

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DE
COUROS NO ESTÁGIO WET BLUE: UM CASO EM UMA
INDÚSTRIA CURTIDORA**

Gustavo De Arriba

Porto Alegre, 2005

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DE COUROS
NO ESTÁGIO WET BLUE: UM CASO EM UMA INDÚSTRIA
CURTIDORA**

Gustavo De Arriba

Orientador: Professor Dr. Carla S. ten Caten

Banca Examinadora:

**José Luis Duarte Ribeiro, Dr.
Prof. Depto de Engenharia de Produção e Transportes / UFRGS**

**Márcia Echeveste, Dr.
Prof. Depto de Estatística/ UFRGS**

**Mariliz Gutterres Soares, Dr.
Prof. Depto de Engenharia Química/ UFRGS**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Área de concentração: Qualidade

Porto Alegre, novembro/2005.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelos Orientadores e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof^ª. Carla S. ten Caten, Dr.

PPGEP / UFRGS

Orientadora

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr

Coordenador PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

José Luis Duarte Ribeiro, Dr.

Prof. do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da UFRGS

Marcia Echeveste, Dr.

Prof. do Departamento de Estatística da UFRGS

Mariliz Gutterres Soares, Dr.

Prof.do Departamento de Engenharia Química da UFRGS

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Carla Schwengber ten Caten pelo conhecimento transmitido e sua valiosa contribuição sem a qual não seria possível a conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr José Luis Duarte Ribeiro, à Prof. Dr. Mariliz Gutterres Soares e à Prof. Dr Márcia Elisa Echeveste que gentilmente aceitaram o convite para comporem esta banca examinadora e enriqueceram este trabalho com suas sugestões.

Aos meus colegas de trabalho, em especial ao Ademir Naumann, fator chave no desenvolvimento dos experimentos, ao Rogério Tedi pela sua ajuda nas correções de português e a Fernando Andrioli que foi vital na solução de problemas na edição do trabalho.

Finalmente, à minha esposa e filhos pela paciência e compreensão, contribuindo assim para que esta meta fosse alcançada.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

RESUMO

A melhoria de qualidade e redução de custos para produtos e processos industriais pode ser realizada utilizando-se métodos de otimização experimental. Esta dissertação apresenta um método estruturado para a otimização do processo de classificação de couro *wet blue* usando em forma integrada as ferramentas de Análise de Sistemas de Medição e Projeto de Experimentos aplicado a variáveis discretas. O couro sofre vários processos químicos e mecânicos até chegar no estágio final de couro acabado sendo os principais estágios; os de *wet blue*, semi-acabado e acabado. O primeiro deles consiste na preparação da derme para o curtimento com o objetivo de tornar o couro imputrescível. O segundo processo, que transforma o couro em um produto semi-acabado, confere as características de maciez, resistência, cor e espessura e por último no processo de acabamento se obtêm as características finais de textura, brilho, toque superficial e valores técnicos exigidos pelos clientes como resistências a fricção, flexão, solidez a luz e adesão. O principal objetivo do trabalho é otimizar o processo de classificação no estágio *wet blue* a fim de reduzir o índice de refugos por classificação errada no produto acabado, sem aumentar o desperdício por refugar matéria-prima na origem. O método é ilustrado com um caso em uma Indústria Curtidora da região do Vale do Sinos em Rio Grande do Sul. Historicamente, existiam refugos no produto acabado que constituíam o principal problema de qualidade da indústria e um dos fatores de maior peso no custo da não qualidade. O estudo do Sistema de Medição permitiu modelar um treinamento aplicado aos classificadores de couro e estabelecer um sistema de indicadores que permitiu acompanhar a evolução ao longo do estudo. A aplicação do Projeto de Experimentos serviu para definir a melhor prática de classificação que conduziu à diminuição de erros por classificação errada. Os dados coletados ao longo da implantação permitiram apresentar conclusões comparando a situação antes e depois. Assim, verificou-se, com a implantação das medidas sugeridas com este estudo, uma redução de 60 % no índice de refugos por classificação errada no produto acabado e semi-acabado que traduzido a valores financeiros representou 420.000 reais por ano.

Palavras-chaves: *wet blue*, Couro acabado, Processo de Classificação, Sistema de Análise de Medição para Atributos, Projeto de Experimentos, Otimização

ABSTRACT

Quality improvement and cost reduction for manufacturing process and products can be executed using experimental optimization methodology. This Dissertation shows a structured method to optimize the sorting process of wet blue leather using at the same time the Measure Analysis System and Design of Experiment tools, both of them applied to discrete variables. Chemical and mechanical process, are applied to the hides to get a finish leather product, being the main steps; wet blue, crust and finish. The first consists in the preparation of the skin for the tanning to avoid the rottenness of the leather. The second process, which transforms the wet blue in a crust, gives to the leather the softness, resistance, color and substance and finally, the finishing process gives the final characteristic of texture, shine, touch and technical values required by the customers, like rubbing, bending, color fastness and adhesion. The main objective of the work is to optimize the sorting process in wet blue in order to reduce the rejects due sorting errors on the finished leather without increase the waste of good material at the origin. The method is illustrated with a case in a Tannery Industry located in Vale do Sinos area in Rio Grande do Sul. Historically, there were rejects in finished leather which created the main problems of Quality and one of the causes of greater importance of non-quality cost. The Measure Analysis System allowed to model a training applied to the leather sorters and establish a group of index to follow up the evolution of the study. The application of the Design of Experiments served to define the best practice of sorting which led to the reduction of sorting errors. Conclusions were shown during the implementation obtained by the collected data, comparing the previous situation with the present. In this way it was possible to verify, with the implementation of the suggested rules, a reduction of 60 % of the rejects index caused by sorting errors which means 180.000 u\$s per year.

Key-words: Wet Blue, Finished leather, Sorting Process, Measure Analysis System for Attributes, Design of Experiment, Optimizing.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1 COMENTÁRIOS INICIAIS	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 TEMA E OBJETIVOS	3
1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS	6
1.4 MÉTODO DE TRABALHO	7
1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	10
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. PELES E COUROS, DEFEITOS E SUA CLASSIFICAÇÃO	12
2.1.1 Defeitos das peles	12
2.1.2 Classificação das peles	15
2.2 ANÁLISE DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO	17
2.2.1. Introdução.....	17
2.2.2 Estabilidade	18
2.2.3 Tendência.....	19
2.2.4. Linearidade	19
2.2.5. Repetitividade	19
2.2.6. Reprodutibilidade	20
2.2.7 Introdução aos sistemas de medição de atributos	20
2.2.8 Definições preliminares	21
2.2.9 Critérios para avaliação de Sistemas de Classificação de Atributos	24
2.3 PROJETO DE EXPERIMENTOS	25
2.3.1 Introdução	25
2.3.2 Definições utilizadas no Projeto de Experimentos	27
2.3.3 Utilização das técnicas de Projeto de Experimentos	29
2.3.4 Planejamento de um experimento.....	30
2.3.5 Classificação dos projetos de experimentos	33
2.3.6 Generalização dos projetos fatoriais.....	34
2.3.7 Vantagens dos projetos fatoriais.....	35
2.3.8 Interpretação prática dos resultados	36
2.4 OTIMIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS MULTIVARIADOS	37
2.4.1 Introdução.....	37
2.4.2 Análise de variância (ANOVA)	40
2.4.3 Análise de regressão	41
2.4.4 Otimização robusta derivada de funções-objetivo experimentais	44
3 UM CASO EM UMA INDUSTRIA CURTIDORA	46
3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS	48
3.1.1 Processo produtivo	48
3.1.2 Processo de classificação.....	49
3.2 DIAGNÓSTICO DOS RESULTADOS DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO	50

3.2.1	Resultados de erros de classificação nos estágios de semi-acabado e acabado..	50
3.2.2	Resultado de erros de classificação no processo de wet blue	53
3.3	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E CAUSAS PROVÁVEIS	60
3.4	ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	61
3.4.1	Descrição do estudo do Sistema de Medição	62
3.4.2	Primeiro estudo do Sistema de Medição	63
3.4.3	Segundo estudo do Sistema de Medição	67
3.4.4	Treinamento sobre critérios	71
3.4.5	Terceiro estudo do Sistema de Medição	74
3.4.6	Quarto e quinto estudo do Sistema de Medição	75
3.5	RESUMO FINAL E CONCLUSÕES	77
3.5.1	Conclusões sobre o treinamento, ajuste de critérios e resultados alcançados. ..	78
3.5.2	Metas e acompanhamento	81
3.5.3	Resultados alcançados na produção	83
4	APLICAÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTOS NA OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE COURO	85
4.1	PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO	87
4.1.1	Fatores controláveis	87
4.1.2	Variáveis de resposta	90
4.1.3	Fatores de ruído	93
4.1.4	Execução dos experimentos.....	94
4.2	PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO	95
4.3	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS	96
4.3.1	Primeiro experimento no artigo Nubuck Chocolate	97
4.3.2	Segundo experimento no artigo Naplex preto	107
4.3.3	Terceiro experimento no artigo Diamond preto	110
4.3.4	Quarto experimento no artigo Nubuck Bege	113
4.4	CONCLUSÕES SOBRE OS ESTUDOS E PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE CLASSIFICAÇÃO	116
4.5	VALORIZAÇÃO FINANCEIRA DOS RESULTADOS ALCANÇADOS	117
5	CONCLUSÃO.....	119
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
	APÊNDICE A	127
	APÊNDICE B.....	130
	APÊNDICE C	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Evolução da produção Brasileira versus a exportação total de couros.....	2
Figura 1.2 – Fluxograma de processo industrial desde a recepção da matéria-prima até o couro acabado	3
Figura 1.3 – Fluxograma explicativo do método de trabalho	9
Figura 2.1 – Áreas da pele	16
Figura 2.2 – Cronologia aproximada da evolução dos Projetos de Experimentos	26
Figura 2.3 – Relação entre os fatores controláveis e a resposta.....	28
Figura 2.4 – Fluxograma para a seleção do Projeto de Experimentos mais adequado	34
Figura 2.5 – Comparação de respostas frente a um valor dado para o modelo estimado e verdadeiro	45
Figura 3.1 – Fluxograma do processo de análise do sistema de medição.....	47
Figura 3.2 – Erros de classificação nos estágios de semi-acabado e acabado.	51
Figura 3.3 – Erros de classificação wet blue na seleção A	54
Figura 3.4 – Erros de classificação wet blue na seleção B	54
Figura 3.5 – Erros de classificação wet blue na seleção C	55
Figura 3.6 – Planilha de coleta de dados de classificação em wet blue.....	58
Figura 3.7 – Índice de classificação errada em wet blue em função da seleção	59
Figura 3.8 – Índice de classificação errada em wet blue em função do classificador	59
Figura 3.9 – Índice de classificação errada em wet blue em função do estágio do processo ..	59
Figura 3.10 – Representação gráfica da participação de cada seleção sobre o total da matéria-prima a classificar e seus limites	64
Figura 3.11 a,b e c – Soma dos erros de seleção por classificador.....	67
Figura 3.12 a,b e c – Soma dos erros de seleção por classificador.....	71
Figura 3.13 – Total de erros e suas causas por classificador antes (1) e depois (2) do treinamento	79
Figura 3.14 – Evolução do resultado do R&R total e sem as peles limites	79
Figura 3.15 – Evolução do resultado da Eficácia, Probabilidade de CE e Probabilidade de AF	80
Figura 3.16 – Evolução do desvio padrão para cada experimento de Análise de Sistema de Medição.....	81
Figura 3.17 a-f – Erros de seleção em wet blue para cada uma das seleções comparando os dois períodos antes e depois dos estudos do Sistema de Medição	84
Figura 4.1 – Fluxograma da aplicação do Projeto de Experimentos e processo de otimização	86
Figura 4.2 – Estágios de classificação e variáveis de resposta associadas as diferenças de seleção entre eles	87
Figura 4.3 – Efeitos significativos da Probabilidade de Classificação errada para o estágio classificação wet blue	98
Figura 4.4 – Efeitos significativos da Probabilidade de Classificação errada para o estágio classificação semi-acabado	100
Figura 4.5 – Efeitos significativos da Probabilidade de alarme falso para o estágio classificação acabada	101
Figura 4.6 – Erros de classificação nos estágios de semi e acabado.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Fatores de Tendência Utilizados na Avaliação de Sistemas de.....	23
Tabela 2.2 - Casos especiais encontrados no cálculo da Tendência na Avaliação de Sistemas de Medição de Atributos.....	24
Tabela 2.3 - Critérios para Avaliação de Sistemas de Classificação de Atributos	24
Tabela 2.4 - Experimento isolado	35
Tabela 2.5 - Experimento fatorial	36
Tabela 2.6 - Funções linearizáveis com transformação	42
Tabela 3.1 - Análise da perda econômica por erros de classificação em semi-acabado e acabado	52
Tabela 3.2 - Economia anual gerada pela redução do erro de classificação em semi-acabado e acabado	53
Tabela 3.3 - Análise da perda econômica por refugos causados por classificação errada em wet blue	55
Tabela 3.4 - Economia projetada pela redução do refugo por classificação errada em wet blue.....	56
Tabela 3.5 - Análise de repetibilidade e reprodutibilidade	65
Tabela 3.6 - Resumo de análise de R&R por seleção	65
Tabela 3.7 - Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência.....	66
Tabela 3.8 - Análise de repetibilidade e reprodutibilidade	68
Tabela 3.9 - Resumo de análise de R&R por seleção	69
Tabela 3.10 - Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência.....	70
Tabela 3.11 - Registro das peles utilizadas no treinamento e causas dos desvios	73
Tabela 3.12 - Análise de R&R total e por seleção	74
Tabela 3.13 - Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência.....	75
Tabela 3.14 - Análise de R&R total e por seleção conforme o sistema de classificação	76
Tabela 3.15 - Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência conforme o sistema de classificação	76
Tabela 3.16 - Metas para Repetibilidade, Reprodutibilidade e R&R	81
Tabela 3.17 - Metas para Eficácia, Desvio Standard, Probabilidades de classificação errada e alarme falso	82
Tabela 4.1 - Fatores controláveis, níveis reais e codificados.....	89
Tabela 4.2 - Planilha de coleta de dados para o cálculo das variáveis de resposta.....	91
Tabela 4.3 - Critérios de otimização das variáveis de resposta	95
Tabela 4.4 - Critérios de otimização dos estágios de classificação	96
Tabela 4.5 - Análise do resultado da classificação em acabado comparando com a classificação em semi-acabado	104
Tabela 4.6 - Otimização dos fatores controláveis para cada um dos estágios	105
Tabela 4.7 - Otimização dos fatores controláveis para cada um dos estágios	106
Tabela 4.8 - Análise do resultado da classificação em acabado com e sem classificação em semi-acabado.....	109
Tabela 4.9 - Análise do resultado da classificação em acabado com e sem classificação em semi-acabado.....	112
Tabela 4.10 - Análise do resultado da classificação em acabado com e sem a classificação em semi-acabado.....	115

