

Utilização de análise multivariada no estudo de fatores que influenciam o bom funcionamento de motores elétricos

Ricardo Ferrari Pacheco (UCG) rpacheco@ucg.br

Carlos Max Silva (UCG) cmaxb@pop.com.br

Resumo

Este trabalho aborda a aplicação de técnicas de análise multivariada no levantamento dos fatores que influenciam o bom funcionamento de motores elétricos assíncronos trifásicos em plantas fabris. Foram levantados dados reais das condições de funcionamento e histórico de quebras de motores em uma indústria de beneficiamento de leite da cidade de Goiânia.

Foram utilizadas no trabalho as técnicas de regressão múltipla e análise discriminante. Com a primeira técnica, conseguiu-se identificar os principais aspectos que influenciam na durabilidade dos motores. Com a segunda metodologia, classificando-se as condições de trabalho dos motores, suas características técnicas e faixas de tempo entre quebras, conseguiu-se prever 59% das faixas de quebras de motores elétricos.

Palavras-chave: Análise multivariada; Motores elétricos.

1. Introdução

Desde sua invenção, os motores elétricos vêm cada vez mais tornando-se indispensáveis em nosso dia a dia, tanto para uso doméstico, comercial ou industrial. Os motores elétricos são citados como responsáveis por grande parte da energia consumida no segmento industrial, representando em média mais de 50% do consumo de eletricidade dessas instalações sendo que cerca de 90% dos motores elétricos instalados são assíncronos com rotor em curto-circuito. Dentre as aplicações industriais destacam-se o acionamento de bombas, o acionamento de máquinas-ferramenta, o acionamento de centrifugas, o acionamento de esteiras transportadoras e de válvulas.

Segundo Del Toro (1994), com as constantes evoluções da tecnologia, os motores elétricos assíncronos também evoluíram bastante, mas sua estrutura permanece pouco alterada, constituída basicamente da carcaça, caixa de ligação, tampas, estator bobinado, conjunto rotor e sistema de ventilação (fig. 1).

Segundo Gussow (1996),

O motor de indução consiste de duas partes, o estator (parte estacionária) e o rotor (parte rotativa). Quando o enrolamento do estator é energizado através de uma alimentação trifásica, cria-se um campo magnético rotativo. À medida que o campo varre os condutores do rotor, é induzida uma força eletromotriz nestes condutores, ocasionando o aparecimento de um fluxo de corrente nos condutores. Os condutores do rotor transportando corrente no campo do estator possuem um torque exercido sobre eles que fazem o rotor girar.

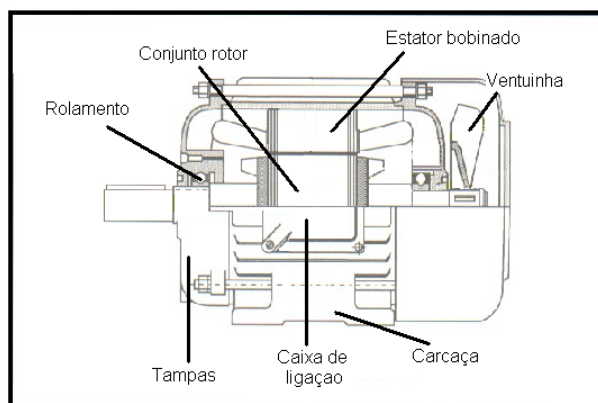


Figura 1 – Características construtivas

Ao orçar um motor, deve-se levar em consideração aspectos como a marca, a polaridade, a potência; a tensão; a frequência; a classe de isolamento; o grau de proteção e condições de trabalho dos motores. Alguns exemplos de trabalho em condições severas são;

- ❑ O motor trabalha acima de sua capacidade nominal e não ultrapassa o fator de serviço (percentagens de sobrecarga a mais suportada, além das especificações do projeto do motor);
- ❑ Local de muita vibração;
- ❑ Local de altas temperaturas, superiores a 40°C, ou próximas de fontes transmissoras ou irradiantes de calor;
- ❑ Local com grande oscilação de temperatura;
- ❑ Regime de trabalho não constante (hora com carga, hora sem carga);
- ❑ Trabalho onde sejam necessárias várias partidas e paradas sucessivas;

