



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
GET.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO -XIV

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA,
DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET**

PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA QUANTIFICAR AS PERDAS COMERCIAIS

**Paulo R. F. de M. Bastos (*)
UFBA**

**Niraldo R. Ferreira
UFBA**

**Benemar A. de Souza
UFCE**

RESUMO

Propõe-se um modelo para quantificar as perdas comerciais indicando as principais causas e regiões de incidência, fundamentado em conceitos de conformidade relativos à qualidade do produto. Usa redes Bayesianas por grupo de clientes ativos da distribuidora e em dois grupos de não-clientes, as ligações clandestinas e unidades desligadas. Dados probabilísticos são obtidos por inspeção amostral. Por interesse didático fez-se uma aplicação completa numa empresa fictícia cujas perdas totais seriam de 26,5%. Os resultados permitem obter importantes informações, úteis na definição de estratégias e no planejamento das ações para redução das perdas comerciais.

PALAVRAS-CHAVE

Perda comercial, perda em distribuição, rede Bayesiana, perda não-técnica, perda de energia.

1.0 - INTRODUÇÃO

As perdas não-técnicas apresentam índices elevados no Brasil e em vários países em desenvolvimento e isto se deve, entre outros motivos, ao baixo nível de renda da população, ao preço relativamente caro da energia, associados à impunidade no que diz respeito à corrupção e à fraude. As universidades ensinam a calcular e otimizar as perdas técnicas em vários segmentos do sistema entretanto as perdas comerciais são tratadas como um problema gerencial, uma questão de desleixo dos administradores.

A maioria dos artigos descreve ações para reduzir as perdas não-técnicas ou mostram que não se deve tolerá-las por onerar os consumidores regulares, mas nos últimos anos surgiram trabalhos que procuram identificá-las (1) (2), embora façam uso de programas específicos. Todos desejam erradicar as perdas comerciais, porém como descobrir onde elas se encontram de modo a tornar as ações de combate mais eficientes? Conhecer se elas são mais intensas na região A ou B, se o maior motivo é fraude, ligações clandestinas, erros de cadastro, etc, é a forma de tratar o problema adequadamente e certificar-se que as ações serão as de melhor retorno e menor custo.

O objetivo deste trabalho é propor um modelo que permita identificar as perdas comerciais quantificando-as por causa e região, possibilitando planejar e obter meios eficientes para sua redução. O método proposto está calcado na qualidade do produto, no exame da conformidade, pois o sistema conforme não teria perdas comerciais, e utiliza rede Bayesiana (RB) que é uma ferramenta adequada para trabalhar com incertezas.

Através da estatística são definidas amostras aleatórias por grupo de clientes e não clientes para que seja pesquisada a conformidade. Nas RB define-se um conjunto de variáveis adequado ao problema e se examinam as suas relações de probabilidades inferindo-se resultados, sendo as redes contruídas conforme os grupos. O modelo proposto inova ao usar probabilidades *a posteriori* relativas a unidades não conformes para inferir

probabilidades *a priori* referentes às perdas. Os resultados das pesquisas de conformidade em campo compõem os dados das probabilidades condicionais da rede.

Usando planilhas ou programas específicos são quantificadas as perdas comerciais por local e causa, permitindo planejar ações para combatê-las e reduzi-las. A todos os grupos de uma distribuidora fictícia com elevadas perdas globais é feita uma completa aplicação didática possibilitando o uso do modelo nas empresas e no meio acadêmico e, caso haja interesse do órgão regulador, pode ser aperfeiçoado e testado em várias empresas. Os resultados possibilitam elaborar planos mais eficientes e definir ações visando a redução de perdas.

2.0 - NOÇÕES DE PROBABILIDADES CONDICIONAIS E REDES BAYESIANAS

Com relação a probabilidade há dois tipos de abordagem, uma tradicional em estatística, relativa a distribuições, número infinito de eventos, e outra no sentido de crença mais voltada ao tratamento de incertezas. Um exemplo bem brasileiro desta seria perguntar “qual a probabilidade do Cruzeiro ser campeão da Libertadores este ano?”. A resposta pode ter valores muito distintos função da sensibilidade e das informações disponíveis pelo entrevistado.

As redes Bayesianas (RB) são uma boa estratégia para tratar incertezas especialmente quando não se tem muitas informações, seja por impossibilidade (custo alto) ou por “preguiça, ignorância teórica ou prática” (3). Na área médica, por exemplo, têm sido usadas visando facilitar o diagnóstico de doenças. Sintomas não têm relação determinística com doenças, e podem estar associados a várias delas; o paciente também pode não ter certeza quanto ao sintoma e sua intensidade. Outras aplicações têm tido sucesso nas áreas de investigações geológicas e criminais porém são poucas as aplicações em sistemas elétricos. As RB são grafos acíclicos orientados cujos “nós” representam as variáveis e os “ramos” associam as relações de probabilidade entre as mesmas. Um dos principais conceitos empregados é o teorema da probabilidade condicional:

$$P(a|b) = \frac{P(a \cap b)}{P(b)} \quad (1)$$

Onde:

$P(a|b)$ é a probabilidade condicional, acontecer “a” tal que tenha acontecido “b”;

$P(a \cap b)$ é a probabilidade de acontecer “a” e “b” simultaneamente, da teoria dos conjuntos “a” inter “b”, ou o “e” lógico $P(a \square b)$;

$P(b)$ é a probabilidade independente do evento “b”.