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

1	COMENTÁRIOS INICIAIS.....	1
1.1	INTRODUÇÃO.....	1
1.2	TEMA E OBJETIVOS	3
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS	6
1.4	MÉTODO DE TRABALHO	7
1.5	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	10
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	11

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Evolução da produção Brasileira versus a exportação total de couros.....	2
Figura 1.2 – Fluxograma de processo industrial desde a recepção da matéria-prima até o couro acabado	3
Figura 1.3 – Fluxograma explicativo do método de trabalho	9

CAPITULO 1

1 COMENTÁRIOS INICIAIS

1.1 INTRODUÇÃO

A indústria atual caracteriza-se por uma contínua procura pela otimização dos fatores competitivos, principalmente pelo surgimento de um número maior de empresas concorrentes e pela elevação dos níveis de exigência impostos pelo mercado consumidor. Isso é especialmente importante para o mercado exportador de algumas indústrias e também para determinados nichos de mercado. Dos cinco fatores que significam vantagens competitivas como custo, qualidade, velocidade, flexibilidade e confiabilidade, dois são absolutamente necessários para sobreviver na indústria moderna: qualidade e custo (SLACK, 1993).

O complexo agroindustrial brasileiro tem-se destacado, historicamente, na economia nacional. Na medida em que se ampliaram e aprofundaram as relações envolvendo a agricultura com os setores das cadeias produtivas, expandiram-se, simultaneamente, suas conexões com os mais diversos setores da economia.

Para se ter uma idéia da representatividade do agronegócio na economia do país, o conjunto de atividades gera aproximadamente um terço do PIB nacional, emprega um grande número de trabalhadores e responde por cerca de 35% das vendas domésticas no exterior. Neste contexto, o setor de peles e couros bovinos gerou, no ano de 2000, aproximadamente U\$S 1,85 bilhão em divisas (EMBRAPA, 2001).

No cenário internacional a demanda por couros bovinos tem-se mostrado em aumento, conforme Figura 1.1. Nesse contexto, apesar da qualidade do produto brasileiro estar aquém dos padrões desejados, sua exportação vem experimentando sensível incremento.

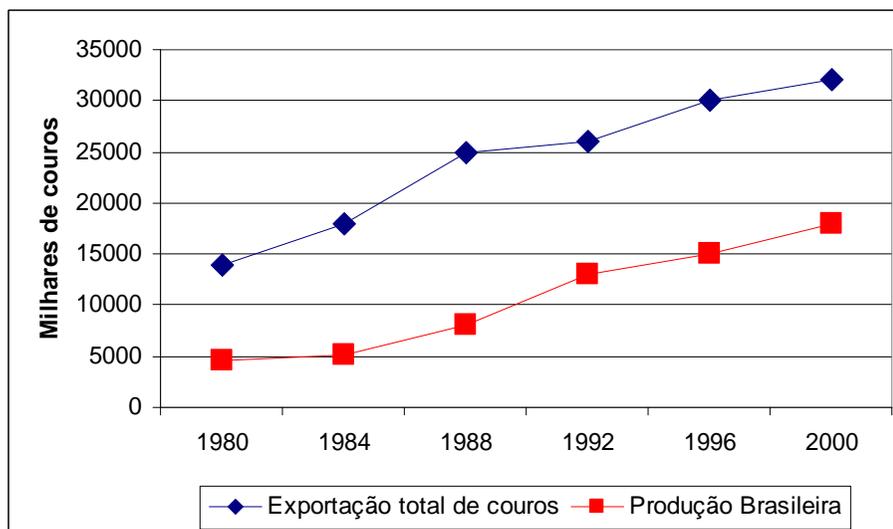


Figura 1.1 – Evolução da produção Brasileira versus a exportação total de couros.
Fonte: SECEX

Em particular o complexo coureiro-calçadista do Rio Grande do Sul assiste atônito à erosão das vantagens que por anos fizeram do calçado feminino fabricado no Vale do Sinos um dos principais itens da pauta de exportações brasileiras. Os fatores de maior influência nessa pressão competitiva estão dados, principalmente, por custos de mão de obra mais atrativos, o que obrigou o setor a buscar espaço nos mercados de maior valor agregado, os quais exigem uma outra dinâmica em termos de qualidade (PEREIRA, 2003).

Nas últimas décadas, as ferramentas estatísticas foram disseminadas na indústria auxiliando na otimização de processos e hoje constituem-se como ferramentas importantes para alcançar os objetivos industriais. O uso destas ferramentas obriga a buscar parâmetros de medição em cada uma das áreas e departamentos onde serão utilizadas e também exigem a definição de padrões de qualidade (MASEDA, 1988).

As decisões envolvidas no gerenciamento dos processos produtivos de uma empresa estão baseadas em dados, que normalmente são resultantes da realização de medições. No entanto, a obtenção das medidas de qualquer característica de qualidade também constitui-se em um processo e como tal está sujeita à atuação de diversas fontes de variação (WERKEMA, 1996).

No caso da avaliação de Sistemas de Medição por atributos, que constitui o caso em estudo, não é possível calcular a percentagem da faixa de especificação utilizada pela capacidade do sistema de medição. Portanto, é colocada ênfase na avaliação da capacidade ou da eficácia do operador em detectar repetidamente itens perfeitos ou defeituosos e da

tendência com que o operador rejeita unidades perfeitas e aceita unidades defeituosas (WERKEMA, 1996).

1.2 TEMA E OBJETIVOS

Antes de entrar especificamente no tema e objetivos da dissertação, algumas definições que serão utilizadas no trabalho:

- Seleção: a matéria-prima em seus diferentes estágios é classificada em grupos, cada um dos quais recebe o nome de seleção.
- Classificador: operador que realiza a classificação do couro nas diferentes seleções.
- Processo de classificação: define a operação de classificar couro e seu método de trabalho.
- Estágios *wet blue*, semi-acabado e acabado: constituem os três estágios do processo, sendo o produto acabado o último deles e também chamado de produto final.

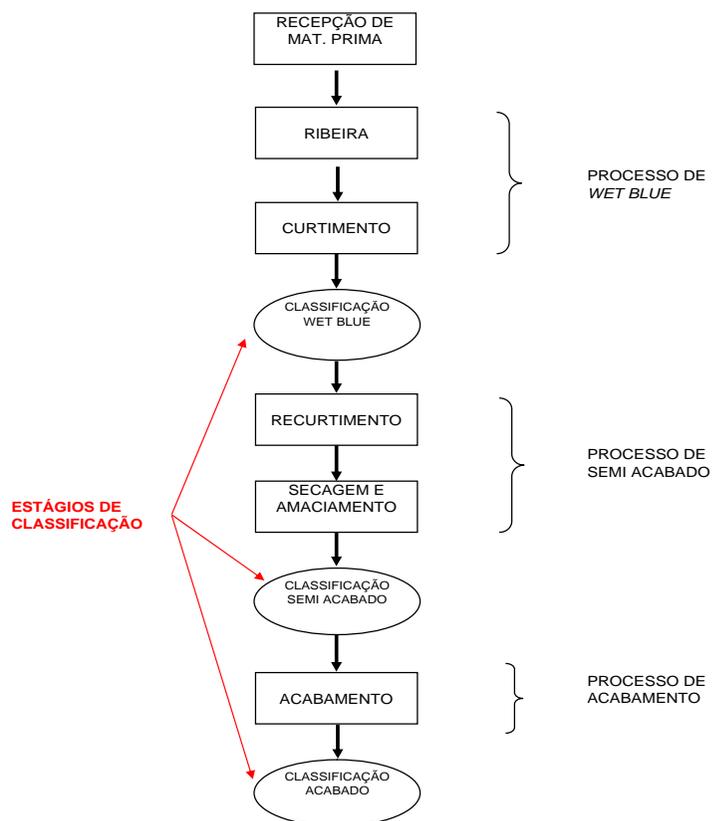


Figura 1.2 – Fluxograma de processo industrial desde a recepção da matéria-prima até o couro acabado

Na Figura 1.2 apresenta-se um fluxograma do processo industrial que transforma o couro cru em couro acabado.

O processo de classificação como se observa na Figura 1.2 é realizado em três estágios ao longo do processo. O primeiro, estágio de *wet blue*, serve para confirmar a classificação inicial da unidade de fabricação de origem, o segundo, estágio de semi-acabado, permite identificar couros não aptos a seguir processo economizando tempo e dinheiro e, por último, o estágio de couro acabado, representa a última inspeção antes de enviar o produto final para o cliente.

Todos eles apresentam uma certa subjetividade que vai se reduzindo à medida que avança o processo porque o que se pretende sempre é antecipar que tipos de defeitos podem chegar a aparecer ou ser dissimulados no produto final acabado.

Essa subjetividade e dificuldade em definir os defeitos que podem chegar a ser críticos junto a análise que se faz sobre a área de corte aproveitável, levam os classificadores a ser conservadores no momento de decidir se um couro é ou não apto a continuar no processo. Naturalmente o fato de serem conservadores aumenta as chances de desperdício.

Esta dissertação aborda como tema principal o uso integrado das ferramentas de Análise de Sistema de Medição e Projeto de Experimentos aplicado a variáveis discretas. Essas variáveis serão tratadas como diferença de seleção entre estágios do processo.

O fator que define a seleção do couro no estágio *wet blue* é a proporção da área livre de defeitos, mas a visualização deles depende de vários fatores: experiência do classificador, iluminação, critério para considerar ou não considerar certos defeitos, estado da matéria-prima e método de classificação (estático ou dinâmico). O grau de influência desses fatores sobre o resultado da classificação é o que quer-se provar a partir do Projeto de Experimentos.

No final do processo de produção, quando se tem o couro acabado, alguns desses defeitos continuam aparecendo. Outros são dissimulados parcial ou totalmente pelo processo e outros ficam mais visíveis, comprometendo a classificação final do produto. Quanto mais preciso for o resultado da classificação inicial no estágio *wet blue*, menor o risco de ter refugos por classificação errada no produto final acabado.