Esta pesquisa tenta através do uso de duas técnicas estatísticas – regressão múltipla e análise discriminante- identificar os principais aspectos que influenciam na confiabilidade do motor elétrico. Espera-se que o uso adequado de tais resultados pela empresa propicie a melhora dos procedimentos de manutenção de motores, aumentando assim a disponibilidade de processos produtivos que utilizam motores elétricos em seus sistemas fabris.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Análise multivariada

Segundo Gerhardt (2001), a análise multivariada é um conjunto de técnicas estatísticas que trata de dados correspondentes às medidas de muitas variáveis simultaneamente.

Segundo Batista (1990) **apud** Gerhardt (2001) :

Quando se trata de estudos de vários parâmetros observados, ou medidos sobre um mesmo indivíduo ou unidade amostral, pode-se recorrer aos métodos de análises multivariadas com o intuito de melhor explicar a estrutura da massa de dados, sendo os métodos mais comumente usados a Análise Fatorial, a Análise de Grupamentos e a Análise Discriminante.

Bouroche e Saporta (1982), comentam que :

A estatística clássica fixou-se no estudo de um único carácter (ou variável) medido num conjunto pequeno de indivíduos. Desenvolveu as noções de estimativa e de testes fundados em hipóteses muito restritivas. Entretanto, na prática, os indivíduos observados são frequentemente caracterizados por um grande número de caracteres (ou variáveis). Os métodos de análise de dados permitem um estudo global dessas variáveis, pondo em evidência ligações, semelhanças ou diferenças. Por isso, mergulham-se indivíduos e variáveis em espaços geométricos, fazendo-se a máxima

economia de hipóteses, e transformam-se os dados para visualizá-los num plano ou classificá-los em grupos homogêneos, e isso perdendo o mínimo de informação.

Assim sendo a análise multivariada possibilita:

- A simplificação de uma estrutura dos dados, encontrando uma maneira simplificada de representar o universo em estudo. Isto pode ser obtido mediante a transformação (combinação linear ou não linear) de um conjunto de variáveis interdependentes em outro conjunto independente ou em um conjunto de menor dimensão.
- Situar as observações dentro de grupos ou então concluir que os indivíduos estão dispersos aleatoriamente no espaço multidimensional. Também se podem agrupar variáveis.
- Examinar a interdependência entre as variáveis, a qual abrange desde a independência total até a colinearidade quando uma delas é combinação linear de outras ou, em termos mais gerais, é uma função $f(x)$ qualquer das outras.

2.2 Técnicas de análise multivariada

Stevenson (1994) cita que os principais métodos para organizar dados estatísticos compreendem o arranjo ou disposição dos itens em subconjuntos que apresentem características similares. Algumas técnicas de análise multivariada são;

2.2.1. Análise de Correlação Canônica

Levini (2000) afirma que a força de uma correlação entre duas variáveis em uma população é geralmente medida pelo coeficiente de correlação - ρ , cujos valores abrangem deste, “- 1”, para correlação negativa até “+1”, para a correlação positiva. Segundo Stevenson (1994) é possível quantificar a relação entre duas variáveis através do coeficiente de correlação. Este procedimento pode ser generalizado para quantificação do poder explicativo que um conjunto de variáveis possuem sobre outro conjunto de variáveis de interesse. Bouroche e Saporta (1982) citam que o objetivo da análise canônica é estudar as relações lineares existentes entre dois grupos de caracteres quantitativos observados num mesmo conjunto de indivíduos. Mais precisamente, procura-se uma combinação linear dos caracteres do primeiro conjunto e uma combinação linear dos caracteres do segundo que sejam as mais correlatas possíveis.