As RB se fundamentam teoricamente nas probabilidades condicionais, e o termo homenageia a Thomas Bayes que no século XVIII as aplicou para obter estimativas (ou crenças) relativas a probabilidade *a priori*, conhecidas as probabilidades *a posteriori*. Ele apresentou a equação (1) relacionando causa e efeito, como:

$$P(\text{causa}|\text{efeito}) = \frac{P(\text{efeito}|\text{causa})P(\text{causa})}{P(\text{efeito})} = \frac{P(\text{efeito}|\text{causa})P(\text{causa})}{P(\text{efeito})} \quad (2)$$

Isto porque também vale a expressão:

$$P(b) = P(b \cap a) + P(b \cap a') \quad (3)$$

Onde a' é o complemento de a.

As RB usam variáveis (ou nós nos grafos) que se relacionam segundo um modelo probabilístico e estas variáveis podem assumir valores contínuos ou discretos. A equação (1) quando aplicada a variáveis X e Y é:

$$P(X|Y) = \frac{P(X \cap Y)}{P(Y)} \quad (4)$$

Onde:

$P(X|Y)$ é a probabilidade condicional, acontecer “X” tal que tenha acontecido “Y”;

$P(X, Y)$ é a probabilidade de acontecer “X” e “Y” simultaneamente, da lógica $P(X \square Y)$.

Uma RB é um conjunto de variáveis $U = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ e de linhas direcionadas entre variáveis, e sendo um grafo orientado acíclico não deve conter malha fechada. Denominam-se as variáveis de “pais” ou “filhas” conforme a relação de dependência; na rede da Figura 1(a) a variável C é pai de B e D (filhas). Na rede da Figura 1(a) devem ser fornecidas as probabilidades independentes para as variáveis que não têm pais já que são entrada, ou “causa-raiz” (3), como A e C; para as variáveis filhas são fornecidas as “tabelas de probabilidades condicionais”. Se forem discretas as variáveis da RB, cada uma tem um conjunto finito de estados mutuamente exclusivos, por exemplo, se na rede da Figura 1 (a) todas as variáveis têm só dois estados “Sim” e “Não”, a matriz das probabilidades condicionais de F teria dimensão 4x2, e nas linhas estariam as combinações dos estados dos pais e as colunas corresponderiam aos estados de F (“Fsim” e “Fnão”).

Há RB ditas convergentes ou divergentes e a Figura 1(b) mostra uma rede divergente. Tais figuras foram adaptadas de (4). Outro ponto relevante sob o aspecto teórico é o fator de marginalização (5):

$$P(X) = \sum_Y P(X, Y) = P(m_i) = \sum_{j=1}^k P(m_i, m_j) \quad (5)$$

Nesta expressão $P(n)$ é o fator de marginalização em termos de n estados da variável X e de m estados da variável Y .

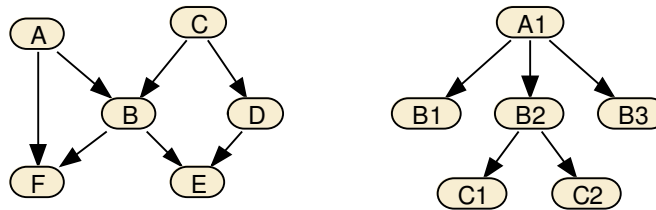


Figura 1- (a) Modelo de rede causal.

1- (b) Rede Bayesianadivergente.

Na construção do modelo da RB é importante a escolha de um conjunto de variáveis que descreva todo o domínio bem como a estrutura das mesmas, devendo haver cuidado com o conhecimento das relações de probabilidade condicionais, ou de dependência entre as variáveis, de modo a representar adequadamente o problema. Para maior aprofundamento, ver (3), (4), (5). Há programas comercializados e com versões demonstrativas específicos para RB como Netica, Hugin, Elvira, etc. Algumas ilustrações mostradas são do Netica e Hugin.

3.0 - A METODOLOGIA BASEADA EM CONFORMIDADE E NO USO DE REDE BAYESIANA

O objetivo do método é quantificar as perdas comerciais por área e causa, para isto o modelo examina as perdas comerciais no faturamento da energia elétrica investigando as não conformidades nos grupos de clientes ativos da distribuidora, e nos grupos de não-clientes; dentre os primeiros há os consumidores do Grupo A (atendidos em alta/média tensão), os clientes em baixa tensão (Grupo B) e iluminação pública (em geral com consumo estimado), e dentre os não-clientes há as ligações de modo ilegal ou clandestinas (grupo “Ligações Clandestinas”), e aqueles cujas unidades estão desligadas no sistema de faturamento, por motivos diversos (grupo “Desligados”). A Figura 2 apresenta o modelo de RB adotado para os três grupos de clientes ativos, independentes entre si.