A classificação errada pode acontecer de duas maneiras diferentes. A primeira, e mais crítica, quando o classificador não reconhece um couro não apto para o produto a fabricar e aceita ele como apto. Isto gera erros no final do processo com um custo associado muito importante, tanto em desperdício do próprio material como em mão-de-obra, produtos químicos aplicados e o tempo utilizado na fabricação. A segunda maneira é considerar no estágio *wet blue* um couro apto como sendo não apto. Aqui o erro se transforma em desperdício por não aproveitar um couro apto e direcionar sua aplicação para produtos que não precisariam desse tipo de seleção e sim de uma mais baixa. O impacto deste erro de classificação é menor, mas no contexto da dissertação também será considerado. Um outro conceito importante de mencionar é que não considera-se classificação errada no produto acabado quando a seleção for melhor que a exigida.

O principal objetivo deste trabalho é otimizar o processo de classificação no estágio *wet blue* a fim de reduzir os refugos por classificação errada no produto final acabado sem aumentar o desperdício por refugar matéria-prima no estágio *wet blue* que poderia ter sido utilizada.

Esta dissertação tem como objetivos específicos:

- Quantificar e reduzir a variabilidade que existe no processo de classificação *wet blue* devido ao próprio processo e aos classificadores utilizando para isto um Estudo de Sistema de Medição.
- Estabelecer um método de medição de desempenho e treinamento dos classificadores que realizam a inspeção do couro no estágio *wet blue*.
- Buscar a convergência de critérios de classificação entre o Supervisor de classificação e os distintos classificadores.
- Analisar a eficiência da classificação no estágio semi-acabado.
- Otimizar o processo de classificação no estágio *wet blue* aplicando um processo de otimização nas diferentes variáveis de resposta definidas e nos três estágios de classificação.

A empresa objeto deste estudo é a Bracol Couros que faz parte do Grupo Bertin Ltda, produtora de couro acabado e fornecedora para a indústria calçadista e de artefatos de couro da região do Vale do Sinos. A empresa também exporta para a Ásia, mercado onde se concentra hoje a maior produção de calçado do mundo.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS

A indústria curtidora como alguns de seus clientes, possui um elevado índice de subjetividade no estabelecimento das suas especificações. Essa subjetividade é uma das características mais marcantes que encontra-se no processo de classificação do couro. Esta falta de definições claras sobre os limites de cada característica da qualidade, entre elas a seleção, está presente em toda a cadeia coureiro-calçadista, dificultando o processo de melhoria de qualidade. Quando um cliente especifica a seleção de um produto o faz pensando em uma determinada área aproveitável que vai depender do produto final, do tipo de modelo de calçado ou bolsa que ele vai produzir e dos defeitos que podem ser aceitos como parte do produto. O problema é que estas informações normalmente não chegam ao curtime e, se chegam, são parciais ou relacionadas apenas a um tipo de modelo criando problemas quando o cliente altera o produto e pretende utilizar a mesma matéria-prima.

A falta de características de qualidade que possam ser medidas faz com que os clientes se deixem levar pelo aspecto puramente visual razão pela qual as dificuldades se acentuam. Este cenário tem mudado nos últimos tempos, pois os clientes começam a se preocupar não apenas com o produto final como também com o processo de fabricação. Desta forma, começam a ser consideradas exigências que apontam a um maior e melhor controle dos processos.

A matéria-prima couro, desde o abate do animal, sofre transformações químicas e físicas até se converter em um couro acabado apto para ser comercializado. O custo da matéria-prima representa de 50 a 60% do custo total do produto final, dependendo do tipo de produto manufaturado.

Os defeitos devidos a uma escolha errada da matéria-prima, se traduzem em refugos, vendidos por um preço muitas vezes até 60% menor que o original e também em entregas não cumpridas que geram elevada insatisfação nos clientes.

A empresa objeto do estudo está saindo de um mercado de *commodities* e entrando em mercados onde há uma valorização maior do produto. Artigos mais nobres destinados a

linhas esportivas, calçados masculino e feminino e artefatos de couro levam a trabalhar com materiais com menor índice de defeitos. Por tratar-se de mercados mais exigentes, são mais críticos na avaliação final do produto, tolerando menos erros de classificação errada.

Os refugos gerados por classificação errada no produto final causados por classificação errada na origem constituem o principal problema qualitativo da empresa que se vê agravado pela crescente complexidade dos produtos e exigências dos clientes.

Hoje, o processo de classificação na empresa é crítico pela dimensão que a organização possui. São seis plantas produtoras que concentram sua produção em três plantas de processamento de couro semi-acabado e acabado. Isto gera uma maior variabilidade nos critérios de seleção que conduzem a refugos por erros de classificação errada no produto final.

Estabelecendo um método capaz de diminuir essa variabilidade e melhorando o treinamento dos classificadores, pretende-se simplificar o processo sem sacrificar a qualidade.

Pela natureza do trabalho e sua subjetividade, muitas vezes dominados pela pressão, os classificadores acabam sendo muito conservadores na seleção do material. Desta forma minimiza-se o refugo por classificação errada no produto final às custas de exigências maiores no início causando desperdícios desnecessários no estágio *wet blue* que provocam impactos negativos em termos de custo.

Finalmente, o objetivo final da empresa, como o de qualquer indústria é atender aos clientes e não criar falsas expectativas em termos de aproveitamento do material. Muitas vezes isso acaba gerando um conflito industrial-comercial devido a critérios pouco claros. Os clientes, independente do produto que manufaturam, calculam seu custo a partir do aproveitamento da área de corte. A empresa calcula seu custo a partir da seleção da matéria-prima *wet blue* aplicada aos diferentes produtos acabados. Quando ambos os fatores não convergem, geram-se conflitos que acabam causando perdas para as duas partes.

1.4 MÉTODO DE TRABALHO

O método de pesquisa científica, proposto para esta dissertação, usa elementos da Pesquisa-ação conforme a classificação apresentada por Roesch (1996).

A Pesquisa-ação consiste em resolver problemas pontuais dentro de uma organização ou grupo. A Pesquisa-ação torna-se parte do processo de mudança ao encorajar as pessoas envolvidas com o programa a estudar seus próprios problemas com vistas a

resolvê-los. A Pesquisa-ação possui um alto grau de envolvimento entre pesquisador e o objeto pesquisado, por trabalhar uma questão de interesse comum. Na pesquisa-ação não há intenções de generalizar, seus resultados são usados internamente para atacar problemas específicos. O enfoque utilizado pelo pesquisador faz que ele interprete o mundo real partindo da perspectiva dos sujeitos de sua investigação.

O que distingue a Pesquisa-ação dos demais enfoques da pesquisa qualitativa, é a relação da teoria com a prática. Nos métodos tradicionais de pesquisa qualitativa combinam-se observações com entrevistas, na pesquisa-ação os investigadores preocupam-se em construir teoria para a prática. (JONES, apud ROESCH, 1996).

O estudo nasceu a partir da necessidade de encontrar-se uma solução para um problema prático real. Os trabalhos de pesquisa e ação aconteceram quase simultaneamente.

A presente pesquisa inicia-se com uma revisão da literatura abordando dois temas principais: (i) Análise do Sistema de Medição por atributos, e (ii) Projeto de Experimentos. O objetivo é revisar e consolidar informações e conceitos julgados necessários para o desenvolvimento de trabalhos utilizando as ferramentas mencionadas.

O desenvolvimento deste trabalho estará constituído por 6 etapas conforme se apresenta na Figura 1.3. Procura-se uma integração entre as ferramentas de Análise de sistema de medição para atributos e Projeto de Experimentos.

A primeira etapa representa um diagnóstico de como está a situação hoje em termos de variabilidade de critérios de classificação da matéria-prima no estágio *wet blue*. Esta análise permite conhecer quais são os fatores de maior influência no refugo por erros de classificação errada e assim poder definir procedimentos para reduzir a ação das fontes de variabilidade. Para chegar a estes resultados se trabalhou com uma base de dados reunindo informação de seis meses de trabalho. A identificação dos efeitos significativos serve de base para a definição dos fatores controláveis do Projeto de Experimentos.

A segunda etapa é a realização de testes para medir o desempenho da equipe de classificadores. Avaliam-se repetibilidade, reprodutibilidade, eficácia, probabilidade de classificação errada, probabilidade de alarme falso, tendência e estabilidade, tanto no geral como em cada uma das seleções por separado. Este procedimento continuará fazendo parte do treinamento dos classificadores uma vez definido o melhor sistema de classificação.

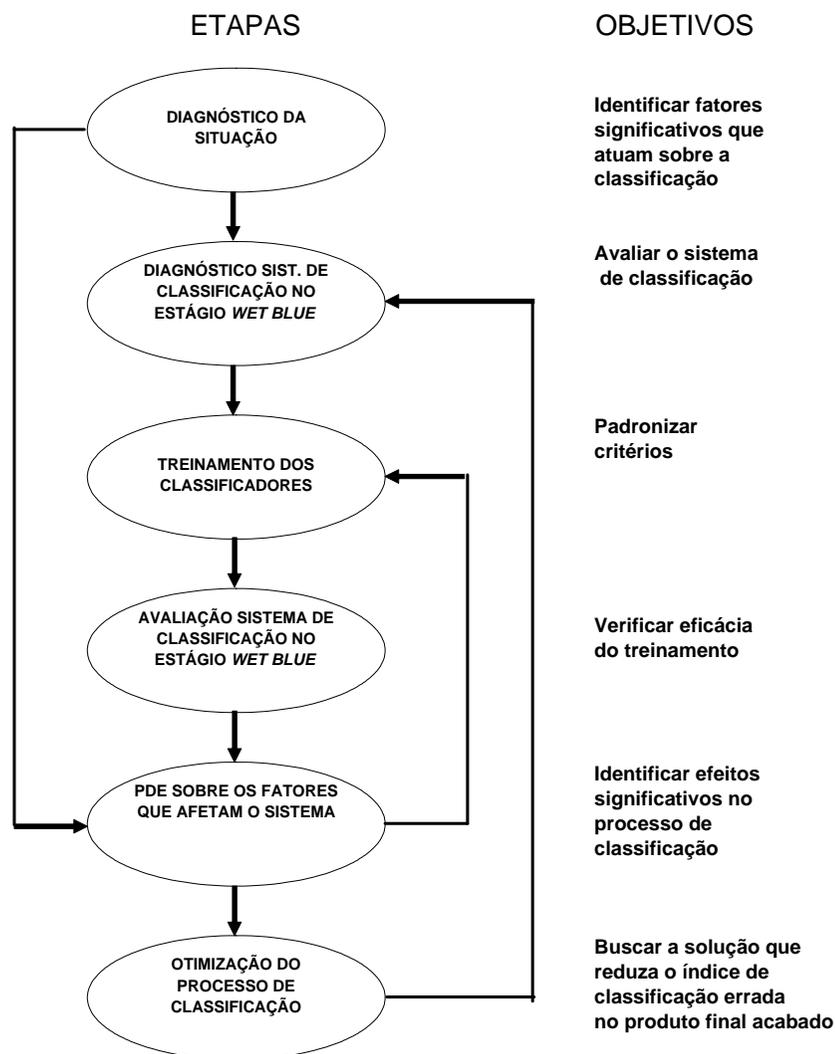


Figura 1.3 – Fluxograma explicativo do método de trabalho

A terceira etapa consiste na elaboração de um procedimento de treinamento dos classificadores e método de avaliação de desempenho. Para isto trabalha-se com cada uma das peles que participaram do teste com o objetivo de identificar quais são os tipos de defeitos visíveis na pele que têm maior impacto na repetibilidade, reprodutibilidade e eficácia da classificação. Através desta associação direciona-se o treinamento aos classificadores em função dos erros que cada um cometeu.

A quarta etapa compreende um novo estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade, R&R, sobre os classificadores para determinar a melhora no processo de classificação a partir do treinamento e também auxiliar no planejamento do Projeto de Experimentos

Uma vez melhorado o processo de Classificação da matéria-prima, via padronização de critérios, inicia-se a quinta etapa do trabalho. Ela contempla um Projeto de Experimentos

para identificar os fatores que apresentam maior influência no índice de refugos por classificação errada no produto acabado devida a classificação errada no estágio de *wet blue* e desta forma determinar qual é o método de classificação que oferece melhor garantia de resultados no final. Além da definição do melhor método de trabalho as informações levantadas permitem atuar sobre o treinamento dos classificadores de *wet blue* para ajustar eventuais erros.

