

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução n.º 24 , de 27 de janeiro de 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução n.º 501, de 7 de dezembro de 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução n.º 75, de 13 de fevereiro de 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Ata da Audiência Pública n.º 1, Brasília, 17 mar. 2005.

AJODHIA, V. Integrated price and reliability regulation: The European experience. In: TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CONFERENCE AND EXHIBITION: ASIA/PACIFIC, IEEE/PES, 2002, Yokohama.

ALLAN, R.N.; SILVA, M.G. Evaluation of reliability indices and outages costs in distributions systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.10 , n.1 , p. 413-419, february 1995.

ARAÚJO, J.L. A questão do investimento no setor elétrico brasileiro: reforma e crise. **Nova Economia**, v.11 , n.1 , p. 77-96, jul. 2001.

ARMSTRONG, M.; COWAN, S.; VICKERS, J. Regulatory reform: economic analysis and British experience, Cambridge: MIT Press, 1994. 406p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. A Mão e a Luz: memórias da distribuição de energia elétrica. Brasília, 2004. 127p.

AVELLAR, J.V.G.; POLEZZI, A.O.D.; MILIONI, A.Z. On the evaluation of Brazilian landline telephone services companies. **Pesquisa Operacional**, v.22 , n.2, p. 231-246, 2002.

AVERCH, H.; JOHNSON, L. Behavior of the firm under regulatory constraint. **American Economic Review**, v.52, p. 1052-1069, december 1962.

BAGDADIOGLU, N.; PRICE, C.M.W.; WEYMAN-JONES, T.G. Efficiency and ownership in electricity distribution: A non-parametric model of the Turkish experience. **Energy Economics**, 18, p. 1-23, 1996.

BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies. **Management Science**, v.30, p. 1078-1092, 1984.

BARBOSA, A.S.; CARVALHO, P.L.; SILVA, J.O.F.; LOPES, P.H.S. Procedimento para aplicação de penalidade por violação dos padrões dos indicadores de continuidade DEC e FEC. In: XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2004, Brasília.

BENJÓ, I. Fundamentos de economia da regulação. Rio de Janeiro: Thex Ed., 1999. 149p.

BOGETOFT, P.; NIELSEN, K. DEA based yardstick competition in natural resource management. In: HELLE, F.; STRANGE, N.; WICHMANN, L. Recent Accomplishments in Applied Forest Economics Research. **Kluwer Academic Publisher**, 2003, p.103-126.

BORDONETTI, A. The continuity of electricity supply: the Italian normation and its practical application by Azienda Energetica S.P.A. In: 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, 2003, Barcelona.

BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P.L.F.; LUDERMIR, T.B. Fundamentos de redes neurais artificiais, Rio de Janeiro: DCC/IM, COPPE/Sistemas, NCE/UFRJ, 1998. 246p.

CARVALHO, P.L.; BARBOSA, A.S. Fiscalização da qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica. In: XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002, Salvador.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. **European Journal of Operational Research**, 2, p. 429-444, 1978.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; DIVINE, R.; RUEFLI, T.W.; THOMAS, D. Comparisons of DEA and existing ratio and regression systems for effecting efficiency evaluation of regulated electric cooperatives in Texas. **Research in governmental and Nonprofit Accounting**, 5, p. 187-210, 1989.

CHEN, T. An Assessment of technical efficiency and cross-efficiency in Taiwan's electricity distribution sector. **European Journal of Operational Research**, 137, p. 421-433, 2002.

CHERCHYE, L.; POST, T. Methodological Advances in DEA: A survey and an application for the Dutch electricity sector. Rotterdam: Erasmus Research Institute of Management - Erasmus University, 2001, Discussion Paper 111.

CHIEN, Chen-Fu; LO, Feng-Yu; LIN, J.T. Using DEA to measure the relative efficiency of the service center and improve operation efficiency through reorganization. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.18 , n.1 , p. 366-373, feb. 2003.

CHITKARA, P. A data envelopment analysis approach to evaluation of operational inefficiencies in power generating units: a case study of indian power plants. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.14 , n.2 , p. 419-425, may 1999.

COELLI, T.; PERELMAN, S. A Comparison of Parametric and Non-parametric Distance Functions: With Applications to European Railways. **European Journal of Operational Research**, 177, p. 326-339, 1999.

COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models Applications, Reference and DEA-Solver Software. **Kluwer Academic Publishers**, 2000. 318p.

DEBREU, G. The Coefficient of Resource Utilization, *Econometrica*, 19 , p. 273-292, 1951.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria n.º 46, de 17 de abril de 1978.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOGAN, J. The relative efficiency of Illinois electric utilities. **Resources and Energy**, v.5 , p. 349-367, 1983.

FØRSUND, F.R.; KITTELSEN, S.A.C. Productivity development of Norwegian electricity distribution utilities. **Resource and Energy Economics**, v.20 , n.3 , p. 207-224, 1998.

GEORGIN, J.P. Analyse interactive des données (ACP, AFC) avec Excel 2000: Théorie et pratique. Paris: Presses Universitaires de Rennes, 2002. 269p.

GHIRARDI, A.G. Estratégias de regulação e qualidde dos serviços públicos. **Revista Econômica do Nordeste**, v.31 , n. especial, p. 920-935, nov. 2000.

GHIRARDI, A.G.; ROCHA, M.C.; TEIXEIRA, L.A.L. Lucratividade e qualidade na distribuição de energia elétrica. **Nova Economia**, v. 12 , n.1 , p. 41-67, 2002.

GIANNAKIS, D.; JAMASB, T.; POLLITT, M. Benchmarking and incentive regulation of quality of service: an application to the UK electricity distribution utilities. Cambridge: Department of Applied Economics - University of Cambridge, 2003, Cambridge Working Papers in Economics 0408.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega**, v.17 , n.3 , p. 237-250, 1989.

GOLANY, B.; ROLL, Y.; RYBAK, D. Measuring efficiency of power plants in Israel by Data Envelopment Analysis. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v.41 , n.3 , p. 291-301, aug. 1994.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003. 232p.

HONKAPURO, S.; LASSILA, J.; VILJAINEN, S.; TAHVANAINEN, K.; JARMO, P. Effects of benchmarking of electricity distribution companies in nordic countries – comparison between different benchmarking methods. In: NORDIC DISTRIBUTION AND ASSET MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, Espoo.

IBM, Optimization Subroutine Library Guide and Reference - Release 3 Update. 5.ed., 1996.

JAIN, J.S.R.; SUN, C.T.; MIZUTANI, E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: a computational approach to learning and machine intelligence. **Prentice Hall Inc.**, 1997. 614p.

JASMAB, T.; POLLITT, M. Benchmarking and regulation: international electricity experience. **Utilities Policy**, v.9, 3 , p. 107-130, 2000.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. Applied Multivariate Statistica Analysis. 4.ed., **Prentice-Hall**, 1998. 816p.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.C.B.; ROBBA, E.J. Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005. 344p.

KAHN, A.E. The economics of regulation: principles and institutions. **Cambridge MIT**, 1988. 559p.

KORHONEN, P.; LUPTACIK, M. Eco-efficiency analysis of power plants an extension of data envelopment analysis. Helsinki: Helsinki School of Economics and Business Administration, 2000, Working Paper W241.

KORHONEN, P.; SYRJÄNEN, M. Resource allocation based on efficiency analysis. Helsinki: Helsinki School of Economics and Business Administration, 2001, Working Paper W293.

KORHONEN, P.; SYRJÄNEN, M. Evaluation of Cost Efficiency in Finnish Electricity Distribution. Helsinki: Helsinki School of Economics, 2002, Working Paper B63.

KOTLER, P. Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1998. 725p.

KUMBHAKAR, S.C.; LOVELL, C.A.K. Stochastic Frontier Analysis. **Cambridge University Press**, 2000. 338p.

LANGSET, T.; TRENGEREID, F.; SAMDAL, K.; HEGGSET, J. Quality dependent revenue caps: A model for quality of supply regulation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, CIRED, 2001, Amsterdam.

LASSILA, J.; VILJAINEN, S.; SAMULI, H.; PARTENEN, J. Data envelopment analysis in the benchmarking of electricity distribution companies. In: 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, CIRED, 2003, Barcelona.