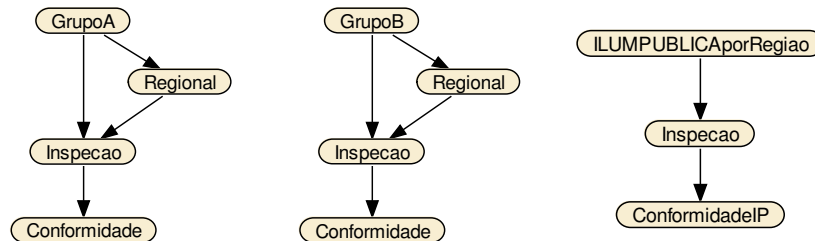


Figura 2 – Rede Bayesiana adotada para os clientes ativos.

Analogamente às pesquisas de qualidade são feitas hipóteses iniciais e definidas amostras aleatórias a inspecionar por grupo. Após as inspeções há os testes de validação que podem conduzir à ampliação da amostra. Nos Grupos foram escolhidas variáveis visando atingir os objetivos e dentro dos critérios de redes Bayesianas. Para os Grupos B e A são usadas quatro variáveis (Grupo, Regional, Inspeção e Conformidade), ver Figura 2. No Grupo A a variável “causa-raiz” (GrupoA) tem sete estados que são as classes de consumidores, e conhecido o número de unidades por classe, é fornecida a distribuição de probabilidade destas classes. A variável Regional tem por estados as regiões a pesquisar, aqui AA, BB e CC. “Inspeção” tem cinco estados de conformidade a investigar em campo: Fraude, Defeito na Medição, Erro/engano de cadastro, Irregular mas Sem Perdas e Normal. Tais dados compõem as relações condicionais com os pais, através uma tabela cujas linhas combinam os estados dos pais, por exemplo, Residencial e AA, Residencial e BB,..., Outros e CC, e as colunas referem-se aos estados da Inspeção. A variável “Conformidade” tem os estados “Com Perda” e “Sem Perda”, e relaciona-se com “Inspeção” através probabilidades condicionais; aqui, exemplificando, “Fraude” e “Defeito na Medição” têm 100% de chance de haver perda, enquanto o estado “Normal” apresenta 100% de chance de não ter.

No Grupo Iluminação Pública a variável de entrada já relaciona os consumos por região e “Inspeção” tem três estados, dos quais dois relativos a não conformidade, descritos adiante no aplicativo.

O modelo de RB para os não clientes, Grupo Desligados e Ligações Clandestinas é mostrado na Figura 3 (a). O modelo destas duas redes após a definição dos estados das variáveis, sem ainda a introdução de qualquer tabela de probabilidades está na Figura 3 (b). No Grupo Desligados como são ex-clientes, para a variável causa-raiz cujos estados são as classes é conhecida a distribuição de probabilidade por classe, sendo independente. Vê-se na Figura 3 (b) que no Grupo Desligados a variável inspeção (“InspeçãoDesl”) tem cinco estados e só o primeiro, “Autoreligados”, está associado a 100% de crença de haver perda comercial. A rede do Grupo “Ligações

Clandestinas” tem só duas variáveis, à de entrada é associada uma distribuição de probabilidade por região correlacionada aos clientes residenciais ativos, e a variável “Conformidade” dispensou o nó Inspeção, pois o que se investiga em campo é a existência ou não destas ligações. No estudo aplicativo há mais detalhes.

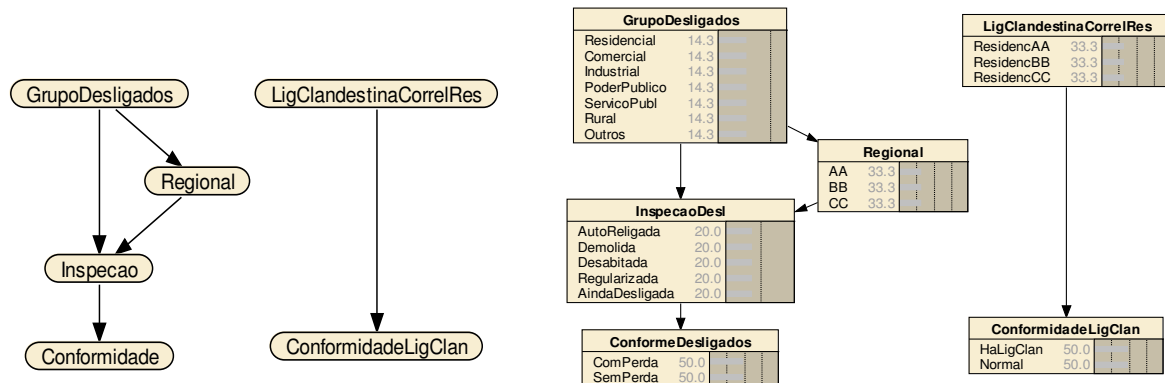


Figura 3 – (a) RB adotada para os não-clientes.