Na quinta etapa realizam-se diferentes comparações entre cada estágio de classificação, pele por pele, para medir resultados individuais e desvio padrão do lote como um todo. A otimização do processo de classificação, que constitui a sexta etapa, leva em consideração as distintas variáveis de saída com o objetivo de fazer uma otimização de custos, considerando não só os refugos por classificação errada no produto acabado como também o desperdício de matéria-prima na origem. Uma vez otimizado o sistema de classificação repetem-se os estudos de R&R aplicados no treinamento, explicado na segunda etapa, utilizando o método escolhido como ótimo.

1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho contempla a otimização do processo de classificação exclusivamente do estágio de classificação em *wet blue*, não considerando uma primeira classificação que acontece antes do curtimento, no estágio conhecido como “tripa”.

Existem vários processos de curtimento, o tradicional curtido ao cromo, o curtido vegetal e o curtido que recebe o nome de *wet white*. Neste trabalho será estudado apenas o processo de classificação para os couros curtidos ao cromo, *wet blue*.

No processo de classificação não são apenas os defeitos da pele que são considerados, tais como riscos, carrapatos, furos e marcas de fogo. As veias e os problemas devidos à conservação da pele também são motivos de refugo. Neste estudo serão principalmente observados os problemas decorrentes de defeitos, mas não serão bloqueadas as variáveis que influenciam os refugos por problemas de conservação. Elas acontecem antes que o couro comece seu processo de industrialização no curtume sendo provocadas pelas bactérias que atacam a superfície do couro causando danos irreparáveis.

Finalmente, outro fator importante a mencionar é a influência que têm os processos de acabamento, maior cobertura, lixamento, polimento, gravação e outros recursos que se

utilizam para dissimular defeitos. Eles não farão parte deste trabalho, estando o estudo limitado a processos padrões sem buscar melhoria através da alteração dos processos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em 5 Capítulos. No primeiro é feita uma introdução ao tema, justificando a importância da otimização do processo de classificação do couro no estágio de *wet blue*. Também neste capítulo se apresentam os objetivos, o método, as limitações e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica que aborda conceitos sobre couro e seus defeitos, Análise do Sistema de Medição para Atributos, Projeto de Experimentos e Otimização Multivariada. Através da revisão, procura-se apresentar o conhecimento consolidado.

No Capítulo 3 apresenta-se uma breve descrição dos processos produtivos e de classificação, o resultado do diagnóstico e o método de trabalho utilizado e resultados alcançados com o estudo do Sistema de Medição de Atributos aplicado a Classificação de couros no estágio *wet blue*.

No Capítulo 4 apresenta-se a aplicação do Projeto de Experimentos junto à discussão dos resultados alcançados e a possível simplificação do sistema de classificação.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e as propostas de sugestões para trabalhos futuros que possam dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1.	PELES E COUROS, DEFEITOS E SUA CLASSIFICAÇÃO	12
2.1.1	Defeitos das peles	12
2.1.2	Classificação das peles.....	15
2.2	ANÁLISE DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	17
2.2.1.	Introdução	17
2.2.2	Estabilidade.....	18
2.2.3	Tendência.....	19
2.2.4.	Linearidade	19
2.2.5.	Repetitividade	19
2.2.6.	Reprodutibilidade.....	20
2.2.7	Introdução aos sistemas de medição de atributos	20
2.2.8	Definições preliminares	21
2.2.9	Crterios para avaliao de Sistemas de Classificao de Atributos.....	24
2.3	PROJETO DE EXPERIMENTOS.....	25
2.3.1	Introduo	25
2.3.2	Definies utilizadas no Projeto de Experimentos	27
2.3.3	Utilizao das tcnicas de Projeto de Experimentos	29
2.3.4	Planejamento de um experimento.....	30
2.3.5	Classificao dos projetos de experimentos	33
2.3.6	Generalizao dos projetos fatoriais	34
2.3.7	Vantagens dos projetos fatoriais	35
2.3.8	Interpretao prtica dos resultados.....	36
2.4	OTIMIZAO DE EXPERIMENTOS MULTIVARIADOS	37
2.4.1	Introduo	37
2.4.2	Anlise de varincia (ANOVA).....	40
2.4.3	Anlise de regresso	41
2.4.4	Otimizao robusta derivada de funes-objetivo experimentais	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Áreas da pele	16
Figura 2.2 – Cronologia aproximada da evolução dos Projetos de Experimentos	26
Figura 2.3 – Relação entre os fatores controláveis e a resposta.....	28
Figura 2.4 – Fluxograma para a seleção do Projeto de Experimentos mais adequado.....	34
Figura 2.5 – Comparação de respostas frente a um valor dado para o modelo estimado e verdadeiro	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Fatores de Tendência Utilizados na Avaliação de Sistemas de.....	23
Tabela 2.2 - Casos especiais encontrados no cálculo da Tendência na Avaliação de Sistemas de Medição de Atributos.....	24
Tabela 2.3 - Critérios para Avaliação de Sistemas de Classificação de Atributos	24
Tabela 2.4 - Experimento isolado	35
Tabela 2.5 - Experimento fatorial	36
Tabela 2.7 - Funções linearizáveis com transformação	42

CAPITULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão tem como objetivo apresentar as etapas necessárias para o desenvolvimento do projeto de otimização da classificação.

O capítulo divide-se nas Seções e assuntos apresentados a seguir: Na Seção 2.1, são abordados conceitos genéricos sobre o couro e os tipos de defeitos que dão origem à classificação. Na Seção 2.2 é feita uma revisão da Análise do Sistema de Medição e dos estudos de R&R com o objetivo de aplicar posteriormente estes conceitos no modelo de intervenção. Na Seção 2.3 são revisados conceitos genéricos sobre Projeto de Experimentos e especificamente os Projetos Fatoriais e finalmente na Seção 2.4 apresenta-se uma revisão de conceitos utilizados na Otimização de Experimentos Multivariados.

2.1. PELES E COUROS, DEFEITOS E SUA CLASSIFICAÇÃO

2.1.1 Defeitos das peles

O principal obstáculo enfrentado pelo setor de curtumes é a melhoria da qualidade de seu produto final, couro acabado, cujo atual nível depende da melhoria da qualidade da matéria-prima, a pele. O sistema de produção empregado na pecuária resulta em um couro com elevada incidência de defeitos por parasitas, cortes e outras marcas.

Os defeitos encontrados nas peles cruas podem-se dividir em três grandes grupos; (i) aqueles que existem nos animais vivos; (ii) os defeitos próprios do esfolamento; e (iii) os que são causados pela má conservação (KONCZOL, 1963; HOINACKI, 1989).

As doenças da pele do animal prejudicam sua qualidade. Estes defeitos notam-se perfeitamente depois do curtimento. As parasitas causam talvez os maiores defeitos da pele no animal vivo.

Na seqüência, são apresentadas as principais características das parasitas que atacam o couro enquanto o animal está vivo (KONCZOL, 1963).

Os carrapatos vivem na superfície da pele do animal, alimentando-se de sangue. São os causadores de uma série de perdas no valor das peles. Estas perdas são devidas às picadas dos carrapatos e em geral, só aparecem depois do curtimento. Estas picadas podem estar abertas ou fechadas.

Os bernes são larvas de moscas que se desenvolvem sobre a pele. A mosca não transmite os ovos diretamente à pele, mas por intermédio de outros insetos. Quando esses transmissores pousam sobre um mamífero, depositam esses ovos, dos quais saem as larvas minúsculas, que penetram na pele, onde se desenvolvem dentro de 30 a 60 dias. Uma vez maduras, abandonam a pele em que se incrustaram, caindo ao solo, onde se enterram, transformando-se em pupa, que em 30 a 70 dias descasca, deixando sair a mosca e dando lugar ao reinício do ciclo. O tipo de defeito é um dos mais críticos porque chega a furar a pele. Por possuir um ciclo biológico bastante complexo, torna-se difícil seu combate (HOINACKI, 1989).

A sarna também de natureza parasitária, se caracteriza pela comichão e queda dos pelos. Ela tem influência sobre a vida do animal, prejudicando o seu crescimento e ocasionando sérios defeitos na sua pele. Este tipo de defeito é mais difícil de apreciar no estágio de curtimento e fundamentalmente aparece em função do tipo de acabamento do produto final.

Os outros defeitos das peles que acontecem durante a vida do animal são os riscos de cerca pelo uso do arame farpado, podendo ficar aberto ou fechado; chifradas que ocorrem quando vivem em grandes concentrações ou no próprio transporte em caminhões e as marcas a fogo, que apesar de estarem regulamentadas desde 1942, ainda se constituem em uma das maiores áreas de perda. A vantagem é que são perfeitamente visíveis e, portanto, não afetam a probabilidade de classificação errada.

Os defeitos do esfolamento são ocasionados pela falta de cuidado, durante o esfolamento. Os mais comuns são os verificados pelo risco da faca e causam grande perda no valor da pele, especialmente quando ela é destinada a grandes peças, estofamento e artefatos como bolsas ou pastas. A esfolagem consiste na remoção da pele do animal abatido. Uma má esfolagem pode conduzir a uma pele com mau formato, refletindo-se no seu aproveitamento final (HOINACKI, 1989).

Finalmente existem os defeitos por má conservação que se geram após o abate do animal. Quando as peles ficam aguardando a continuidade do processo começam a serem atacadas por bactérias que dão início à putrefação em certas regiões do couro. O calor, a exposição ao ar, ou o próprio processo de salga quando ela tem impurezas contribui a criar este problema. Este tipo de defeito é muito difícil de identificar quando a pele ainda conserva o pelo, a menos que o estado delas esteja muito adiantado. Quando acontece uma secagem rápida não há evaporação da umidade da parte interna e ela oferece um campo propício para a atividade das bactérias.

A pele proveniente de animais doentes ou que foram maltratados nunca poderá fornecer um produto igual ao que se obtém de animais saudáveis, bem tratados e de boa procedência. O clima também tem grande influência na qualidade da pele.

Uma pesquisa realizada na região da Paraíba mostra que os principais defeitos encontrados são:

- a) Carrapatos: aproximadamente um terço dos couros possuem carrapato na zona do grupão (ver Figura 2.1) e mais da metade nas extremidades.
- b) Berne: a quantidade de peles com berne é relativamente baixa, sendo 10,67% no grupão e 13,63% nas extremidades.
- c) Riscos cicatrizados: mais da metade dos couros apresentam este problema, 59,3%. Para o caso das extremidades, 36,53%.
- d) Riscos abertos: os percentuais são 65,59% para o grupão e 45,72% para as extremidades.
- e) Cortes de faca: a maioria das peles apresenta na zona do grupão 79,22%. Para as extremidades o número diminui para 18,62%.

f) Má conservação foi encontrada em 13,31% das peles no grupão e 5,57% na região das extremidades.

g) Furos, um terço dos couros apresentaram no grupão 31,19% e 38,37% nas extremidades.

h) Finalmente as marcas de fogo se encontraram em 57,27% das peles na região do grupão.

As informações do levantamento levaram a considerar que os riscos abertos, cortes de faca, furos e marcas de fogo são os principais causadores do desperdício em couros bovinos, quer seja pela quantidade ou pela grande concentração. As bernes causam mais dano nas extremidades, preferencialmente na barriga e cabeça e finalmente existe uma forte relação entre riscos abertos e fechados, sendo que as causas deles podem ser as mesmas ou estarem interligadas (FURLANETTO, 1996).

O couro ainda é visto na cadeia pecuária de corte como um subproduto do boi. Mas, se bem aproveitado, geraria uma riqueza ao Brasil de cerca de 2,2 bilhões de dólares e mais de 200 mil novos empregos. Diversos estudos indicam que 60% dos defeitos no couro ocorrem na propriedade rural. Destes, 10% é por causa da marcação errada do gado e o restante pelo manejo inadequado, falta de controle de parasitoses, entre outras razões. Os outros 40% de defeitos ocorrem no transporte do animal (pregos e parafusos expostos) e por salga e esfolagem mal feitas.

O CICB, Centro de Indústrias Curtidoras do Brasil, (2003) estima que os defeitos ocasionam perdas ao país da ordem de U\$S 500 milhões devido à falta de cuidados.