LASSILA, J.; VILJAINEN, S.; HONKAPURO, S.; PARTANEN, J. Investments in the benchmarking of the distribution network companies. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRIC UTILITY DEREGULATION, RESTRUCTURING AND POWER TECHNOLOGIES, 2004, Hong Kong.

LEBART, L.; MORINEAU, A.; PIRON, M. Statistique Exploratoire Multidimensionnelle. 3.ed. Paris: Dunod, 2004. 439p.

LIMA, J.W.M.; NORONHA, J.C.C.; ARANGO, H.; SANTOS, P.E.S. Distribution pricing based on Yardstick regulation. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.17 , n.1 , p. 198-204, feb. 2002.

LINS, M.P.E.; MEZA, L.A. Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. 232p.

LISTON, C. Price cap versus rate of return regulation. **Journal of Regulatory Economics**, v.5, p. 25-48, 1993.

LITTLECHILD, S. Regulation of British Telecommunications Profitability. London, Department of Industry, 1983.

LO, Feng-Yu; CHIEN, Chen-Fu; LIN, J.T. A DEA Study to evaluate the relative Efficiency and Investigate the District reorganization of the Taiwan Power Co.. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.16 , n.1 , p. 170-178, feb. 2001.

MAGALHÃES, C.H.N.; GOUVÊA, M.R.; SILVA, F.A.T.; TAHAN, C.M.V.; ARAÚJO FILHO, L.G.C. Avaliação do custo social de interrupção do fornecimento de energia elétrica do lado da demanda no Estado de São Paulo. In: XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001, Campinas.

MILLIOTIS, P.A. Data envelopment analysis applied in electricity distribution districts. **Journal of the Operational Research Society**, v.43 , n.5 , p. 549-555, 1992.

MURTEIRA, B.J.F. *Análise Exploratória de Dados: Estatística Descritiva*. Lisboa: McGraw-Hill, 1993. 329p.

PAHWA, A.; FENG, X.; LUBKEMAN, D. Performance Evaluation of Electric Distribution Utilities Based on Data Envelopment Analysis. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.17 , n.3 , p. 400-405, august 2002.

PESSANHA, J.F.M.; SOUZA, R.C. Modelos de fronteira estocástica na definição de metas globais de continuidade das distribuidoras de energia elétrica. Rio de Janeiro: DEE-PUC-Rio, 2003, Estudo Orientado.

PESSANHA, J.F.M.; HUANG, J.L.C.; PEREIRA, L.A.C.; PASSOS JÚNIOR, R.; CASTELLANI, V.L.O. Metodologia e sistema computacional para cálculo das tarifas de uso dos sistemas de distribuição. In: XXXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2004a , São João del Rei.

PESSANHA, J.F.M.; SOUZA, R.C.; LAURENCEL, L.C. Usando DEA na avaliação da eficiência operacional das distribuidoras do setor elétrico brasileiro. In: XII CONGRESO LATINO-IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y SISTEMAS, 2004b, Ciudad de La Havana.

PESSANHA, J.F.M.; CASTELLANI, V.L.O.; HASSIN, E.S.; CHEBERLE, L.A.D. ANABENCH – Sistema computacional para estabelecimento das metas de continuidade. In: XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2004c, Brasília.

PESSANHA, J.F.M.; SOUZA, R.C.; LAURENCEL, L.C. Utilizando a análise envoltória de dados na regulação da continuidade do fornecimento de energia elétrica. In: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2005a, Gramado.

PESSANHA, J.F.M.; SOUZA, R.C.; LAURENCEL, L.C. Utilizando a análise envoltória de dados na definição das metas dos indicadores de continuidade. In: VI SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 2005b, Belém.

PIRES, J.C.L.; PICCININI, M.S. Mecanismos de regulação tarifária do setor elétrico: a experiência internacional e o caso brasileiro. Rio de Janeiro: BNDES, 1998, Textos para Discussão 64.

QUEIROZ, H.L. Metodologia para definição de agrupamentos de consumidores e os requisitos de qualidade do fornecimento. In: XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002, Salvador.

RAGSDALE, C.T. Spreadsheet modeling & decision analysis: a practical introduction to management science. 4.ed. **Thomson South-Western**, 2004. 842p.