3- (b) Estados das variáveis da rede de não-clientes.

Para cada um dos cinco grupos são feitas hipóteses iniciais (*a priori*) relativas ao índice de não conformidade por grupo, e as amostras são dimensionadas empregando equações análogas às aplicações estatísticas pois a conformidade é uma distribuição binomial, estados “ComPerda” e “SemPerda”. Com os resultados das inspeções em campo são preparadas as tabelas de probabilidades condicionais da RB e estimada a crença no número de unidades com perdas por Grupo. Considerando os consumos médios por classe em cada grupo são quantificadas as perdas de energia associando-se as causas e incidência por região. Como para os não-clientes não há registro de médias de consumo, foram feitas correlações: para o Grupo Desligados com as mesmas classes do Grupo B, e para Ligações Clandestinas com o consumo dos clientes residenciais ativos do Grupo B, já que a maioria destas está em invasões com característica residencial e em menor escala comercial (bares, borracharias ou oficinas).

Ao final é feita a validação e caso necessário reinicia-se o processo reavaliando as hipóteses iniciais ou ampliando-se as amostras. Esta metodologia foi experimentada inicialmente com dados do Grupo B de uma distribuidora (2) e os resultados foram satisfatórios, e por ora está em testes em duas outras distribuidoras.

4.0 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EM UMA DISTRIBUIDORA

Escolheu-se como distribuidora aquela cujos dados estão num relatório do antigo CODI (6). Os dados de mercado foram adaptados para que as perdas totais fossem 26,5%. As quantidades de clientes por classe e região, bem como os resultados de inspeções são estimados, próximos a valores reais. A aplicação envolve todos os grupos, detalhando-se mais o grupo “Desligados”. A distribuidora tem 585.555 consumidores atendidos (6) e vende 2.243.327 MWh/ano. Há 1.718 unidades do Grupo A e 583.837 no Grupo B, além das relativas ao faturamento da iluminação pública (quase todas com consumo estimado). Adotou-se a energia adquirida de 3.052.146 MWh/ano daí a perda total anual é 26,5%. A perda técnica foi calculada seguindo uma metodologia que considera alguns aspectos normalmente não incorporados pelos demais métodos (7), resultando num intervalo provável para a perda: limite inferior de 205.209 MWh e superior de 244.756 MWh (média de 224.982 MWh/ano ou 7,4%). As perdas técnicas concentram-se na subtransmissão e subestações (1,98%) e na rede primária (1,52%).

Isto significa *a priori* que a perda comercial estaria entre 564.063 MWh e 603.610 MWh anuais, ou 583.837 MWh/ano (19,1%) em média. Dentre as hipóteses iniciais necessárias para o dimensionamento das amostras, crê-se que: a não conformidade no Grupo A seria de 5%; em IP 5,0% do consumo, o número de unidades clandestinas existente seria igual a 10% das residenciais (e com o mesmo consumo médio destes, 119 kWh/mês). Com respeito aos ex-clientes Desligados (123.572 unidades), acredita-se que 20% estariam auto-religados tendo consumo médio igual ao do Grupo B (237 kwh/mês). Admitindo que no Grupo B o consumo médio das unidades não conformes seja o mesmo do mercado legal, estima-se que *a priori* o percentual de não conformidade no Grupo B seria de 24,1%. Com tal cenário de perdas existiriam 58.314 ligações clandestinas e 140.771 unidades não conformes no Grupo B, estas responsáveis pela maior parte da perda comercial (401.349MWh/ano).

Para as amostras adotou-se o intervalo de confiança de 95% para todos os grupos e margem de erro de 5% para os Grupos B e Desligados que têm maior expectativa de não conformidade. Para o Grupo A a margem de erro adotada foi de 3,0%. Com isto deveriam ser inspecionadas 385 unidades dentre os Desligados e 440 unidades no Grupo B em cada uma das três regiões, entretanto se a proporção for feita pela quantidade das classes resulta quase nada a inspecionar em algumas delas. Por exemplo, nos Desligados a classe Poder Público representa cerca de 1,0% das unidades daí se inspecionaria só quatro, o que recomenda adotar algum critério que aumente a amostra e sejam inspecionadas mais unidades nesta classe. Desta forma se procurou garantir um número mínimo de inspeções por classe decrescente com o peso da própria classe. Assim, para Poder Público dentre os

Desligados devem ser examinadas 14 unidades por região. Portanto a amostra para inspeção é de 1.648 unidades no Grupo B e 1.266 nos Desligados (422 por região). A amostra para o Grupo A é de 509 clientes dentre os 1.718 existentes. A Tabela 1 apresenta os resultados das inspeções para o Grupo Desligados, região AA.

Tabela 1- Resultado das inspeções na amostra dentre os Desligados da região AA.