2.1.2 Classificação das peles

Antes de entrar no detalhe da classificação observada na literatura é bom especificar as distintas partes de um meio couro. Como se observa na Figura 2.1 existem três partes importantes, cada uma das quais com características diferentes.

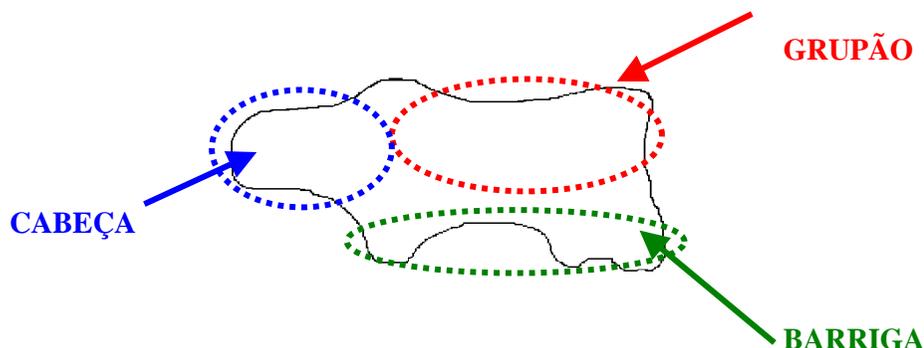


Figura 2.1 – Áreas da pele

O grupão é a região mais nobre da pele, correspondendo a 50 % do couro. É onde as fibras são mais firmes e iguais.

Do ponto de vista do animal também existem diferenças importantes. Quanto mais novo ele é, mais finas serão suas fibras e flor. A qualidade do couro das vacas depende do número de crias que deram; o couro fica cada vez mais vazio e vai perdendo elasticidade. O couro de touro distingue-se do da vaca e do boi, pois tem as fibras mais frouxas, sendo grossas e curtas na parte de cabeça, e mais finas no grupão (KONCZOL, 1963).

A classificação das peles de um modo geral obedecerá às seguintes especificações: (i) primeira: quando apresentem ausência de cortes, furos, cicatrizes, calosidades, picadas, manchas, etc, alguns riscos ou arranhaduras fora do grupão que não prejudiquem a utilização da pele; (ii) segunda: pode apresentar alguns riscos e arranhaduras superficiais no grupão; (iii) terceira; apresentam um aproveitamento integral de pelo menos metade do grupão, tendo nesta área, riscos, pequenos cortes, picadas, cicatrizes etc; e (iv) a quarta categoria onde as peles apresentam condições de conservação precárias e o grupão lesões que comprometem sua utilização em outras classificações melhores (KONCZOL, 1963; HOINACKI, 1989).

Cada indústria segue seus critérios baseados no anterior e também em função dos produtos comercializados. Hoje boa parte da matéria-prima brasileira se destina ao mercado de estofamento moveleiro e automotivo e, portanto, novos critérios têm surgido onde além de se considerar os defeitos tradicionais têm uma importância especial os furos e a altura do cupim do boi. No caso específico da indústria em estudo, as classificações

recebem a identificação das letras do abecedário, A e B que correspondem a primeira, C que corresponde a segunda, D a terceira e, finalmente E a quarta categoria de classificação.

2.2 ANÁLISE DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

2.2.1. Introdução

A avaliação da qualidade de medidas é vital para a prática gerencial. Conforme Deming apud Werkema (1996):

“o que se registra ao final de uma determinada operação de medição é o último produto de uma longa série de operações, desde a matéria-prima até a operação de medição propriamente dita. A medição é, pois, a parte final deste processo. Assim, do mesmo modo como é vital controlar estatisticamente as outras partes deste processo, é vital controlar-se estatisticamente o processo de medição; caso contrário, não há medida que tenha significado comunicável”.

A medição é um dos fatores importantes do processo de melhoria que utiliza a filosofia Seis Sigma, DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar). No estágio da medição definem-se as necessidades e expectativas do cliente com o objetivo de determinar as variáveis críticas do processo. Usam-se para tal fim ferramentas básicas como MSA (*Measurement System Analysis*), FMEA (*Failure Modes and Effects Analyses*) e o QFD (*Quality Function Deployment*) (DA LUZ MATOS & CATEN, 2003).

Dessas ferramentas mencionadas será tratada nesta Seção os Sistemas de Análises de Medição.

Uma vez que a validade das análises relativas aos resultados do processo depende da validade dos dados, é essencial que o sistema de medição seja adequado. A precisão associada ao sistema de medição está relacionada com o próprio instrumento e com outras fontes de variação (RIBEIRO & CATEN, 2003).

Conforme Werkema (1996) a obtenção de medidas de alguma variável ou característica de interesse associada a um processo de produção de bens ou de serviços, também se constitui em um processo, estando sujeita à atuação de diversas fontes de variação. Por isso se diz que a avaliação da capacidade dos sistemas de medição é um importante estudo que deve ser parte integrante do gerenciamento de processos.

Os principais fatores responsáveis pela variabilidade associada aos processos de medição são: (i) desgaste de componentes do instrumento de medição; (ii) posição em que o item a ser medido é colocado no aparelho de medição; (iii) condições ambientais; (iv) emprego de procedimentos de medição inadequados; e (v) falta de calibração do aparelho de medição.

Os sistemas de medição podem ser analisados conforme sua estabilidade, tendência, linearidade, repetitividade e reprodutibilidade.

No momento de analisar um sistema de medição a preocupação passa por avaliar sua capacidade de discriminação, ou seja, sua capacidade de detectar pequenas mudanças na característica em estudo.

As fontes de variação são a causa porque o resultado da medição de uma característica difere em maior ou menor extensão, do valor real da característica que está sendo medida, isto é, o que gera o erro de medição. Portanto, é inadequado assumir como verdadeiro o fato de que os processos de medição utilizados pela empresa fornecem dados confiáveis, sem que antes tenha sido realizado um estudo para a quantificação das fontes de variação ou incerteza que estão associadas à medição. Esses estudos são conhecidos como estudos para Avaliação da Capacidade de Processos de Medição (WERKEMA, 1996).

É importante destacar que o valor real da característica medida é, de fato, um valor abstrato que sempre será desconhecido. No entanto, este valor pode ser estimado como a média das medidas da característica que está sendo medida. Para isso, usa-se um instrumento de medição confiável. Este equipamento recebe o nome de padrão de referência (WERKEMA, 1996).

Na seqüência, analisar-se-á cada um deles conforme Ribeiro e Caten (2003).

2.2.2 Estabilidade

A estabilidade de um sistema de medição refere-se ao seu desempenho em função do tempo. Normalmente ela não é quantificada, mas pode ser avaliada usando-se cartas de controle. Uma mesma peça sendo avaliada pode apresentar diferenças de medição causadas por desgaste no instrumento de medição, problemas de calibragem ou até por problemas de treinamento do operador.

2.2.3 Tendência

Define-se como tendência a diferença entre a média observada e o valor de referência. Ela pode se expressar em termos percentuais, onde a base de comparação é a variação total do processo ou a tolerância que está representada pela amplitude do intervalo de especificação.

O estudo de tendência pode ser feito a partir dos dados do estudo de estabilidade. Os motivos que podem causar erros de tendência são dispositivos de medição mal calibrados, desgastados e falta de treinamento ou conhecimento no uso do sistema de medição.

A tendência precisa estar associada a medida da dispersão também conhecida como precisão. Ela representa a distribuição dos valores medidos em torno da média. A combinação entre a tendência ou vício e a precisão recebe o nome de Acurácia ou Exatidão (WERKEMA,1996).

2.2.4. Linearidade

O estudo da linearidade do instrumento de medição verifica o desempenho do dispositivo ao longo de toda sua faixa de uso. O instrumento muitas vezes pode estar calibrado e funcionando adequadamente em um extremo da faixa, mas isso não assegura seu funcionamento no centro ou no outro extremo. Para realizar este estudo é necessário usar peças cujos valores de referência contemplem toda a faixa de uso do dispositivo. A partir das medições registra-se a tendência observada, verificando através de um estudo de regressão se a tendência é função do valor de referência.

2.2.5. Repetitividade

A repetitividade ou variação do dispositivo de medição é observada quando um mesmo operador mede a mesma peça mais de uma vez. Calcula-se o desvio padrão e a partir dele a variação do equipamento VE.

Para fazer uma avaliação visual da repetitividade de um instrumento de medição pode ser feito um diagrama de dispersão, onde se registram n itens do produto cuja característica de interesse é medida duas vezes em ordem aleatória por um único operador. Se forem obtidas grandes diferenças entre as medidas, ou seja, se os pontos estiverem

muito afastados da linha de 45 graus, este resultado indica que o aparelho tem baixa repetitividade (WERKEMA, 1996).

No estudo da capacidade de processos de medição, é aconselhável que a avaliação da repetitividade seja a primeira atividade a ser realizada antes de quantificar as outras fontes de variação (WERKEMA, 1996).

2.2.6. Reprodutibilidade

A reprodutibilidade refere-se a diferenças que podem existir entre as medidas de diferentes operadores, em geral produto de procedimentos específicos adotados por cada operador. Para fazer a estimação, determina-se a média para cada operador e logo se calcula a amplitude, subtraindo-se a menor média da maior.

Os estudos de R&R podem ser feitos seguindo três métodos: (i) o da amplitude; (ii) o da média e amplitude; e (iii) o da ANOVA.

O primeiro método não consegue distinguir a fonte da variabilidade. Nos dois últimos, a coleta de dados segue o mesmo procedimento e o que muda é o formulário de análise.

É muito importante investigar a causa da variabilidade, porque isso irá orientar a respeito das medidas a serem tomadas para a melhoria do sistema de medição. Se a repetitividade for ruim, deve-se apontar ao treinamento geral dos operadores ou a aquisição de instrumentos mais precisos, de mais fácil leitura. Por outra parte, se a reprodutibilidade for ruim, o problema pode estar nos procedimentos de medição, sendo necessária sua padronização ou fornecer treinamento específico a algum deles.

Tanto a repetitividade como a reprodutibilidade, estão associadas à precisão do equipamento de medição. A utilização de um instrumento de medição viciado pode exercer um impacto imediato sobre a qualidade dos produtos fabricados por uma empresa (WERKEMA, 1996).

2.2.7 Introdução aos sistemas de medição de atributos

No caso da avaliação de sistemas de inspeção de atributos, em que não é possível calcular a percentagem da faixa de especificação “utilizada” pela capacidade do sistema de medição, é colocada ênfase na avaliação da capacidade ou da eficácia do operador em

detectar repetidamente itens perfeitos ou defeituosos e da tendência com que o operador rejeita unidades perfeitas e aceita unidades defeituosas (WERKEMA, 1996).

Os itens utilizados para a avaliação de sistemas de classificação de atributos não são selecionados aleatoriamente, mas sim por pessoal especializado e devem ser previamente avaliados como perfeitos ou defeituosos. Os resultados que cada um dos operadores registra devem ser feitos em folhas de verificação separadas para que os operadores não sejam influenciados pelos resultados obtidos anteriormente (WERKEMA, 1996).

Em muitas operações industriais o controle é feito pela monitorização de atributos, atribuindo-se um julgamento do tipo bom/ruim para cada unidade inspecionada. Para avaliar a consistência e uniformidade dos critérios de medição, pode-se efetuar um estudo do sistema. O tamanho da amostra deve ser tal que pelo menos apareçam 10 unidades defeituosas.

De forma geral, se os erros de repetitividade ou de reprodutibilidade não ultrapassarem a 20%, o sistema é aceito. A análise das discrepâncias nos julgamentos irá revelar se há problemas no sistema de medição. Os problemas mais comuns em sistemas de medição de atributos são os seguintes: (i) definição de não conformidade ou não conforme deficiente, deixando margem para dúvida; (ii) os operadores não estão suficientemente treinados; e (iii) existem diferenças entre os gabaritos usados pelos operadores (RIBEIRO & CATEN, 2003).

Burke, et al, apud Da Costa e Quinino (1999) argumentam que os erros em um sistema de medição de atributos estão longe de serem considerados desprezíveis em muitas tarefas de classificação. Mesmo sob condições ideais de classificação, técnicos altamente experientes podem cometer erros cujas proporções podem superar 25%.

A seguir são apresentadas as idéias básicas para avaliação de um sistema de classificação de atributos, conforme Hradesky apud Werkema (1989).

