation based on cooperative game theory" Brasil, 1997.

[16] Ransmeier, J., "The Tennessee Valley Authority: a case study in the economics of multiple purpose stream planning", Vanderbilt Univ. press, Nashvillee, Tennessee, 1942

[17] Billera, L., Heath, D., Raanan J., "Internal telephone billing rates: a novel application of non atomic game theory", Operations Research, 956-965, 1978.

[18] Littlechild S., Thompson G., "Aircraft Landing Fees: a game theory approach", Bell Journal of Economics, 186-207, 1977.

[19] XPRESS-MP - http://www.dashoptimization.com

[20] Rawls, John, A Theory of Justice, Princeton University Press; Revised edition (September 1999)

[21] Rawls, John e Freeman, Samuel, Collected Papers, Harvard Univ Pr; (March 2001)

[22] ONS – Operador Nacional do Sistema - http://www.ons.org.br

[23] Schmeidler, D. (1969), The Nucleolus of a characteristic function game, SIAM Journal on Applied Mathematics, 17: 1963-70

[24] Shapley, LS (1953) A values for n-person games, H.W. Kuhn and A.W Tucker, eds., *Contributions to the Theory of Games*, Vol. II. Annal of Mathematics Studies No. 28 Princeton, NJ: Princeton University Press

[25] Aumann, R. J., and Maschler, M., The bargaining set for cooperative games. In M. Dresher, L. S. Shapley, and A. W. Tucker (Eds.), Advances in game theory. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1964.

[26] Kovalenkov, A. e Wooders, M. Holtz "Epsilon Cores of Games with Limited Side Payments, Nonemptiness and equal treatment" (2000)

[27] Follmer, H., Schied, A.: Convex measures of risk and trading constraints. Finance Stochastic. 6, 429-447 (2002)

[28] Stoft; S,Power System Economics.Designing Markets for Electricity New York: Wiley., 2002

[29] Mas-Collel A., Whinston M. e Green J. – Microeconomic Theory; New York: Oxford 1995.

[30] R.T. Rockafellar and S.P. Uryasev, "Optimization of conditional value-at-risk", The Journal of Risk, 2 (2000), 21-4

[31] Föllmer, A. Schied, "Stochastic finance: an introduction in discrete time. (De Gruyter Studies in Mathematics)" 27 Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2002, IX+422 pages, Hardcover. ISBN 3-11-017119-8.

[32] Eichhorn, A. and Römisch, W. 2005. "Polyhedral Risk Measures in Stochastic Programming". SIAM J. on Optimization 16, 1 (May. 2005), 69-95. DOI= http://dx.doi.org/10.1137/040605217.

[33] Artzner, Philippe, Freddy Delbaen, Jean-Marc Eber, David Heath, "Coherent Measures of Risk", Mathematical Finance 9 no. 3, 203-228, 1999.

[34] Andrzej Ruszczynski & Alexander Shapiro, "Optimization of Measures," Risk and Insurance 0407002, EconWPA, 2004.

[35] Acerbi, C., "Coherent measures of risk in everyday market practice", Quantitative Finance, Vol. 7, No. 4, 359–364, August 2007.

[36] Acerbi, C. e Tasche, D., Expected shortfall: a natural coherent alternative to value at risk. Econ. Notes, 2002b, 31(2), 379–388.

[37] Shapiro A. e Ruszczynski A. Lectures on Stochastic Programming, 2007.

[38] RUDNICK, H.; BARROSO, L.A.; SKERK, C.; BLANCO, A. South American reform lessons - twenty years of restructuring and reform in Argentina, Brazil, and Chile. IEEE Power and Energy Magazine, Vol 3, July-Aug. 2005.

[39] PEREIRA, M. V.; BARROSO, L. A.; ROSENBLATT, J. Supply adequacy in the Brazilian power market. Proceedings of the IEEE General Meeting, Denver,2004.

[40] OREN, S. Generation Adequacy via Call Options Obligations: Safe Passage to the Promised Land. 16, UCEI Publications, September 2005.

[41] VAZQUEZ, C.; RIVER, M.; ARRIAGA I. P. A market approach

[42] RUNICK, H.; MONTERO, J.P. Second Generation Electricity Reforms in Latin America and the California Paradigm. Journal of Industry, Competition and Trade 2 (1-2), June 2002, pp. 159-172

[43] TURVEY, R. Ensuring adequate generation capacity, Utilities Policy 11 (2003) 95–102

[44] Representação analítica de falhas dos equipamentos e variação da demanda no despacho hidrotérmico multi-estágio , Nora Marcela Campodónico Viacava, tese DSC. UFRJ 1997.