RESENDE, M. Relative efficiency measurement and prospects for yardstick competition in Brazilian electricity distribution. **Energy Policy**, v.30 , n.8 , p. 637-647, jun. 2002.

RIVIER, J.; LA FUENTE, J.I.; GÓMEZ, T.; ROMÁN, J. Power quality regulation under the new regulatory framework of distribution systems. In: 13th POWER SYSTEMS COMPUTATION CONFERENCE, 1999, Trondheim.

RODRIGUEZ, M.P.; RIVIER, J.; GÓMEZ, T.; ORTIZ, S. Practical Experience of Benchmarking to Estimate Distribution Companies' Revenues. In: IEEE BOLOGNA POWER TECH CONFERENCE, 2003, Bologna.

ROMÁN, J.; GÓMEZ, T.; MUÑOZ, A.; PECO, J. Regulation of distribution network business. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v.14 , n.2 , p. 662-669, april 1999.

RUDNICK, H.; DONOSO, J.A. Integration of price cap and yardstick competition schemes in electrical distribution regulation. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.15 , n.4 , p. 1428-1433, november 2000.

SÂNCHEZ, J.M.L.; SAN ROMÁN, T. A probabilistic model for power quality regulation based on yardstick competition. In: 14th POWER SYSTEMS COMPUTATION CONFERENCE, 2002, Sevilla.

SANHUEZA, R.; RUDNICK, H. and LAGUNAS, H. Efficiency for the Determination of the Electric Power Distribution Added Value. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.19 , n.2 , p. , may 2004.

SEIFORD, L.M.; ZHU, J. Modelling undesirable factors in efficiency evaluation. **European Journal of Operational Research**, v.142, p. 16-20, 2002.

SHLEIFER, A. A Theory of Yardstick Competition. **Rand Journal of Economics**, 16, p. 319-327, 1985.

SILVA NETO, A.; LONGUE, C.A.; SANTOS, E.C. Metodologia para reavaliação dos limites de indicadores de performances dos conjuntos elétricos – Aneel. In: V SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, 2003, Aracajú.

SIMAR, L.; WILSON, P.W. Statistical inference in nonparametric frontier models: the state of the art. **Journal of Productivity Analysis**, 13, p. 49-78, january 2000.

SPERÂNDIO, M.; COELHO, J.; QUEIROZ, H.L. Identificação de agrupamentos de consumidores de energia elétrica através de Mapas Auto-Organizáveis. In: V SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, 2003, Aracajú.

SPERÂNDIO, M.; COELHO, J.; KNOLSEISEN, A.B.; GAUCHE, E.; NASSAR, S.M.; QUEIROZ, H.L. Revisão dos critérios para agrupamentos de conjuntos de unidades consumidoras de energia elétrica. In: IX SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA, 2004, Rio de Janeiro.

SOLLERO, M.K.V.; LINS, M.P.E. Avaliação de eficiência de distribuidoras de energia elétrica através da análise envoltória de dados com restrições aos pesos. In: XXXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2004, São João del Rei.

STOSIC, B.D.; SOUSA, M.C.S. Jackstrapping DEA scores for robust efficiency measurements. Brasília: Department of Economics - University of Brasília, 2003, Working Paper 291.

TAHVANAINEN, K.; VILJAINEN, S.; HONKAPURO, S.; LASSILA, J.; PARTANEN, J.; JÄRVENTAUSTA, P.; KIVIKKO, K.; MÄKINEN, A. Quality regulation in electricity distribution business. In: NORDIC DISTRIBUTION AND ASSET MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, Espoo.

TANURE, J.E.P.S. Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para os indicadores de continuidade de serviços de distribuição. Itajubá, 2000. 103p. Dissertação de Mestrado, Escola Federal de Engenharia de Itajubá.

TANURE, J.E.P.S. Proposta de procedimentos e metodologia para estabelecimento de metas de qualidade (DEC e FEC) para concessionárias de distribuição de energia elétrica através da análise comparativa. São Paulo, 2004. 249p. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

TER-MARTIROSYAN, A. The effects of incentive regulation on quality of service in electricity markets. Washington: Department of Economics - George Washington University, 2003, Working Paper.