	Autoreligada	Demolida	Desabitada	Regular	Desligado	Total
Residencial	59	21	72	36	154	342
Comercial	7	2	5	8	10	32
Industrial	2	0	5	0	2	9
Poder Público	2	0	8	2	2	14
Serviço Público	0	0	0	1	4	5
Rural	2	2	3	6	4	17
outros	0	0	0	1	2	3
Total	72	25	93	54	178	422

4.1 Aplicação aos grupos de não clientes: Desligados e Ligação Clandestina

Após a inspeção e análise dos resultados trabalha-se em planilha ou com programas específicos. Entretanto, estes apenas apresentam resultados em percentuais sendo necessários cálculos à parte relativos a quantidade de unidade e a energia. Com respeito aos ex-clientes atualmente Desligados, inspecionada a amostra, compõe-se a tabela de probabilidade conjunta; aqui há sete classes e três regiões, e cinco estados da Inspeção resultando em uma matriz de 21x5 da qual são mostradas algumas linhas na Tabela 2. O termo (1,1) é relativo a probabilidade conjunta da unidade se encontrar autoreligada sendo da região AA e da classe residencial; esta probabilidade corresponde a 59 sobre 1.266 (universo), ou 0,046603. A coluna "total" da Tabela 2 é o fator de marginalização dado pela equação (5), e o valor 0,270142 é a probabilidade da unidade ser residencial e de AA na amostra.

Tabela 2– Matriz parcial da probabilidade conjunta obtida com as inspeções nas três regiões.

	Autoreligada	Demolida	Desabitada	Regular	Desligado	Total
ResidencialAA	0,046603	0,016588	0,056872	0,028436	0,121643	0,270142
ComercialAA	0,005529	0,001580	0,003949	0,006319	0,007899	0,025276
IndustrialAA	0,001580	0,000000	0,003949	0,000000	0,001580	0,007109
.....
ResidencialBB	0,050553	0,014218	0,061611	0,021327	0,126382	0,274092
ComercialBB	0,005529	0,000790	0,003949	0,005529	0,006319	0,022117
IndustrialBB	0,000790	0,000000	0,002370	0,000790	0,003160	0,007109

Para se passar às quantidades estimadas, recorre-se à expressão (4); assim, por exemplo, a probabilidade de haver unidade autoreligada dentre os comerciais da região AA é dada por:

$$P(X|Y) = P(\text{autoreligado}|\text{comercial}, \text{AA}) = \frac{P(\text{autoreligado}, \text{comercial}, \text{AA})}{P(\text{comercial}, \text{AA})} = \frac{0,005529}{0,025276} = 0,218745$$

Como a quantidade de unidades comerciais na região AA dentre os Desligados é conhecida (são 3.293), este número multiplicado pela probabilidade anterior dá a estimativa da quantidade de unidades autoreligadas dentre as comerciais da região AA; a crença é que existam 720 autoreligações. Tais cálculos são feitos para toda a matriz e a crença é um total de 23.178 unidades autoreligadas, a maioria em CC (8.039) e BB (7.904). Em relação ao universo (123.572 unidades desligadas) significa um índice de não conformidade de 18,8%. Tomando o consumo médio unitário por classe estima-se a perda de energia em 73.750 MWh/ano, maior em BB (27.047MWh/ano).

Caso se deseje usar um dos programas de RB disponíveis é necessário se trabalhar a matriz de probabilidade conjunta obtida nas inspeções de modo a obter a tabela de probabilidades condicionais (aqui 21x5) adequada à variável Inspeção que é filha do Grupo Desligado e Região. Cada linha da tabela deve somar 1,0 ou 100% e o cálculo é o mesmo anteriormente mostrado no qual a probabilidade de estar autoreligado tal que seja comercial e da região AA é 0,218745 ou 21,875%. As demais probabilidades condicionais requeridas são bem simples: para Região sabe-se o número de unidades desligadas por classe e região, e para Conformidade "autoreligada" é 100,0% com perda e 0,0% sem perda enquanto para os demais estados o contrário. Para Desligados, variável "causa-raiz", são fornecidas probabilidades independentes relativas aos percentuais de unidades em cada classe.

Desejando-se instanciações simultâneas os cálculos em planilha são simples devendo-se ficar atento ao universo referido. Nisto os programas comercializados são mais fáceis e indicam valores percentuais. A Figura 4 (a) traz a instanciação simultânea dos estados "autoreligados" e "região BB", a crença é que 9,23% são ex-clientes comerciais. Instanciando-se "com perda" e "CC", Figura 4 (b), crê-se que a classe comercial significa 4,87%. Isto explica porque CC tem maior número de autoreligados (34,7%), porém BB tem maiores perdas de energia.

Para as ligações clandestinas (LC) houve correlações com a quantidade de unidades residenciais ativas por região, e com o consumo médio anual das mesmas no cálculo da perda de energia, isto porque a maioria destas ligações se destina a residências em áreas de invasões e favelas.