2.2.2 Análise fatorial das correspondências

Benzécri (1960) apresentou proposta para o estudo dos quadros de contingências (cruzamento de dois caracteres nominais). A análise foi estendida depois ao caso de um número qualquer de caracteres. Por suas propriedades matemáticas e pela riqueza de suas interpretações, a análise das correspondências tornou-se um método privilegiado de descrição dos dados qualitativos. Ainda segundo Bouroche e Saporta (1982), um quadro de contingências ou quadro cruzado é um quadro N de efeitos n_{ij} correspondentes à ventilação dos indivíduos segundo dois caracteres qualitativos. O problema é analisar a estrutura desta correspondência e fazer aparecer os seus traços principais.

2.2.3. Análise discriminante

Bouroche e Saporta (1982) citam que em suas diversas formas esse método tem numerosas aplicações. Ele permite descobrir as ligações existentes entre um caráter qualitativo a ser explicado e um conjunto de caracteres quantitativos explicativos. A análise fatorial discriminante permite, com a ajuda de uma visualização num plano fatorial apropriado, descrever as ligações entre o caráter a ser explicado e os caracteres explicativos. Peters e Summers (1973) citam que a análise de discriminante destina-se a

estabelecer um método para atribuir itens a populações predeterminadas, ou seja, baseado em uma classificação das variáveis em categorias e em uma amostra com grupos conhecidos, investiga-se como tais variáveis contribuem para a separação da população nos grupos definidos, podendo ser o fator dependente uma variável contínua e o fator independente uma variável qualitativa.

2.2.4 Regressão múltipla

Stevenson (1981) afirma que a análise de regressão compreende a análise de dados amostrais para saber se e como duas ou mais variáveis estão correlacionadas umas com as outras numa população. De outra forma, tem como objetivo avaliar o quanto cada uma das variáveis consideradas independentes influenciam na obtenção de um resultado. Segundo Espiegel (1993) em um diagrama de dispersão, quando as indicações dos valores ficam próximas de uma linha reta, diz-se que há uma relação linear entre as variáveis. Porém quando os pontos ficarem próximos a uma curva de ajustamento e esta não forma uma linha reta, diz-se que se trata de uma relação não linear.

2.2.5 Análise de Agrupamentos Hierárquicos:

É uma técnica exploratória cuja aplicação tem por objetivo a formação de grupos homogêneos de objetos ou variáveis. Cordão Neto *et all* (1997) utilizou a técnica em um experimento formando grupos baseados no teor de poliamida nas amostras analisadas.

2.2.6 Análise de Componentes Principais:

Essa análise está relacionada com o entendimento da estrutura da matriz de covariância (correlação) das variáveis estudadas. Os principais objetivos são a interpretação e a redução da dimensionalidade dos dados. Conforme Miranda *et all* (1998), a análise de componentes principais e de agrupamento hierárquico são técnicas complementares que têm grande aceitação na análise de dados químicos. A redução de variáveis através de critérios objetivos, permitindo a construção de gráficos bidimensionais contendo maior informação estatística, pode ser conseguida através da análise de componentes principais. Também é possível construir agrupamentos entre as amostras de acordo com suas similaridades, utilizando todas as variáveis disponíveis, e representá-los de maneira bidimensional através de um dendrograma. Silveira (1999) utilizou a análise de componentes principais com o objetivo de elucidar as relações existentes entre quinze variáveis sócio-econômico-culturais com nove variáveis de desempenho, referentes ao resultado do concurso vestibular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3. O Problema Em Estudo

A empresa utilizada para estudo é uma indústria multinacional de laticínios que utiliza leite “in natura” como matéria prima de seus produtos manufaturados. São processados diariamente, em média 425 mil litros de leite por dia na época da entre safra (período seco) e 750 mil litros de leite por dia na época da safra (período chuvoso). São fabricados os seguintes produtos: leite em pó (integral e desnatado, em sacos de 35 quilos), pré-condensado (integral e desnatado, a granel), creme de leite pasteurizado a granel e “Butter Oil ” (óleo de manteiga, envasado em tambores de 180 quilos).