TERSZTYANSZKY, T. Methods and procedures requirements for monitoring and improvement of supply quality in Hungary. In: CIGRE/IEEE PES INTERNATIONAL SYMPOSIUM, QUALITY AND SECURITY OF ELECTRIC POWER DELIVERY SYSTEMS, 2003, Montreal.

TOLMASQUIM, M.T.; OLIVEIRA, R.G.; CAMPOS, A.F. As empresas do setor elétrico brasileiro: estratégias e performance. Rio de Janeiro: Cenergia, 2002. 183p.

VIDAL, D.N.A.; TÁVORA JÚNIOR, J.L. Avaliação da eficiência técnica das empresas de distribuição de energia elétrica brasileiras utilizando a metodologia DEA, In: XXXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2003, Natal.

Apêndice A – Análise Fatorial de Correspondência

Trata-se de uma técnica exploratória utilizada para investigar as associações entre as categorias $(x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_q)$ de duas variáveis categóricas (X e Y) em uma tabela de contingência (Tabela A1).

Tabela A1: Tabela contingência

	y_1	...	y_j	...	y_q	<i>Total</i>
x_1	n_{11}	...	n_{1j}	...	n_{1q}	$n_{1.}$
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	\vdots
x_i	n_{i1}	...	n_{ij}	...	n_{iq}	$n_{i.}$
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	\vdots
x_p	n_{p1}	...	n_{pj}	...	n_{pq}	$n_{p.}$
<i>Total</i>	$n_{.1}$	...	$n_{.j}$	...	$n_{.q}$	N

Na Tabela A1, N é o total de observações da tabela, n_{ij} denota o número de observações pertencentes à categoria i da variável X e à categoria j da variável Y , $n_{i.}$ designa o total de observações na linha i e $n_{.j}$ é o total de observações na coluna j .

Para investigar as associações em um tabela de contingência deve-se analisar como as categorias (y_1, \dots, y_q) se distribuem em cada linha e como as categorias (x_1, \dots, x_p) se distribuem em cada coluna, i.e., devem ser analisadas as distribuições condicionadas ou perfis.

Dividindo-se cada linha da tabela de contingência pelo respectivo total ($n_{i.}$), obtém-se a matriz com os perfis das linhas (Tabela A2). Da mesma forma, dividindo-se cada coluna pelo seu total ($n_{.j}$), obtém-se a matriz com os perfis das colunas (Tabela A3).

Tabela A2: Perfis das linhas

	y_1	...	y_j	...	y_q
x_1	$n_{11}/n_{1.}$	...	$n_{1j}/n_{1.}$	...	$n_{1q}/n_{1.}$
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
x_i	$n_{i1}/n_{i.}$	...	$n_{ij}/n_{i.}$	...	$n_{iq}/n_{i.}$
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
x_p	$n_{p1}/n_{p.}$	...	$n_{pj}/n_{p.}$	...	$n_{pq}/n_{p.}$
<i>perfil marginal</i>	$c_1=n_{.1}/N$	...	$c_j=n_{.j}/N$	...	$c_q=n_{.q}/N$

Tabela A3: Perfis das colunas

	y_1	...	y_j	...	y_q	perfil marginal
x_1	$n_{11}/n_{.1}$	...	$n_{1j}/n_{.j}$	...	$n_{1q}/n_{.q}$	$r_1 = n_{1.}/N$
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	\vdots
x_i	$n_{i1}/n_{.1}$	...	$n_{ij}/n_{.j}$	...	$n_{iq}/n_{.q}$	$r_i = n_{i.}/N$
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	\vdots
x_p	$n_{p1}/n_{.1}$	...	$n_{pj}/n_{.j}$	...	$n_{pq}/n_{.q}$	$r_p = n_{p.}/N$

Os perfis das linhas formam uma nuvem de p pontos no espaço R^q e os perfis das colunas formam uma nuvem de q pontos no espaço R^p . Os perfis marginais são os centros de gravidade destas nuvens.