2.2.8 Definições preliminares

A eficácia representa a capacidade de um operador detectar de forma correta itens perfeitos e defeituosos. Ela é calculada pela expressão:

$$E = \frac{\text{número de identificações corretas}}{\text{número total de oportunidades de acerto}} \quad (2.1)$$

O número total de oportunidades de acerto depende do número de itens inspecionados e do número de vezes que cada item é revisado.

A probabilidade de classificação errada ($P(CE)$) representa a chance de que um item defeituoso não seja rejeitado. Este tipo de erro é grave porque representa a aceitação de um item defeituoso. A probabilidade de classificação errada é calculada por:

$$P(CE) = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número total de oportunidades de falhas}} \quad (2.2)$$

O número de oportunidades de falhas depende do número de unidades defeituosas usadas no estudo e do número de vezes que cada unidade é inspecionada.

A probabilidade de alarme falso ($P(AF)$) representa a chance de que um item perfeito seja rejeitado. Este erro não é tão grave quanto o anterior, mas deve ser também acompanhado porque implica a realização de um retrabalho e reinspeção desnecessários. A probabilidade de alarme falso é calculada por meio da expressão:

$$P(AF) = \frac{\text{número de alarmes falsos}}{\text{número total de oportunidades de alarmes falsos}} \quad (2.3)$$

O número de oportunidades de alarmes falsos depende do número de unidades perfeitas utilizadas no estudo e do número de vezes que cada unidade é revisada.

Finalmente o vício ou tendência representa a predisposição de um operador para classificar um item como perfeito ou defeituoso e depende das probabilidades $P(CE)$ e $P(AF)$. Os valores da tendência são iguais ou maiores que 0 e são interpretados de acordo com o seguinte critério:

$T = 1$ indica ausência de tendência

$T > 1$ indica tendência para rejeitar itens

$T < 1$ indica tendência para aceitar itens

A tendência é calculada por meio da expressão:

$$T = \frac{T(AF)}{T(CE)} \quad (2.4)$$

Onde T (AF) e T (CE) são fatores apresentados na Tabela 2.1 em função de P (AF) e P (CE).

A Tabela 2.2 do autor Hradesky apud Werkema (1996) apresenta os casos especiais encontrados no cálculo da tendência, quando P (AF) e/ou P (C/E) são iguais a zero ou maiores que 0,5.

Tabela 2.1- Fatores de Tendência Utilizados na Avaliação de Sistemas de Classificação de Atributos

P(AF) ou P(CE)	T(AF) ou T(CE)	P(AF) ou P(CE)	T(AF) ou T(CE)
0,01	0,0264	0,26	0,3251
0,02	0,0488	0,27	0,3312
0,03	0,0681	0,28	0,3372
0,04	0,0863	0,29	0,3429
0,05	0,104	0,3	0,3485
0,06	0,12	0,31	0,3538
0,07	0,1334	0,32	0,3572
0,08	0,1497	0,33	0,3621
0,09	0,1626	0,34	0,3668
0,1	0,1758	0,35	0,3712
0,11	0,1872	0,36	0,3739
0,12	0,1989	0,37	0,3778
0,13	0,2107	0,38	0,3814
0,14	0,2227	0,39	0,3836
0,15	0,2323	0,4	0,3867
0,16	0,2444	0,41	0,3885
0,17	0,2541	0,42	0,391
0,18	0,2613	0,43	0,3925
0,19	0,2709	0,44	0,3945
0,2	0,2803	0,45	0,3961
0,21	0,2874	0,46	0,397
0,22	0,2966	0,47	0,3977
0,23	0,3034	0,48	0,3984
0,24	0,3101	0,49	0,3989
0,25	0,3187	0,5	0,3989

Fonte: Hradesky, (1989)

Tabela 2.2 - Casos especiais encontrados no cálculo da Tendência na Avaliação de Sistemas de Medição de Atributos.

P (AF)	P (CE)	T	Decisão ou ação
0	> 0	0	Inaceitável
> 0	0	Nenhúm valor	Use E, P(AF) e P(CE) diretamente
0	0	Nenhúm valor	Aceitável, pois implica T=1
> 0,5	= 0,5	> 1,5	Inaceitável
= 0,5	> 0,5	= 0,5	Inaceitável
> 0,5	> 0,5	Nenhúm valor	Tendência não significativa; sistema inaceitável porque P(CE) > 0,5 e P(AF) > 0,5

Fonte: Hradesky, (1989)

2.2.9 Critérios para avaliação de Sistemas de Classificação de Atributos

A avaliação de sistemas de classificação de atributos é feita com base nos quatro parâmetros: Eficácia, Probabilidade de alarme falso e de classificação errada e Tendência, conforme os critérios apresentados na Tabela 2.3. Sempre que um operador for avaliado como marginal ou inaceitável, haverá necessidade de adoção de ações corretivas. Após a implementação dessas ações, o estudo deverá ser refeito.

Tabela 2.3 - Critérios para Avaliação de Sistemas de Classificação de Atributos

Parâmetros	Categorias		
	Aceitável	Marginal	Inaceitável
Eficácia	0,9 ou mais	0,8 - 0,9	Menos que 0,8
P(AF)	0,05 ou menos	0,05 - 0,1	Mais que 0,10
P(CE)	0,02 ou menos	0,02 - 0,05	Mais que 0,05
Tendência	0,8 - 1,2	0,50 - 0,80 ou 1,2 - 1,5	Menos que 0,5 ou mais que 1,5

Fonte: Hradesky, (1989)

2.3 PROJETO DE EXPERIMENTOS

2.3.1 Introdução

Passaram mais de 7 décadas desde que Fischer realizou o estudo eficiente dos sistemas complexos, porém, por algum tempo essas técnicas não foram propagadas na indústria que continuou com os experimentos “um de cada vez”. As técnicas de Shainin de busca das causas dos problemas se desenvolveram durante duas décadas, sendo populares na década de 70. Anos de esforços de educação e disseminação de Box, Hunter & Hunter na academia e na indústria transformaram-os em um marco em Projeto de Experimentos aplicados. Box e outros estatísticos logo voltaram sua atenção aos métodos de Taguchi nos anos 80 melhorando o rigor estatístico e a eficácia dos procedimentos de experimentação. Debates sobre os métodos de Taguchi na área de qualidade assim como em círculos acadêmicos tomaram lugar nos anos 90 e só foram parcialmente superados pela tecnologia emergente do Seis Sigma a partir das Companhias líderes nos Estados Unidos (GOH, 2002).

A história não mostra apenas o aumento importante do papel do Projeto de Experimentos como também a transição nas personalidades que foram referências. Cada fase que foi passando pode ser associada a uma figura que liderou o movimento na época, Fischer desenvolveu o projeto de experimentos desde o ponto de vista da estatística e raciocínio probabilístico; Dorian Shainin usou os princípios da estatística e da probabilidade para desenvolver ferramentas que os técnicos podiam usar; Box transformou a teoria em métodos práticos para que sejam aplicados por engenheiros e estatísticos; Taguchi simplificou o assunto para “*practitioners*” e desenvolveu técnicas para o desenho robusto, o que podia ser apreciado pelos gerentes. Finalmente Harry empacotou todo o trabalho para ganhar a confiança dos CEOs surgindo assim a filosofia Seis Sigma (GOH, 2002).

A cronologia aproximada da aplicação dos Projetos de Experimentos apresenta-se na Figura 2.2.

Quando	Como	Porque (foco)	Quem (usuário)	Onde (ambiente)	Qué (aplicação)
Tradicional	Um fator de cada vez	Estudar os fatores conhecidos	Científicos	Laboratórios	Processos naturais
1975	Técnicas de Shainin	Investigar os fatores desconhecidos	Técnicos	Piso de fábrica	Produtos e processos industriais
1980	Metodologias de BH2	Melhorar o desempenho	Estatísticos	Produção	Processos existentes
1985	Métodos de Taguchi	Reduzir a variabilidade	Engenheiros	Operação	Novos produtos e processos
1990	Desenho Robusto	Minimizar custo	Gerentes	Desenvolvimento	Novos sistemas
1995	Seis Sigma	Maximizar ganho	CEOs	Em toda a Companhia	Transações
2000	"Pos-Seis Sigma	Expandir mercado	Accionistas	Negócio	Valor

Figura 2.2 – Cronologia aproximada da evolução dos Projetos de Experimentos

Fonte: Goh, 2002

A metodologia de Projeto de Experimentos é utilizada na Otimização de um sistema. Entende-se por sistema, qualquer produto, processo ou serviço. Um sistema é avaliado por indicadores de desempenho, ou seja, características de qualidade resultantes de sua operação. Por exemplo: as características de qualidade avaliadas em um sistema podem ser produtividade, custos, características dimensionais, entre outras (RIBEIRO & CATEN, 2003).

As técnicas de planejamento e análise de experimentos conforme Werkema et al (1996), também são efetivas na fase de observação do ciclo PDCA de melhorias. Elas são utilizadas para o planejamento da coleta de dados de vários estratos de interesse e para a análise destes dados. Em caso de localizar a origem do problema, poderá ser direcionado o estudo das medidas corretivas que devem ser adotadas para sua solução.

Os mesmos autores defendem sua utilização na fase de verificação do ciclo de PDCA. As técnicas de PDE poderão ser utilizadas para avaliar as ações de bloqueio, isto é, para verificar se a causa influente deixou de exercer ou minimizou um efeito significativo sobre a variável de resposta de interesse.

Em um sistema, existem parâmetros do sistema, do produto, do processo ou do serviço, que podem ser alterados durante sua execução. Por exemplo: em um produto pode-se alterar o tipo de material e suas características dimensionais; em um processo pode-se alterar a temperatura e a pressão e em um serviço pode-se alterar o número de funcionários e o *layout*. A alteração desses parâmetros pode afetar as características de qualidade resultantes do sistema.

Existem ainda os fatores de ruído, ou seja, fatores que podem influenciar o desempenho do sistema. No entanto, não se consegue controlá-los. Os fatores de ruído

são, por exemplo, a temperatura e a umidade do dia, o desgaste das ferramentas, a habilidade e o cansaço do operador.

Um esquema simples que representa os fatores atuantes em um sistema pode se observar na Figura 2.3.

2.3.2 Definições utilizadas no Projeto de Experimentos

Na seqüência são apresentadas as principais definições a serem usadas no trabalho conforme Ribeiro e Caten, (2003)

- **Características de Qualidade** são todas as características do produto que o cliente percebe como importantes.
- **Variáveis de resposta** são os aspectos do produto que podem ser medidos e que permitem quantificar as características de qualidade.
- **Parâmetros do processo** são todas as variáveis da linha de produção que podem ser alteradas e que talvez tenham um efeito sobre as variáveis de resposta.
- **Fatores controláveis** são um subconjunto dos parâmetros do processo; são aqueles parâmetros que foram elegidos para serem estudados a vários níveis no experimento.
- **Fatores constantes** são os parâmetros do processo que não entram no experimento e que são mantidos constantes durante esse processo.
- **Fatores não controláveis** (Ruído) são as variáveis que não podem ser controladas pela equipe técnica. São responsáveis pelo erro experimental (variabilidade).

Existe uma relação entre a demanda de qualidade (cliente) e as variáveis de resposta (engenharia). Os aspectos que podem ser vagos que o cliente define devem ser traduzidos em variáveis capazes de ser medidas.

Do mesmo modo existe uma relação entre os fatores controláveis e a resposta como pode ser visto na Figura 2.3

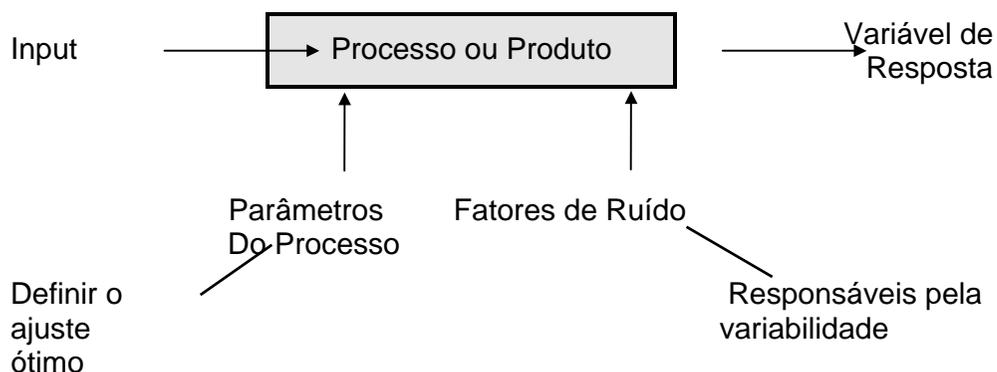


Figura 2.3 – Relação entre os fatores controláveis e a resposta

Fonte: Ribeiro e Caten, (2003)

Os fatores controláveis classificam-se em fixos e aleatórios. Os fatores fixos podem ser subdivididos em três grupos: (i) fatores de controle; (ii) fatores indicativos onde não faz muito sentido à noção de melhor valor, como exemplo, a posição de um pneu; e (iii) os fatores de sinal que são os que influenciam a média, mas não a variabilidade da resposta, também são chamados fatores de controle do alvo (PARK, 1996).