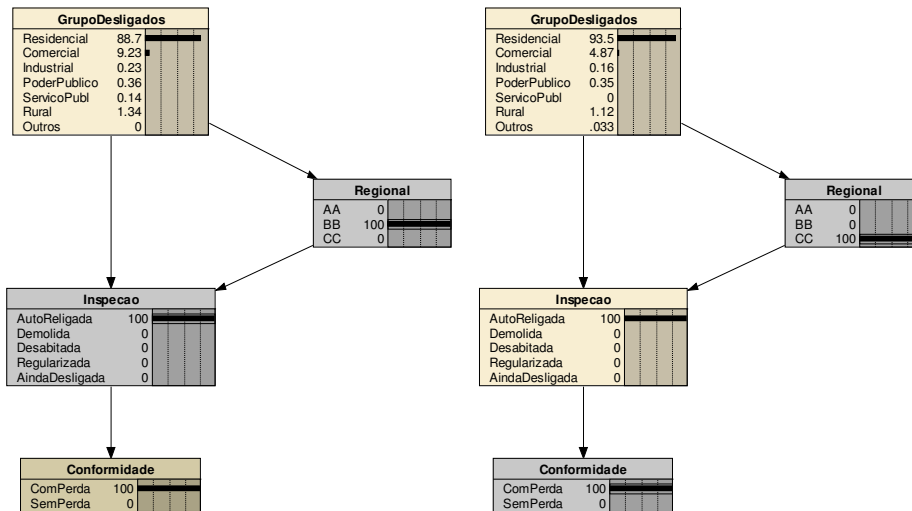


Figura 4 – Percentuais por classe de autoreligados: (a) Região BB, e (b) Região CC.

A área pesquisada cobre 10,3% do total das unidades residenciais ativas, e as projeções estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Estimativas de Perdas com as Ligações Clandestinas.

	AA	BB	CC	Total
Crença de LC existentes	20.056	13.031	11.967	45.054
Perda de energia (MWh/ano)	28.573	18.564	17.048	64.185

A rigor não cabe o termo “não conforme”, mas diz-se que a estimativa de LC é de 8,46% do total de unidades residenciais, com maior incidência em AA, logo deve-se iniciar aí a retirada ou regularização destas ligações.

4.2 Aplicação aos grupos de clientes: Grupo A, Grupo B e Iluminação Pública

O modelo de RB do Grupo A está na Figura 2. Inspeccionadas 509 unidades tem-se as relações de probabilidade. Crê-se que existam 4,04% das unidades não conformes, a maior parte devido a defeito na medição (1,65%) conforme Figura 5 (a). O estado “Com Perda” é instanciado na Figura 5 (b), obtendo-se outra análise: a região AA concentra 46,7% das irregularidades, a classe industrial que participa com 34,7% na quantidade de clientes aumenta sua participação na não conformidade (42,7%); fato semelhante é visto também na classe residencial. Considerando os consumos médios das várias classes do Grupo A, a crença é que há 24.248 MWh/ano de perdas, 47,6% devido a fraude, 46,2% por defeito na medição. A região AA tem 51,2% das perdas e CC só 11,7%.

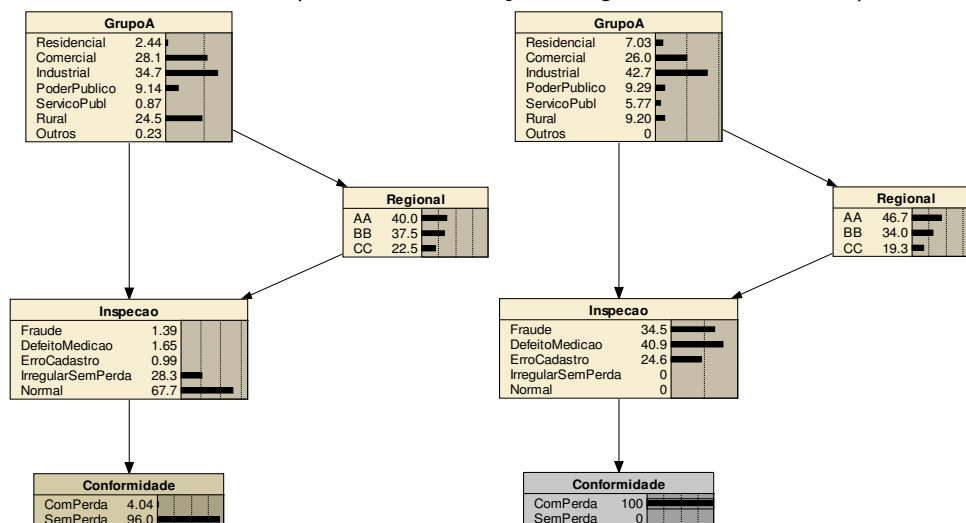


Figura 5 – (a) Conformidade do Grupo A

5 – (b) Instanciado o estado “Com Perda”.