Como se trata de um estudo sobre a durabilidade de motores elétricos assíncronos trifásicos, o setor diretamente envolvido na pesquisa foi o de manutenção, que se prontificou a disponibilizar todos os dados necessários. Constatou-se que o setor de manutenção da empresa trabalha com um sistema de manutenção seletiva, disponibilizando o tipo e a frequência da manutenção para cada tipo de equipamento

existente segundo sua classificação em termos de grau de importância. A manutenção envolve geralmente uma análise sensorial de ruído, vibração, ventilação e aquecimento do motor e da fiação e uma análise técnica envolvendo medição de amperagem, reaperto de conectores, ajuste de reles térmicos e verificação das conexões elétricas no quadro e no motor.

Motores com importância altamente relevante para o processo produtivo (pois uma falha ocasionada neste ou causada por este equipamento pode trazer expressivos danos ao produto ou à segurança do consumidor, do colaborador ou da instalação) recebem o grau de importância um (1) e recebem uma manutenção mais frequente e detalhada. Motores com importância intermediária recebem grau de importância dois (2) e motores pouco críticos recebem grau de importância três (3). A grande maioria dos motores elétricos assíncronos trifásicos é enquadrada em grau de importância 2, e poucos motores são enquadrados nos outros graus de importância (1 e 3).

4. Materiais e Métodos

4.1 Aplicação de questionário

Inicialmente foram entrevistados, sob forma de questionário, os colaboradores responsáveis pela manutenção de motores, para verificar quais eram suas opiniões sobre quais eram os fatores que influenciavam no bom funcionamento dos motores elétricos assíncronos trifásicos e qual o grau de importância dos fatores, em ordem decrescente. Foram entrevistados cerca de 15 colaboradores, de diversas unidades. A figura 2 apresenta os resultados da pesquisa de opinião.

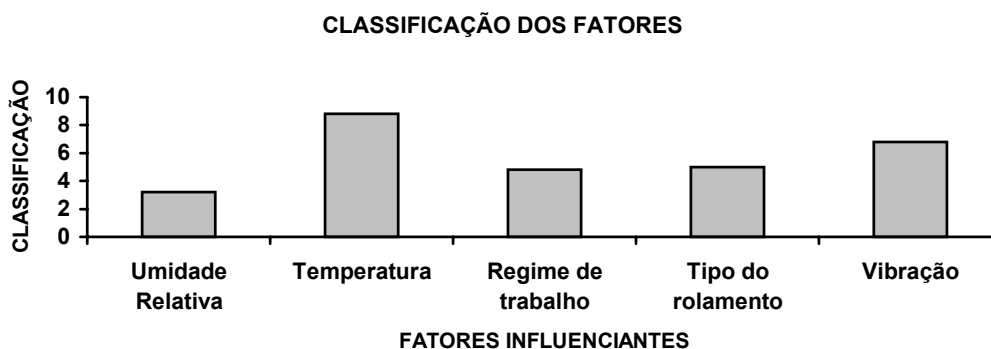


Figura 2 – Gráfico da pesquisa de opinião.

4.2. Levantamento dos dados

Baseados nos fatores apontados pelos especialistas, procurou-se em seguida realizar um levantamento da base de dados de manutenção da empresa buscando identificar a relação existente entre os fatores considerados relevantes e o tempo entre manutenções. Foram identificadas e classificadas 154 ocorrências de manutenções em motores trifásicos assíncronos. Foram coletadas informações sobre o tempo entre essas intervenções (variável dependente) e suas condições de utilização julgadas relevantes (variáveis independentes). Entre elas analisou-se:

- Umidade relativa; é a indicação percentual da quantidade de água presente nos gases da atmosfera. Acredita-se que quanto maior a umidade, menor deverá ser o período entre quebras. Por não haver um higrômetro, a umidade existente nos motores foi estimada.
- Temperatura de trabalho; refere-se à indicação em graus celsius da temperatura do motor quando em funcionamento. A temperatura de trabalho foi classificada

em baixa, normal e alta. Acredita-se que quanto maior a temperatura, menor deva ser o período entre quebras. Os motores que em suas condições de trabalho apresentaram temperatura inferior a 55 °C, foram considerados em classe baixa. Os que apresentaram temperaturas entre 55 e 64 °C foram considerados de temperatura normal e os trabalharam a 65 °C ou acima, de classe alta.