[45] Tsukamoto Y., Iyoda I., "Allocation of fixed transmission cost to wheeling transactions by cooperative game theory", IEEE Trans. on power systems, vol. 11, No. 2, 1996.

[46] Aumann, R. Values of markets with a continuum of traders. Econometrica 43: 611-46. (1975).

[47] T.W. Gedra; On Transmission Congestion and Pricing. IEEE Transactions on Power Systems,Vol 14, No. 1, February 1999.

13
Apêndice

13.1
Análise das restrições do problema de maximização da carga

Maximização da Carga

Max D (13.1)

s.a.

$$\sum_{j=1}^{J} q_j r_j \leq \delta D \tag{13.2}$$

$$r_j \geq \max(D - \sum_{i=1}^{N} \alpha_{ij} C_i, 0),\ j = 1,\ldots, J \tag{13.3}$$

Na solução ótima D* e r* as restrições (13.2) e (13.3) estão ativas, i.e:

$$\sum_{j=1}^{J} q_j r_j^* = \delta D^*$$

$$r_j^* = \max(D^* - \sum_{i=1}^{N} \alpha_{ij} C_i, 0),\ j = 1,\ldots, J$$

De fato, suponha que $\sum_{j=1}^{J} q_j r_j^* < \delta D^*$. Para todo j, faça $r_j = r^*_j + \varepsilon$, onde $\varepsilon = \delta D^* - \sum_{j=1}^{J} q_j r_j^* > 0$, ou seja, ε é a folga da restrição (13.2). Note que $D = D^* + \varepsilon$ satisfaz as restrições (13.3). Logo, D* e r* não é uma solução ótima.

Portanto, devemos ter a restrição (13.2) ativa.

Seja Γ o conjunto dos j em 1,..., J tal que $r^*_j > \max(D^* - \sum_{i=1}^{N} \alpha_{ij} C_i, 0)$. Vamos supor que Γ possui pelo menos um elemento. Para todo $j \in \Gamma$, faça $r_j = r^*_j - \varepsilon$, onde

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\min_{j\in\Gamma}\{r^*_j - \max\{D - \sum_{i=1}^{N}\alpha_{ij}C_i, 0\}\} > 0.$$

Para $j \notin \Gamma$ faça $r_j = r^*_j + \alpha.\varepsilon$, $\alpha > 0$. Para que os r_j sejam apenas uma redistribuição dos cortes de carga devemos ter $\sum_{j\in\Gamma} q_j r_j + \sum_{j\notin\Gamma} q_j r_j = \delta D^*$ o que implica que $\sum_{j\in\Gamma} q_j r_j^* - \sum_{j\in\Gamma} q_j \varepsilon + \sum_{j\notin\Gamma} q_j r_j^* + \sum_{j\in\Gamma} q_j \alpha\varepsilon = \delta D^*$ → $\sum_{j\in\Gamma} q_j \varepsilon = \sum_{j\in\Gamma} q_j \alpha\varepsilon$, logo

$$\alpha = \frac{\sum_{j\in\Gamma} q_j}{\sum_{j\notin\Gamma} q_j} > 0.$$

Tomando $D = D^* + (\min\{\varepsilon, \alpha.\varepsilon\})$ temos que D e r_j satisfazem as restrições do problema (13.1), logo D* e r* não é solução ótima.

Portanto devemos ter a restrição (13.3) ativa.

13.2
Relação entre a LOLP e EENS

Para um valor de demanda D a EENS é dada por:

$$\text{EENS(D)} = \text{E[max\{0, D} - \text{g\}]} = \int_0^D (D-G)\, f_g(G)\, dG \qquad (10.4)$$

e a probabilidade de perda de carga é dada por:

$$\text{LOLP(D)} = \text{P}[g < \text{D}] = \int_0^D f_g(G)\, dG \qquad (10.5)$$

onde f é a função de densidade de probabilidade da variável aleatória de geração g .