Para o Grupo B a variável causa-raiz tem mais estados, pois as classes residencial e comercial foram subdivididas por consumo. Após inspeção, e com os dados de probabilidade crê-se que há 124.420 unidades não conformes (21,3%), a maioria devido a Fraude (11,9%), ver Figura 6 (a). As irregularidades concentram-se em AA (41,9%), e na classe residencial com consumo entre 51 e 200kWh/mês (40,2%). Na Figura 6 (b) instancia-se “Fraude”, maior responsável pelas perdas, e a crença é que na área de concessão existam 69.605 unidades com fraude, das quais 28.131 (40,5%) na área AA. Admitindo-se os consumos médios anuais de cada faixa de consumo e classe, a perda estimada total é de 385.223 MWh/ano, dos quais 178.530 MWh na região AA e 88.662 na região CC

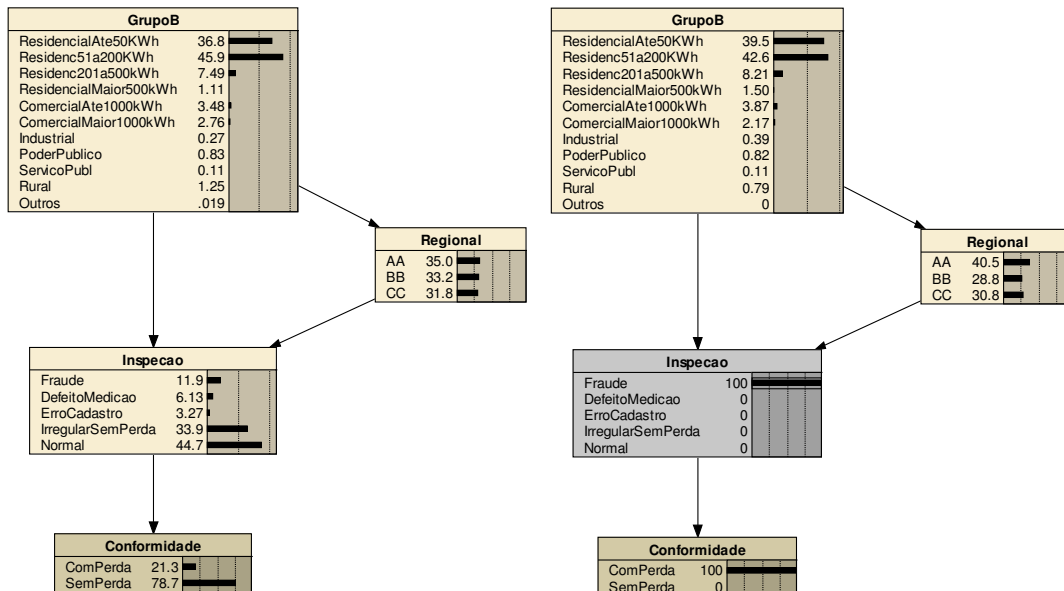


Figura 6 – Análise do Grupo B: (a) Conformidade, e (b) Instanciado o estado “Fraude” em Inspeção.

Finalizando com a estimativa das perdas em Iluminação Pública, o consumo total na empresa seria 85.426 MWh/ano. Havendo o cadastro da rede de IP em quadriculas pode a amostra ser definida por sorteio aleatório das mesmas. Admitiu-se não haver, e que teriam sido inspecionados alguns municípios tais que o consumo excedesse a 10% do consumo de IP em cada regional, tendo sido investigados os três estados da “Inspeção_IP”: lâmpadas acesas de dia ou apagadas à noite (irregularidade com perda ou não), novos pontos de IP irregulares (sem cadastro), e situação “normal” (sem perda). Após inspeções as perdas em IP são calculadas na proporção do consumo irregular por Região, como mostra a Tabela 4. Crê-se que a perda total em IP seja de 5.129 MWh/ano, não conformidade de 6,0%, maior perda absoluta na região AA, embora percentualmente em BB.

Tabela 4 – Perda comercial estimada em IP (MWh/ANO) e percentual de não conformidade.

	AA	BB	CC	Total
Energia não cadastrada	1.009	868	735	2.612
Energia, balanço apagada/acesa	882	935	700	2.517
Perda de energia	1.891	1.803	1.435	5.129
Não conformidade (%)	5,40	6,62	6,20	6,00

4.3 Quantificação das perdas comerciais

As estimativas da perda comercial de energia em MWh/ano por região estão na Tabela 5: total de 552.535 MWh/ano (18,1%) porém a perda comercial média esperada era de 19,1% conforme colocado no início deste item.

Tabela 5– Perda comercial estimada por Grupo e Regional (MWh/ano).

	AA	BB	CC	Total	%
Ativos do Grupo B	178.530	118.031	88.662	385.223	12,6
Ativos Grupo A	12.419	8.985	2.845	24.248	0,8
Ilum. Pública	1.891	1.803	1.435	5.129	0,2
Desligados	26.633	27.047	20.070	73.750	2,4
Ligação Clandestina	28.573	18.564	17.048	64.185	2,1
Perda Comercial Total	248.046	174.430	130.060	552.535	18,1

Portanto há perdas “não identificadas” que se situam entre 30.602 e 32.001 MWh/ano (1,0% em média). Se considerada a margem de erro da pesquisa amostral a perda comercial chegaria a 573.008 MWh/ano e ainda existiriam 10.829 MWh/ano “não identificadas”, ou 0,36%. Isto justifica reanalisar as perdas técnicas visando

identificar parcelas não consideradas (7). Pelos dados da Tabela 5, a maior concentração está nos clientes ativos do Grupo B (12,6%), e regionalmente em AA (248.046 MWh). No Grupo B a não conformidade é de 21,3% (em AA 25,5%), daí se deveria ter por meta inspecionar todos estes clientes em no máximo dois anos, priorizando a área AA. Devido à maior incidência poder-se-ia iniciar pelos residenciais com consumo entre 51 e 200kWh/mês, e face ao maior retorno de energia pelos comerciais, industriais e residenciais das faixas mais altas de consumo. As ações de redução entre os não-clientes deveriam priorizar AA e BB.