- Regime de trabalho; regime de trabalho contínuo refere-se a equipamento trabalha 24 horas por dia, sem interrupção. Regime de trabalho intermitente refere-se a um equipamento que não trabalha de forma contínua, ou seja, passa por vários ciclos de funcionamento (liga e desliga) ao longo das 24 horas do dia. Acredita-se que motores e regime intermitente possuam maior possibilidade de quebras, pois na partida (motor sendo ligado), os motores recebem uma alta corrente elétrica para que a inércia seja vencida, o que acarreta aumento de temperatura do conjunto e uma pressão superior à condição de trabalho nas pistas dos rolamentos.
- Tipo do rolamento; o tipo do rolamento é determinado pelo tipo de folga radial interna que ele apresenta. Foram considerados neste estudo os rolamentos de folga interna radial normal e os de folga interna radial classe C3, que possui uma folga superior e ,espera-se, sejam de maior durabilidade.
- Tipo de vibração; independente da função que o equipamento desempenha, ele está sujeito a receber e gerar vibrações. Elas foram classificadas em dois tipos: direta e indireta. Se o motor elétrico transmitir movimento de forma direta, estando sujeito à carga de trabalho em seu próprio eixo, é considerado que as vibrações sobre ele sejam de forma direta. Exemplificando podemos citar acionamentos de bombas centrífugas e motores de ar condicionado. Se o motor elétrico transmitir movimento de forma indireta, não estando sujeito a carga de trabalho em seu próprio eixo, é considerado que as vibrações sobre ele sejam de forma indireta. Exemplificando podemos citar acionamentos por polias e correias e com auxílio de redutores de velocidade. Acredita-se que motores submetidos a vibrações diretas apresentem menor durabilidade que motores submetidos a vibrações indiretas.

Em seguida, procurou-se identificar os tempos entre manutenções de motores e classificá-los em categorias. Foram divididos os tempos entre manutenções em 3 categorias, com frequências aproximadamente iguais;

- P – para tempo entre trocas pequeno até 2160 horas. Foram identificadas 49 ocorrências.
- M – Tempo entre torças médio, de 2161 a 4320 horas. Foram identificadas 45 ocorrências.
- G – Tempo entre trocas grande, acima de 4130 horas. Foram identificadas 49 ocorrências.

É importante salientar que a empresa apresenta uma série de deficiências no seu sistema de informações referente às manutenções realizadas. Não há distinção, por exemplo, entre uma manutenção preventiva, como a troca planejada de rolamentos e uma manutenção corretiva causada por uma queima do estator. A empresa não anota, por exemplo:

- O motivo da intervenção (se preventiva ou corretiva e se corretiva, qual o problema detectado)
- A marca, tipo e modelo dos componentes substituídos
- As condições observadas dos componentes na época da intervenção.

Essa falta de informação compromete a qualidade da análise estatística realizada, pois, além de deixar de trazer maiores informações sobre as manutenções realizadas, distorce os dados, misturando informações sobre manutenções preventivas planejadas e corretivas. Mesmos em face das deficiências detectadas nos dados, optou-se por prosseguir o estudo estatístico.

4.3. Análise estatística dos dados

Para executar a análise estatística dos dados, foi utilizado o software MINITAB® versão 13.20. Foram utilizadas as técnicas de regressão múltipla e análise discriminante.

4.3.1 Análise de Regressão Múltipla

A técnica de regressão múltipla teve o objetivo de se avaliar quão bem as variáveis consideradas independentes (umidade relativa, temperatura de trabalho, regime de trabalho, tipo do rolamento e tipo de vibração) explicam ou não o tempo entre manutenções.

4.3.2 Análise Discriminante

Procurou-se identificar por meio da análise discriminante, como as variáveis consideradas importantes conseguem explicar a classificação dos tempos entre manutenções dividida em 3 categorias. A classificação do tempo entre manutenções, (variável C1 classificada em P/M/G) e as demais variáveis (C2 a C6) são mostradas na tabela 1.