Vamos demonstrar agora que a LOLP é a derivada da EENS com respeito à demanda.

$$\text{LOLP(D)} = \frac{\partial EENS(D)}{\partial D} \qquad (10.6)$$

Expandindo a expressão (10.4) temos:

$$\text{EENS(D)} = D \int_0^D f(x)dx - \int_0^D xf(x)dx \qquad (10.7)$$

Derivando com respeito a D, e lembrando que se:

$$g(\text{D}) = \int_0^D f(x)dx$$

então $g'(\text{D}) = f(\text{D})$, temos que:

$$\frac{\partial EENS(D)}{\partial D} = \text{D } f(\text{D}) + \int_0^D f(x)dx \text{ - D } f(\text{D}) = \int_0^D f(x)dx \qquad (10.8)$$

que é a expressão da LOLP.

13.3
CVaR como um operador linear

Considere a seguinte função:

$$\text{H(a)} = a + \frac{E[D-g-a]^+}{(1-\alpha)}$$

Inicialmente vamos mostrar que:

$$\text{CVAR}_\alpha\text{(D-g)} = \min_{\text{a}} \text{H(a)} = \text{H}(\text{x}_\alpha)$$

Note que H(.) em x_α é o CVaR_α(D-g), de fato:

$$\text{H}(\text{x}_\alpha) = x_\alpha + \frac{\sum_{\{s/D-g_s \geq x_\alpha\}}(D-g_s-x_\alpha)}{(1-\alpha)S} = \frac{x_\alpha(1-\alpha)S + \sum_{\{s/D-g_s \geq x_\alpha\}}(D-g_s-x_\alpha)}{(1-\alpha)S} =$$

$$= \frac{x_\alpha(1-\alpha)S - \sum_{\{s/D-g_s \geq x_\alpha\}} x_\alpha + \sum_{\{s/D_s-g_s \geq x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S} = \frac{\sum_{\{s/D-g_s \geq x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S} = \text{CVaR}_\alpha\text{(D-g)}$$

O número de cenários s tais que $\{D - g_s \geq x_\alpha\} = \#\{s: D - g_s \geq x_\alpha\} = (1-\alpha)S$.

a)Suponha que $a < x_\alpha$:

H(a) =

$$a+\frac{\sum_{\{s/D-g_s>a\}}(D-g_s-a)}{(1-\alpha)S}=\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>a\}+\sum_{\{s/D-g_s>a\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}=$$

$$=\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>a\}+\sum_{\{s/a<D-g_s\le x_a\}}(D-g_s)+\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}\ge$$

$$\ge\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>a\}+a\#\{s/a<D-g_s\le x_\alpha\}+\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}=$$

$$=\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>x_\alpha\}+\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}=\frac{\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}=CVAR_\alpha(D-g)$$

b) Suponha que a > x_α:

$$H(a)=a+\frac{\sum_{\{s/D-g_s>a\}}(D-g_s-a)}{(1-\alpha)S}=\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>a\}+\sum_{\{s/D-g_s>a\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}=$$

$$H(a)=\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>a\}+\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)-\sum_{\{s/x_\alpha<D-g_s\le a\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}\ge$$

$$\ge\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>a\}+\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)-a\#\{s/x_\alpha<D-g_s\le a\}}{(1-\alpha)S}\ge$$

$$\ge\frac{a(1-\alpha)S-a\#\{s/D-g_s>x_\alpha\}+\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}=\frac{\sum_{\{s/D-g_s>x_\alpha\}}(D-g_s)}{(1-\alpha)S}=CVAR_\alpha(D-g)$$

Assim, obtemos o resultado:

H(a) ≥ $CVAR_\alpha$(D-g) para qualquer *a* e H(x_α) = $CVAR_\alpha$(D-g)..

13.4
CVaR como aproximação convexa do VaR

Queremos encontrar uma função *G(D)* convexa em D, tal que $G(D) \geq P(r_D > 0)$, ou seja, uma aproximação convexa conservativa para a restrição em Probabilidade. Conservativa, pois

$$\text{se } G(D) \leq \alpha \text{ então } P(r_D > 0) \leq \alpha \tag{10.9}$$

Ou seja, restringe mais o espaço de decisões D.

Note que,

$$P(r_D > 0) = E[1_{(0,\infty)}(R_D)] \tag{10.10}$$

Tome $\varphi(r_D)$ uma função convexa qualquer não decrescente tal que $\varphi(r_D) \geq 1_{(0,\infty)}(r_D)$. Da equação (13.10) temos:

$$E[\varphi(r_D)] \geq E[1_{(0,\infty)}(r_D)] \tag{10.11}$$

Por construção $E[\varphi(r_D)]$ é um limite superior para a equação (13.10). A construção do limite superior depende da função $\varphi(.)$ escolhida, qual seria a melhor escolha para $\varphi(.)$ de forma que o limite superior seja o mais próximo possível da restrição em probabilidade.