As fontes indesejáveis e incontroláveis que causam desvios dos valores-alvos nas características funcionais do produto são chamadas de ruído e se dividem em três partes conforme Park (1996): (i) externas quando se referem ao ambiente operacional, como temperatura, umidade e condições que podem perturbar as funções do produto; (ii) internas como, por exemplo, trocas que ocorrem quando o produto deteriora-se durante o armazenamento, por atrito ou desgaste das peças durante o uso; e (iii) de unidade para unidade que são as diferenças entre produtos individualmente devido às imperfeições do processo de fabricação, matéria-prima ou variação no ajuste das máquinas.

Até agora não foi feita nenhuma distinção entre situações que envolvem dados contínuos como fluxo, pressão, tempo e temperatura e dados discretos como peças consideradas conformes e não conformes. As variáveis quantitativas podem ser contínuas ou discretas, entanto que as variáveis qualitativas, chamadas também de atributos, sempre são discretas, podendo adotar normalmente dois valores. Este tipo de análise prove muita menos discriminação que para uma variável contínua, pois se uma peça é classificada como boa, não há medida de quanto boa ela é. Trabalhar com variáveis discretas exige tamanhos de amostra muito maiores. Para melhorar esse poder de discriminação, criam-se classes intermediárias. Assim que o número de classes aumenta o tratamento passa a ser semi-contínuo por natureza o que agrega maior força estatística. O exemplo mais comum é

transformar uma classificação de apto e não apto em excelente, bom, regular e ruim (PARK, 1996).

As variáveis discretas são amplamente utilizados na coleta e análise de dados, mas não apresentam boas características de qualidade do ponto de vista da Engenharia de Qualidade pelas seguintes razões de acordo com WU & WU (1997):

- Desaparece a informação sobre a variabilidade. Por exemplo, calibres do tipo “passa – não passa”.
- Ineficiência que acontece normalmente quando no estudo o tamanho da amostra é pequeno.
- Geração de muitas interações causa maior dificuldade para a análise. Estas características de qualidade tendem a gerar muitas interações. Elas, são sinônimos de inconsistência, não aditividade ou não reprodutibilidade. Ao existir interações, a melhor condição deve ser encontrada a partir de todas as combinações possíveis entre todos os níveis de todos os fatores. Chama-se a este tipo de experimentação “fatorial completo”. Para evitar as interações deve-se tentar converter os atributos em variáveis contínuas ou semi-contínuas.

2.3.3 Utilização das técnicas de Projeto de Experimentos

Usar as técnicas de Projeto de Experimentos, na maioria das situações significa realizar interferências no processo, ou seja, provocar alterações planejadas e controladas nos fatores de processo com o propósito de observar as mudanças relacionadas a esses efeitos. Em outras palavras o uso das técnicas de PDE quase sempre envolve uma modificação da rotina do processo. Muitas vezes, no entanto, é importante destacar que não é possível fazer grandes alterações porque realizadas na linha de produção podem resultar em grandes prejuízos para a empresa. Por esta razão é aconselhável realizar experimentos que envolvam grandes mudanças nos níveis dos fatores em experiências piloto (WERKEMA et al, 1996).

Desde que a maioria dos processos são, demasiado complexos, ou pouco entendidos para serem analisados com os princípios da ciência e engenharia, técnicas experimentais devem ser usadas para estabelecer estas relações funcionais. O método científico tradicional de mudar um fator de cada vez não é útil no trabalho experimental,

além de exigir um grande número de observações, será falho em revelar as interações existentes entre os fatores. O projeto de experimentos permite aos investigadores estudar a “caixa preta” que representa o sistema, empiricamente e de uma forma eficiente e efetiva (GOH, 2002).

Também não é útil a técnica da tentativa e erro, comumente utilizada nas indústrias para adequação de variáveis de processo. A linguagem ortogonal é uma ferramenta segura tanto para otimizar tecnologias e produtos como para desenvolver composições de compostos. Com ela é possível validar ou rejeitar hipóteses, embasada no conhecimento, de forma conclusiva por não existir correlações entre variáveis. A técnica da tentativa e erro é um jogo de azar em busca de pelo menos uma solução casuística para depois transformar esta em conclusão definitiva, uma vez que não é possível mensurar e nem mostrar a influência das variáveis estudadas ou detectar suas possíveis interações (DA COSTA & BARTOLI, 1996).

A maneira mais eficiente de tratar com múltiplos fatores de ruído é compô-los em um só com três níveis que estão representados pela condição extrema negativa, a condição extrema positiva e a condição padrão (WU & WU, 1997). Graças a essa simplificação o número de combinações a experimentar se reduz enormemente.

Os arranjos não ortogonais surgem na prática quando: (i) o número de experimentos realizados é menor do que as combinações matematicamente possíveis; (ii) são feitas múltiplas variações dos valores dos fatores controláveis simultaneamente na tentativa de satisfazer as especificações de engenharia; e (iii) as variáveis de processo não são fixadas durante os experimentos, devido aos contínuos ajustes das condições do processo (DA COSTA & BARTOLI, 1996).

2.3.4 Planejamento de um experimento

Para realizar um experimento de forma eficiente, deve ser utilizada uma abordagem científica para o seu planejamento. O objetivo é coletar os dados em tempo e com custo mínimos. A análise destes dados por meio de técnicas estatísticas resultará em conclusões confiáveis. Os dois aspectos importantes intimamente ligados são o próprio planejamento e a análise estatística dos dados (WERKEMA & AGUIAR, 1996)

As fases que compõem um projeto de experimentos são as seguintes, conforme Park (1996) e Ribeiro e Caten (2003).

a) Ouvir a voz do cliente (o quê): pesquisando o mercado, identificando as características de qualidade que são de interesse e por último identificando a importância relativa dessas C.Q. A clareza contribui ao melhor entendimento do fenômeno baixo estudo.

b) Ouvir a voz do engenheiro (o como): definindo variáveis de resposta associadas às C.Q., identificando outras variáveis que podem estar associadas a custos ou produtividade, identificando os parâmetros de processo e seu intervalo de variação, identificando os fatores controláveis (definidos como os parâmetros de processo que podem afetar as variáveis de resposta), definindo o número de níveis para cada F.C. e suas possíveis interações, identificando as restrições experimentais como o número máximo de ensaios, equipamentos e recursos humanos disponíveis e tempo disponível e, por último, escolhendo o modelo estatístico do experimento. É importante a coleta de dados que deverá ser tão ampla quanto for possível e a coleta de informações com todas as partes envolvidas, passos que servirão para definir um diagnóstico prévio.

c) A terceira etapa é o planejamento final. É a execução que se compõe das seguintes partes: (i) escrever a matriz experimental; (ii) definir a ordem dos ensaios (aleatorização); (iii) definir os procedimentos de ensaio (uniformização); (iv) desenhar as planilhas para as coletas de dados; e (v) executar o experimento anotando seus resultados. É fundamental, não apenas a definição das variáveis de resposta que serão medidas, mas também a confiabilidade dessas medições. Os fatores controláveis deverão ser escolhidos em um escopo tão amplo quanto possível dentro da região que interessa ao experimentador. A seleção do desenho experimental é a coluna vertebral do procedimento, deve-se decidir um desenho apropriado em função do número de fatores, níveis, combinações, custo e tempo disponível. O experimentador também deve decidir o número de repetições para garantir a confiança estatística.

d) Na execução dos experimentos deve-se cuidar que se siga o procedimento conforme o planejado e também as condições do meio ambiente.

e) A análise dos dados se faz a partir da análise de variância, escrevendo a tabela de médias, fazendo gráficos dos efeitos dos fatores principais e das interações significativas. As conclusões virão após a análise dos dados quando o

experimentador retira as inferências físicas dos resultados estatísticos avaliando suas implicações práticas.

f) A otimização, que é a última etapa, compreende o modelo individual de cada variável de resposta, a definição de uma função-objetivo, a busca do ajuste dos fatores controláveis que minimiza ou maximiza a variável de resposta e, por último, a verificação da consistência da solução.

g) O teste de confirmação é a etapa prévia à apresentação dos resultados para que possam tomar um curso prático de ação. Esse teste é importante para avaliar as conclusões do experimento.

h) Para terminar o experimentador faz as suas recomendações de *follow up* que consistem em padronização das operações, uso de listas de verificação e gráficos de controle. Também pode existir um planejamento da seqüência dos experimentos quando resultam necessárias novas rodadas pelo problema não estar completamente resolvido. A aplicação das técnicas de Projeto de Experimentos constitui-se desta forma em um processo iterativo.

Jiju (2001) propõe um enfoque similar combinando os métodos de Taguchi e o Projeto de Experimentos. Ele define 10 passos para alcançar o ótimo no desenvolvimento de produtos e processos robustos. Estes 10 passos são: (i) reconhecer o problema e organização da equipe; (ii) escolha da característica de qualidade e sistema de medição; (iii) escolha dos parâmetros de processo ou projeto que podem influenciar a característica de qualidade; (iv) classificação dos parâmetros em controle, ruído e fatores de sinal; (v) determinação do número de níveis de cada parâmetro; (vi) escolha do arranjo ortogonal adequado; (vii) condução dos experimentos e registros dos resultados; (ix) análise dos dados experimentais e interpretação dos resultados; e (x) condução de experimentos de acompanhamento para verificar resultados e implementar soluções. Os sete primeiros passos constituem a fase de planejamento que na seqüência seguem com a execução, análise e implementação da solução. A única diferença com a abordagem convencional é a classificação dos parâmetros de controle em ruído e fatores de sinal.

Experimentos planejados são geralmente feitos em seqüência. Isto é, o primeiro experimento com um sistema complexo que tenha muitas variáveis controláveis, experimento que recebe o nome de exploratório *screening*, projetado para determinar quais

variáveis são as mais importantes. Os experimentos subseqüentes são usados para refinar essa informação e determinar quais ajustes são requeridos de modo a melhorar o processo. Finalmente o objetivo de quem projeta os experimentos é a otimização, ou seja, determinar quais os níveis resultantes das variáveis críticas no melhor desempenho do processo (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

Dois conceitos são muito importantes durante o planejamento de experimentos: a repetição que permite obter uma estimativa da variabilidade devida ao erro experimental e à aleatorização, que permite que os efeitos de fatores não controlados, que afetam a variável de resposta e que podem estar presentes durante a realização do experimento, sejam balanceados entre todas as medidas. Este balanceamento evita fatores confundidos na avaliação dos resultados (WERKEMA & AGUIAR, 1996).

2.3.5 Classificação dos projetos de experimentos

Existem diversos tipos de projetos de experimentos, classificados de acordo a alocação da combinação dos fatores e o grau de aleatorização dos experimentos. As principais características de cada um deles conforme Park (1996) são:

Projetos Fatoriais se utilizam para investigar todas as combinações de tratamentos possíveis formados pelos fatores considerados. A ordem em que cada fator se escolhe é completamente aleatória. Eles denominam-se 2^k ou 3^k , sendo k o número de fatores a 2 níveis ou 3 níveis. Por ser o tipo de projeto a aplicar nesta dissertação será tratado em detalhe em 2.3.6 e 2.3.7.

Projetos Fatoriais fracionados se aplicam quando se investiga uma fração de todos os tratamentos possíveis. A ordem na qual as combinações são escolhidas deve ser aleatória. Os projetos usam tabelas de arranjos ortogonais. Plackett-Burman, Quadrados latinos e Quadrados Greco-latinos são alguns dos tipos utilizados. Este tipo de projeto é usado quando o custo do experimento é alto e o tempo necessário é elevado.

Projetos de experimentos confundidos em blocos, projetos split-plot se utilizam quando é necessário impor alguma restrição no processo de aleatorização. Quando não é possível a corrida de todas as combinações dentro de um mesmo bloco por falta de recursos recebe o nome de projetos incompletos.