C1	C2	C3	C4	C5	C6
Tempo entre trocas	Umidade	Temperatura de trabalho	Regime de trabalho	Tipo do rolamento	vibração
P/M/G	1/2/3	1/2/3	0/1	0/1	0/1

Tabela 1 : Classificação das variáveis consideradas na análise discriminante

Foram analisadas as seguintes alternativas (tabela 2):

C1 com C2	C1 com C3 e C4
C1 com C2 e C3	C1 com C3 e C5
C1 com C2 e C4	C1 com C3 e C6
C1 com C2 e C5	C1 com C3, C4 e C5
C1 com C2 e C6	C1 com C3, C4 e C6
C1 com C2, C3 e C4	C1 com C3, C5 e C6
C1 com C2, C3 e C5	C1 com C3, C4, C5 e C6
C1 com C2, C3 e C6	C1 com C4
C1 com C2, C4 e C5	C1 com C4 e C5
C1 com C2, C4 e C6	C1 com C4 e C6
C1 com C2, C5 e C6	C1 com C4, C5 e C6
C1 com C2, C3, C4 e C5	C1 com C5
C1 com C2, C3, C4 e C6	C1 com C5 e C6
C1 com C2, C3, C4, C5 e C6	C1 com C6
C1 com C3	

Tabela 2 : Combinações consideradas na análise discriminante

5. Resultados

A seguir são apresentados os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de regressão múltipla e análise discriminante na base de dados da empresa pesquisada.

5.1 Resultados da Análise de Regressão Múltipla

Conclui-se que a equação que melhor explica o tempo entre trocas dos rolamentos é:

$$\text{Tempo entre manutenções} = 13.193 + 10,9 \text{ umidade} - 118 \text{ temperatura} - 5.078 \text{ regime} \\ + 1.520 \text{ tipo rolamento} + 573 \text{ Vibração}$$

Assim, portanto, verifica-se que a variável que mais influencia o tempo entre manutenções é o regime de trabalho, com peso 465,87 vezes maior que a umidade relativa, 43,03 vezes maior que a temperatura de trabalho, 3,34 vezes maior que o tipo do rolamento e 8,86 vezes maior que o tipo de vibração.

Observa-se ainda que o tempo entre as trocas na fórmula é inversamente proporcional à temperatura de trabalho, o que não parece ser lógico, pois quanto maior a temperatura, menor deveria ser o tempo entre manutenções. Note que na pesquisa de opinião, o fator temperatura seria justamente o aspecto mais relevante.

A variância obtida foi de 3.486 horas (ou 32,6 %), que pode ser considerada alta. Foram identificadas 8 observações não usuais, todas bem acima da média. Há indícios de que isso se deva a algumas manutenções não lançadas na base de dados, o que aumentaria o tempo entre manutenções. Expurgando-se essas 8 observações não usuais, a variância foi reduzida a 30,1 %. A distribuição dos tempos entre quebras em torno da média é mostrada na figura 3.

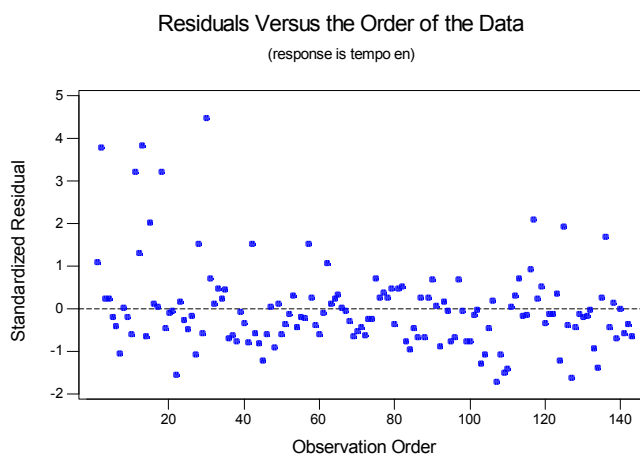


Figura 3 – Gráfico de dispersão das amostras

5.2 Resultados da Análise Discriminante

Para facilitar o entendimento, foram transcritos os resultados gerados pelo software, para a tabela 3.