Deve-se melhor pesquisar as médias de consumo a considerar, podendo-se tomar a própria média encontrada nas unidades não conformes. Por fim, com base na perda global de 26,5% foi feito o gráfico da Figura 8 (a) com as estimativas anuais da perda técnica, da comercial por região e da não identificada. A Figura 8 (b) mostra a perda comercial de energia (100%) distribuída pelos seus motivos de origem.

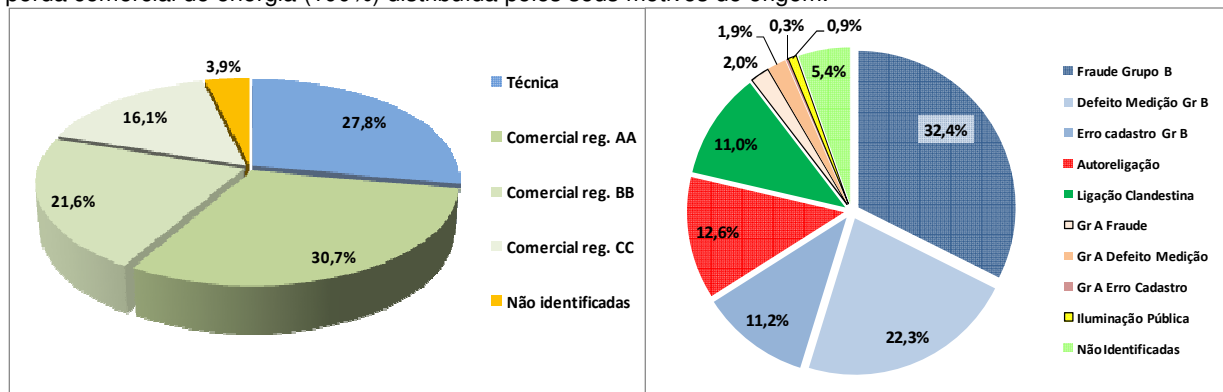


Figura 8 – (a) Perdas percentuais em relação ao total

Figura 8 – (b) Motivos da perda comercial.

5.0 - CONCLUSÃO

O modelo proposto para quantificação das perdas comerciais por grupos independentes de clientes e não clientes é adequado e tem resultados iniciais satisfatórios. As distribuidoras podem adaptar este modelo às suas condições específicas. Há pontos a aperfeiçoar como a escolha das hipóteses a priori, a definição da margem de erro (muito menor faz crescer bastante a quantidade de inspeções), e o consumo médio por unidade não conforme que poderia ser aquele oriundo das inspeções ou a própria média da classe até com acréscimo de 30% conforme recomenda a Resolução 456/ANEEL.

A aplicação do modelo permite obter valiosas informações, úteis na definição de estratégias para redução das perdas, no estabelecimento de metas relativas a inspeções, treinamento, revisões cadastrais, bem como na priorização de ações regionais, contribuindo de forma mais eficiente na redução das perdas comerciais.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) N. A. Eller, 2003, Arquitetura de informação para o gerenciamento de perdas comerciais de energia elétrica, [tese em engenharia de produção], Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- (2) P. R. P. Dantas, 2006. Avaliação de perdas de energia elétrica não técnicas, metodologia aplicada ao município de Salvador-Ba, [dissertação], Universidade Salvador.
- (3) S. Russel, P. Norvig, 2004, Inteligência Artificial, quinta tiragem da tradução da segunda edição. Elsevier Editora Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, p.451.
- (4) F. V. Jensen, T. D. Nielsen, 2007, Bayesian networks and decision graphs, 2nd edition, Springer Science, New York, USA, p. 26-29, p.32-35.
- (5) R. Sampaio, Notas e apresentações de aulas referentes a redes bayesianas, disponíveis em www.dcc.ufla.br/~rudini/bayes.html, consultas em 04.06 e 27.09.08.
- (6) Relatório CODI – Comitê de Distribuição, 1996, "Método para determinação, análise e otimização das perdas técnicas em sistemas de distribuição". Documento técnico CODI-3.2.19.34.0.

(7) P. R. F. de M. Bastos, N. Ferreira, B. A. de Souza, 2008, "Proposta de uma metodologia simplificada para o cálculo das perdas técnicas", XVIII SENDI –Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Olinda, Brasil.

AGRADECIMENTO: O autor Paulo M. Bastos agradece a CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa recebida.