Caso trivial $\varphi_+^{'}(0) = 0$ então $\varphi(z) \geq \varphi(0) = 1$ para todo $z \in \Re$. Vamos assumir que $t = \varphi_+^{'}(0) > 0$, logo $\varphi(z) \geq \max(1 + tz, 0) = [1 + tz]^+$. Portanto, $[1 + tz]^+$ é a menor função convexa não decrescente que aproxima o degrau $1_{(0,\infty)}(z)$ superiormente.

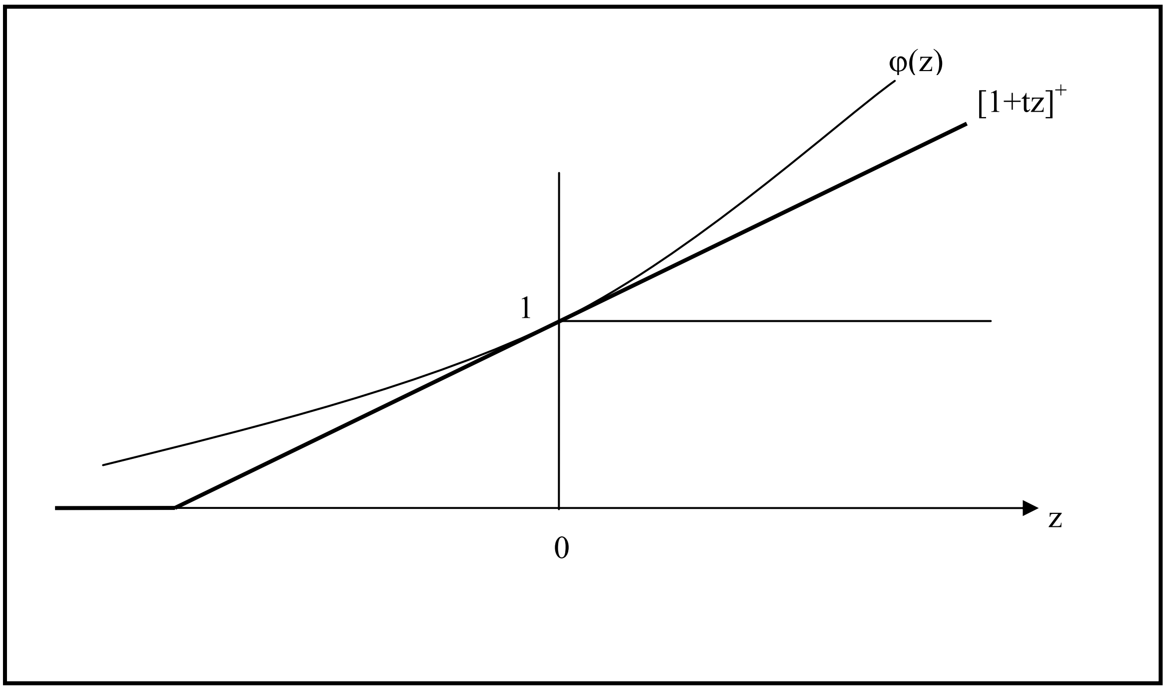

Figura 13.1 – Ilustração da melhor aproximação convexa para $1_{(0,\infty)}(z)$.

Fazendo $\varphi(r_D) = [1 + tr_D]^+$ no limite superior queremos que G(D) ≤α, então:

$$E[1 + tr_D]^+ \leq \alpha \qquad (10.12)$$

Tomando o *inf* na desigualdade temos:

$$\inf_{t>0}\{E[1 + tr_D]^+\} \leq \alpha \qquad (10.13)$$

Rearranjando os termos:

$$\inf_{t>0}\{E[1/t + r_D]^+ - \alpha/t\} \leq 0 \qquad (10.14)$$

Fazendo $t := -1/t$ e dividindo por α chegamos a seguinte expressão:

$$\inf_{t\in\Re}\{t + \frac{1}{\alpha}E[r_D - t]^+\} \leq 0 \qquad (10.15)$$

A expressão (13.15) equivale a $CVaR_\alpha(r_D) \leq 0$.

Portanto, o CVaR é uma aproximação convexa da restrição em probabilidade VaR.