Os melhores resultados observados estão sublinhados e com grafia “itálica” e os piores resultados observados estão em negrito. Considerando os valores encontrados, pode-se afirmar que a análise discriminante consegue, na melhor das configurações, prever em 59% dos casos, se o tempo entre manutenções será P, M, ou G, considerando as condições de funcionamento analisadas a que o motor está submetido. Pela tabela 3 observa-se que baseado nas informações sobre temperatura (C3), regime de trabalho (C4) e tipo de rolamento (C5), é possível prever corretamente em cerca de 59 por cento dos casos se o tempo entre manutenções será pequeno, médio ou grande. Observa-se também que em todas as análises na qual o regime de trabalho é considerado, a análise discriminante apresentou os melhores resultados, indicando também aqui que a variável C4 é a mais importante para que se classifique corretamente o tempo entre manutenções.

CORRELAÇÃO	PERCENTAGEM DE PRECISÃO
C1 com C2	0,378
C1 com C2 e C3	0,350
C1 com C2 e C4	0,559
C1 com C2 e C5	0,378
C1 com C2 e C6	0,399
C1 com C2, C3 e C4	0,573
C1 com C2, C3 e C5	0,406
C1 com C2, C3 e C6	0,399
C1 com C2, C4 e C5	0,566
C1 com C2, C4 e C6	0,559
C1 com C2, C5 e C6	0,406
C1 com C2, C3, C4 e C5	<u>0,587</u>
C1 com C2, C3, C4 e C6	0,580
C1 com C2, C3, C4, C5 e C6	<u>0,587</u>
C1 com C3	0,343
C1 com C3 e C4	0,573
C1 com C3 e C5	0,385
C1 com C3 e C6	0,385
C1 com C3, C4 e C5	<u>0,587</u>
C1 com C3, C4 e C6	0,580
C1 com C3, C5 e C6	0,378
C1 com C3, C4, C5 e C6	<u>0,587</u>
C1 com C4	0,566
C1 com C4 e C5	0,573
C1 com C4 e C6	0,566
C1 com C4, C5 e C6	0,559
C1 com C5	0,371
C1 com C5 e C6	0,371
C1 com C6	0,371

Tabela 3 : Resultados das combinações consideradas na análise discriminante

6. Conclusões

As técnicas utilizadas indicam que a variável relacionada ao regime de trabalho é um fator bastante influente na atividade prática do funcionamento dos motores, o que diverge da pesquisa de opinião, na qual o aspecto citado como mais importante seria a temperatura e o regime de trabalho aparece em quarto lugar. Ao contrário do que se esperava pela pesquisa de opinião, a temperatura apresentou ser uma variável de pouco peso com relação ao tempo entre quebras, apresentando uma correlação levemente positiva, ao contrário do que se deveria esperar.

A análise discriminante conseguiu classificar corretamente a faixa de tempo entre quebras em 59% dos casos, considerando as condições de funcionamento analisadas a que o motor está submetido. A variável ‘regime de trabalho’ apresenta-se como a mais importante. As variáveis ‘temperatura’ e ‘tipo de rolamento’ também contribuem para aumentar o nível de acertos.

Identificou-se ainda no estudo uma série de aspectos deficientes relativos à qualidade dos dados obtidos, que deverão ser contornados de modo a melhorar ainda mais os resultados em estudos futuros;

- ❑ A empresa não anota distintamente as manutenções preventivas, geralmente constando de trocas de rolamento e as manutenções corretivas, o que pode causar distorções.
- ❑ A umidade relativa observada nos ambientes analisados foi estimada, devido a falta de um higrômetro.
- ❑ O regime de trabalho do motor foi baseado em sua localização atual. Identificou-se que, caso um destes motores apresente falha e seja substituído, nada garante

que após a manutenção ele volte para o mesmo ponto onde estava instalado, o que ocasionaria falha na confiabilidade dos dados levantados.