Seja $m = \min(p-1, q-1)$. A Análise Fatorial de Correspondência (AFC) projeta simultaneamente as duas nuvens de perfis em um espaço definido por m eixos fatoriais, sendo que cada eixo fatorial concentra uma parcela da inércia total (Φ), a medida de dispersão dos perfis das linhas e colunas. As coordenadas dos perfis das linhas e colunas nos m eixos fatoriais são calculadas com base no seguinte algoritmo (Johnson & Wichern, 1998), aplicado em uma tabela de contingência T (Tabela A1) com p linhas, q colunas e contendo N observações:

- 1) Obtenha a tabela de freqüências relativas: $P = (1/N)T$.
- 2) Calcule o perfil marginal: $c = P^T \mathbf{1}_{q \times 1}$ (elementos c_1, \dots, c_q na Tabela A2).
- 3) Calcule o perfil marginal: $r = P \mathbf{1}_{p \times 1}$ (elementos r_1, \dots, r_p na Tabela A3).
- 4) Construa a matriz diagonal D_c , cujos elementos da diagonal são c_1, \dots, c_q .
- 5) Construa a matriz diagonal D_r , cujos elementos da diagonal são r_1, \dots, r_p .
- 6) Calcule a matriz de resíduos padronizados: $P^* = D_r^{-1/2} (P - r c^T) D_c^{-1/2}$.
- 7) Faça a decomposição em valores singulares da matriz P^* , obtendo o produto UAV^T , onde $U_{p \times m}$ e $V_{q \times m}$ são matrizes cujas colunas são os autovetores resultantes da decomposição e $\Lambda_{m \times m}$ é uma matriz diagonal, formada pelos respectivos autovalores. As colunas destas três matrizes devem ser dispostas segundo a ordem decrescente dos autovalores. Os elementos de Λ quantificam as contribuições de cada um dos m eixos fatoriais para a inércia total, dada pelo traço da matriz Λ .
- 8) Calcule as coordenadas dos perfis das linhas: $W_{p \times m} = D_r^{-1} D_r^{1/2} U \Lambda$.
- 9) Calcule as coordenadas dos perfis das colunas: $Z_{q \times m} = D_c^{-1} D_c^{1/2} V \Lambda$.

Nas matrizes W e Z , cada coluna contém as coordenadas dos perfis em um dos m eixos fatoriais. As colunas estão dispostas na ordem decrescente das contribuições dos eixos fatoriais para a inércia total. Assim as primeiras colunas são as mais importantes para a investigação das associações entre as variáveis categóricas.

Quando as contribuições dos dois primeiros eixos fatoriais somam mais de 70% da inércia total, a maior parte da informação (inércia total) contida na tabela pode ser representada em um plano definido por estes dois fatores, i.e. um mapa, onde os perfis das linhas e colunas são representados por pontos, cujas coordenadas são fornecidas pelas duas primeiras colunas das matrizes W e Z .

O mapa obtido pela AFC revela os principais traços da estrutura de associação, evidenciando qualquer relação de atração, independência ou repulsão entre as categorias de X e Y . Desta forma, a AFC complementa o qui-quadrado utilizado na avaliação da associação entre as variáveis categóricas de uma tabela de contingência.

Apêndice B - Rede Mapa Auto-Organizável

O mapa de Kohonen ou rede mapa auto-organizável (SOM – *Self-Organizing Map*) é uma rede neural com treinamento competitivo e não supervisionado, aplicada em problemas de análise de agrupamentos (*data clustering*).

Esta classe de redes neurais projeta um conjunto de N objetos, caracterizados por p atributos, em um espaço de dimensão reduzida, usualmente uma ou duas dimensões, de tal forma que a proximidade dos objetos no espaço de entrada é aproximadamente preservada no espaço de saída.

Tais redes são inspiradas no córtex cerebral, onde os neurônios são topologicamente ordenados, i.e. neurônios espacialmente próximos tendem a responder padrões ou estímulos semelhantes.

Na rede SOM, os neurônios são organizados em uma grade ou reticulado, geralmente bidimensional (Figura B1), onde cada neurônio recebe todas as entradas (x_1, \dots, x_p) e funciona como um discriminador de características. A saída da rede SOM é formada pelas saídas de todos os neurônios, sendo que a saída produzida por cada neurônio expressa o grau de semelhança de seu vetor de pesos (w) com o vetor do padrão de entrada (x), por exemplo, o produto $w^T x$.