Alguns aspectos não foram considerados no estudo, por não terem sido citados na pesquisa de opinião;

- ❑ A qualidade técnica da manutenção. Um descuido de montagem ou a forma de teste destes motores poderia em tese afetar o resultados.
- ❑ A marca do motor e dos componentes substituídos. Em tese, motores e componentes de melhor qualidade poderão aumentar o tempo entre quebras.
- ❑ O modelo do motor. Em tese, alguns modelos de motores poderiam propiciar uma maior durabilidade que outros.

Assim sendo, embora uma série de aspectos possam ser melhor considerados em estudos futuros, as técnicas de análise multivariada parecem preliminarmente serem uma ferramenta promissora na análise de problemas relacionados à manutenção, trazendo neste estudo informações pouco percebidas pelos responsáveis do setor.

Referências Bibliográficas

- BARBETTA, P. A . Estatística aplicada a ciências sociais. 5 Ed. Editora UFSC. Santa Catarina, 2002.
- BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. *Análise de dados*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982.
- CÂMARA, J. M.; Apostila Virtual da Disciplina de Manutenção Elétrica Industrial, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em <http://www.cae.ufrn.br/manut/cap08.htm>, acessado em 02/04/2004.
- CESJS; Analise de Artigos Científicos Para Tomada De Decisões Clínicas; Disponível em <http://www.cesjs.com.br/cient2.html> , acessado em 23/11/2003.
- CORDÃO NETO, M. P., MOITA NETO, J. M., SANTOS JÚNIOR, J. R., GUIMARÃES NETO, J. M. Aplicação da análise de agrupamento hierárquico ao estudo da percolação elétrica em compósitos de cera de carnaúba/polianilina. *Spin: Ensino e Pesquisa*, Belo Horizonte, v.4, n.6, p.36-40, 1997.
- DEL TORO, V. Fundamentos de máquinas elétricas. Rio de Janeiro : LTC, 1994.
- EBERLE S.A.; Manual de Instruções de Motores Elétricos; 1996.
- EDWARDS. Jr, C.H., PENNEY, D E. Introdução à Álgebra Linear. Rio de Janeiro:Prentice-Hall,1998.
- ELOIDIR, J. G., FINGER, C. A G, SOLON, J.L. , SCHUMACHER, M. V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de Araucária angustifolia (Bert.) O. Ktze., baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da serapilheira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.11, n.2, p.41-47, 2001.
- FONSECA, J. S., MARTINS, G. A M. Curso de estatística. 6 Ed. Editora Atlas. São Paulo, 1996.
- GUSSOW, M. Eletricidade básica. São Paulo: Makron Books. 1996.
- LEVINI, D. M., BERENSON, M L., STEPHAN, D. Estatística: Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro: LTC.2000.
- MIRANDA, F. A A, PASSOS, R. R., LOPES, J. A D., MOITA NETO, J. M. Aplicação de análise multivariada aos dados de espectroscopia no infravermelho obtidos na polimerização in situ de adesivo à base de cianoacrilato. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos, v.VII, n.2, p.41-45, 1998.
- MOREIRA, A. L. *Princípios de Engenharia de Avaliações*. Editora Pini. São Paulo, 1994.
- MOITA NETO, J. M., MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, São Paulo - Sp, v.21, n.4, p.467-469, 1998.
- PETERS, W. S., SUMMERS, G. W., Análise estatística e processo decisório. Universidade de São Paulo, 1973.

XII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 07 a 09 de novembro de 2005

SPIEGEL, M. R.. Estatística. 2 Ed. São Paulo: Makron books, 1993. STEVENSON, William J. Estatística Aplicada à Administração. São Paulo: Harbra, 1994.

SILVEIRA, F. L. . Um exemplo de análise multivariada aplicada à pesquisa quantitativa em ensino de ciências: explicando o desempenho dos candidatos ao concurso vestibular de 1999 da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999. Disponível em: [www.uf.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n2/v4_n2_a3.htm#\(6\)](http://www.uf.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n2/v4_n2_a3.htm#(6)). Acessado em 23/11/2003.

WEG Motores Ltda; Manual de Instruções de Motores Elétricos; 1991.