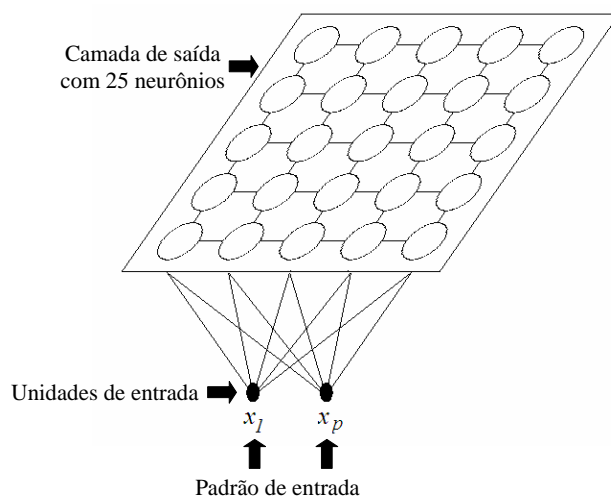


Figura B1: Arquitetura da rede SOM

Dado um padrão de entrada, a rede SOM classifica-o no neurônio com a maior saída (neurônio vencedor), i.e., a rede ativa apenas o neurônio com o vetor de pesos mais parecido com o padrão de entrada.

Seguindo este critério durante a fase de aprendizado, os neurônios se especializam na detecção de um conjunto de padrões de entrada e se organizam topologicamente, fazendo com que os padrões detectados por um dado neurônio estejam relacionados com a sua posição no reticulado. Assim, padrões de entrada semelhantes ativam neurônios próximos dentro do reticulado, cujas localizações espaciais correspondem às características dos padrões de entrada. Em resumo, o treinamento da rede é realizado pelo seguinte algoritmo:

1) Inicialize os pesos w_{ij} e os parâmetros da rede SOM: taxa de aprendizado (η), formato da região de vizinhança, taxa de redução da região de vizinhança e número de ciclos de treinamento.

2) Para cada padrão de treinamento $x(t)$ faça

- Identifique o neurônio vencedor, i.e., o neurônio com o vetor de pesos w mais semelhante ao padrão de treinamento $x(t)$.
- Atualize os pesos do neurônio vencedor e de seus vizinhos. Se o neurônio $j \in A(t)$, i.e., a vizinhança do neurônio vencedor, faça $w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta(t)[x_i(t) - w_{ij}(t)]$, caso contrário, faça $w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t)$.
- Reduza a taxa de aprendizado η e a área de vizinhança se o número de ciclos de treinamento for múltiplo de N

3) Continue com o passo 2 até que o mapa de características não mude.

O treinamento da rede SOM ocorre em duas fases (Braga et al., 1998): a fase de ordenação e a fase de convergência. Na fase de ordenação, os vetores de pesos, inicialmente orientados de forma aleatória, são topologicamente ordenados de forma a agrupar os neurônios do mapa em *clusters* que expressem a distribuição espacial dos padrões de entrada. Ao final desta fase, a rede descobre quantos *clusters* deve identificar e suas posições relativas no mapa. Durante esta

fase, a taxa de aprendizado, inicialmente alta, e a área da região de vizinhança decaem gradualmente, conforme ilustrado na Figura B2.

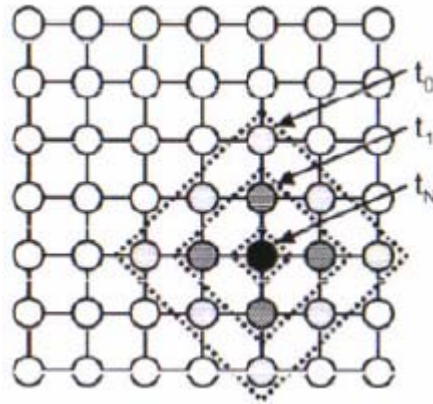


Figura B2: Evolução da região de vizinhança entre os instantes t_0 e t_N

A fase de convergência faz um ajuste fino do mapa obtido na fase ordenação, utilizando uma taxa de aprendizado baixa e um pequeno raio de vizinhança que envolve um ou nenhum neurônio vizinho. Durante o treinamento a rede aumenta a semelhança do neurônio vencedor e de seus vizinhos. Assim, a rede constrói um mapa topologicamente ordenado, onde padrões de entrada semelhantes ativam neurônios topologicamente próximos.