Para finalizar, a Metodologia de Superfície de Resposta e projetos de mistura se usam quando o objetivo é explorar um modelo de regressão para encontrar uma relação funcional entre a variável de resposta e as variáveis de entrada envolvidas. Os projetos de mistura se utilizam quando vários componentes são misturados em proporções que totalizam um (1). Nos projetos de mistura, os fatores são as componentes ou ingredientes cujas proporções ótimas ou níveis são interessantes estabelecer.

A maioria dos projetos de experimentos de prática industrial está coberta pela classificação anterior. O fluxograma da Figura 2.4 apresenta uma orientação de quando escolher cada um.

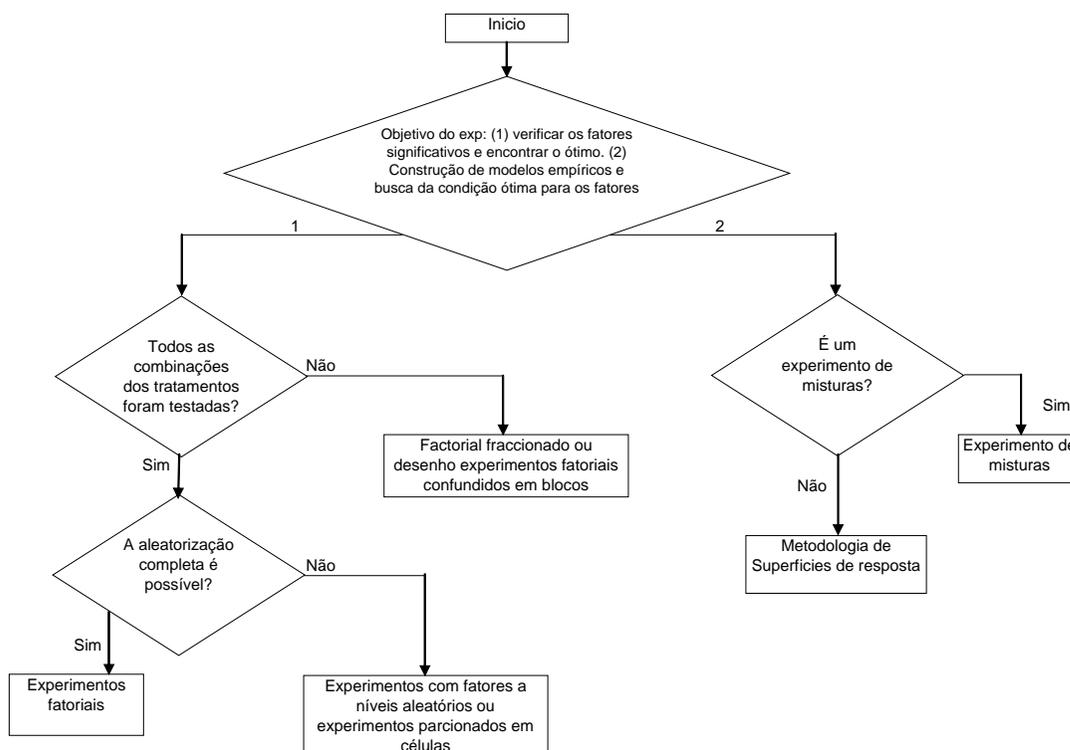


Figura 2.4 – Fluxograma para a seleção do Projeto de Experimentos mais adequado

Fonte: Park, 1996

2.3.6 Generalização dos projetos fatoriais

Muitos experimentos envolvem o estudo de dois ou mais fatores. Se todas as combinações de níveis dos fatores são investigadas, se está frente a um projeto fatorial, além de possuir a vantagem sobre o planejamento de experimentos “um por vez” ele tem a vantagem da economia de ensaios.

A vantagem principal sobre os experimentos “um por vez” é que experimentos fatoriais são capazes de identificar a existência de interação entre os fatores controláveis. Fazendo um de cada vez pode-se chegar a conclusões erradas além do fato de aumentar o número de experiências necessárias (WERKEMA & AGUIAR, 1996). Experimentos fatoriais além de eficientes são a única maneira de descobrir interações entre as variáveis (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

2.3.7 Vantagens dos projetos fatoriais

Um projeto fatorial apresenta vantagens se comparado a experimentos isolados. Experimentos isolados são aqueles, onde um fator de controle somente é modificado de cada vez e os demais permanecem fixos (MONTGOMERY, 1983).

Para exemplificar esta comparação, considere o exemplo de duas variáveis como pressão e temperatura, com os fatores A e B explorados a apenas dois níveis A_1, A_2, B_1 e B_2 . No experimento isolado as informações sobre cada fator são obtidas ao variar-se cada variável isoladamente. O efeito do fator A , seria dado por $A_2B_1 - A_1B_1$, ou seja, o fator B permanece fixo e o fator A é o modificado. Ele é chamado efeito principal porque ele se refere a fatores primários no estudo. Do mesmo modo o efeito do fator B seria dado por $A_1B_1 - A_1B_2$, ou seja, o fator A permanece fixo e o fator B é modificado em um terceiro tratamento. Nesse caso, seriam necessários 3 tratamentos distintos A_2B_1, A_1B_1 e A_1B_2 , porém considerando-se que sempre existe um erro experimental associado é desejável que se tenha 2 observações de cada tratamento, totalizando 6 tratamentos conforme apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Experimento isolado

Fator A	Fator B	
	B_1	B_2
A_1	A_1B_1	A_1B_2
	A_1B_1	A_1B_2
A_2	A_2B_1	
	A_2B_1	

Fonte: Montgomery, 1983

Em um projeto fatorial, todas as combinações de níveis são realizadas e, portanto, um tratamento adicional A_2B_2 deve ser executado, conforme mostrado na Tabela 2.5. Apesar de ser necessário um tratamento adicional, o projeto fatorial é vantajoso pois ao

total são necessários apenas 4 tratamentos para obter a mesma precisão dos dados do experimento isolado. A explicação está no fato de que neste tipo de experimento têm-se duas estimativas para o efeito do fator A , $A_2B_1 - A_1B_1$ e $A_2B_2 - A_1B_2$, e similarmente duas estimativas para o efeito do fator B . Ao fazer-se a média das duas estimativas alcança-se a mesma precisão do experimento isolado, com apenas 4 tratamentos.

Tabela 2.5 - Experimento fatorial

Fator A	Fator B	
	B_1	B_2
A_1	A_1B_1	A_1B_2
A_2	A_2B_1	A_2B_2

Fonte: Montgomery, 1983

Uma outra vantagem dos projetos fatoriais, está na possibilidade de analisar o efeito da interação entre os fatores, o que não é viável com experimentos isolados. A não consideração da interação entre os fatores, principalmente quando o efeito da interação é grande, pode levar a interpretação totalmente equivocada de projetos experimentais. Quando uma interação é grande, os efeitos principais correspondentes têm muito pouco significado prático. Assim, o conhecimento da interação AB é mais útil que o conhecimento do efeito principal. Uma interação significativa pode mascarar o significado dos efeitos principais (MONTGOMERY, 2003).

2.3.8 Interpretação prática dos resultados

Após a análise de variância, em situações onde concluiu-se pela existência de diferenças significativas entre as médias dos tratamentos (para modelos a níveis fixos), ou onde concluiu-se que os tratamentos são uma fonte adicional de variabilidade (para modelos a níveis aleatórios) surgem perguntas como: (i) qual é o melhor tratamento experimental? e (ii) qual é a contribuição de determinado tratamento experimental na variabilidade total?

Para responder essas perguntas é necessário estabelecer conclusões práticas sobre o problema em estudo. Algumas vezes, as conclusões não são óbvias e é preciso utilizar técnicas especiais para se estabelecer conclusões oriundas dos resultados da análise de variância (MONTGOMERY, 1997). A escolha da técnica mais adequada para condução

das conclusões práticas deve considerar o interesse do experimentador e os tipos dos níveis dos fatores de controle envolvidos no experimento (HICK & TURNER, 1999).

Os níveis dos fatores podem ser fixos ou aleatórios, conforme apresentado em 2.3.2. Os níveis fixos, por sua vez, são divididos em níveis quantitativos e qualitativos. Níveis quantitativos são aqueles que podem ser associados a pontos de uma escala numérica, como temperatura, pressão e tempo. Níveis qualitativos, por outro lado, são aqueles que não podem ser associados a uma ordem numérica como, por exemplo, lotes de matéria-prima, turnos de trabalho, e os operadores de uma fábrica.

Experimentos a níveis fixos quantitativos oferecem a possibilidade de avaliação da variável de resposta em todo o intervalo de variação dos fatores de controle, através de análises subseqüentes em níveis intermediários desses fatores. Considere, por exemplo, o fator tempo, avaliado em um experimento nos níveis 1, 2 e 3 horas, e para o qual obteve-se um modelo de regressão associando a variável de resposta aos fatores de controle, dentre eles o próprio tempo. A partir do modelo obtido, é possível avaliar o efeito de níveis intermediários do fator tempo, por exemplo, 2,5 horas, sobre a variável de resposta, mesmo não se dispondo de observações empíricas do comportamento da variável de saída nestes níveis do fator de controle (MONTGOMERY, 1997).

A análise de regressão é uma técnica utilizada para gerar um modelo matemático que relacione uma variável de resposta a variáveis independentes (fatores de controle de um experimento, por exemplo), sendo executada com dados coletados empiricamente. A metodologia de análise de regressão linear será apresentada de forma introdutória, na Seção 2.4.3

2.4 OTIMIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS MULTIVARIADOS

2.4.1 Introdução

No cenário atual de alta competitividade as indústrias necessitam lançar no mercado produtos com qualidade assegurada. Atualmente sob a ótica da qualidade, não é mais suficiente que um produto tenha suas características dentro dos limites das especificações. Um produto deve ser projetado para ser eficientemente manufaturado, com características finais próximas dos valores nominais do projeto e relativamente insensível a variabilidade do ambiente ao qual será exposto (CATEN et al, 1998).

Existem três passos na otimização de produtos e processos: (i) o desenho do sistema; (ii) o desenho dos parâmetros; e (iii) o desenho das tolerâncias (WU, 1997; PARK, 1996; RIBEIRO & ELSAYED, 1995 e CATEN et al, 1998).

Existem três pontos-chaves para o planejamento da melhoria da qualidade. Eles são, segundo Park (1996), os seguintes: (i) reduzir a variabilidade das características de qualidade em torno dos valores-alvos; (ii) desenhar o produto e o processo para que sejam minimamente sensíveis a fatores de ruído; e (iii) desenhar o produto ou processo para minimizar custos na condição que a tolerância da qualidade em torno do alvo esteja de acordo a especificação.

A construção de um modelo empírico e sua subsequente otimização é levada adiante por meio das seguintes etapas. (i) um experimento é conduzido escolhendo vários níveis das variáveis de entrada, (ii) executando o experimento, (iii) coletando dados do desempenho resultante da variável de resposta e; (iv) ajustando o modelo em relação às variáveis de desenho e de resposta. O modelo encontrado é normalmente de primeira, ou segunda ordem e resulta em uma estimativa do modelo verdadeiro. Um bom modelo pode requerer diversas tentativas de experimentação e ajuste (XU & ALBIN, 2003)

O desenho do sistema consiste em criar um novo sistema, por exemplo, um novo circuito elétrico ou um novo material plástico. Esta fase requer criatividade e se completa uma vez que o sistema funciona depois de ter sido provado sobre certas condições. Ele é chamado também de desenho primário, funcional ou de conceito. Ele vai ao encontro das especificações do cliente, determinação de materiais, partes, componentes, montagem e tecnologia de fabricação. A chave é usar a melhor tecnologia disponível ao mais baixo custo possível. O desenho do sistema joga um papel fundamental na redução da sensibilidade aos fatores de ruído como aos custos de manufatura (PARK, 1996).

O desenho de parâmetros tem como objetivo fazer robusto o sistema contra os diversos fatores na manufatura e no uso. Ele trabalha sobre as variáveis de controle ou fatores de controle que afetam as características funcionais do produto. Neste momento é quando se determinam os níveis das variáveis de desenho que minimizam os efeitos dos fatores de ruído na qualidade do produto. Com o objetivo de otimizar os níveis, desenha-se o experimento usando tabelas de arranjos ortogonais porque existem diversas combinações a serem testadas. Depois de melhorar a robustez se trabalha no ajuste da sensibilidade. Por

isso, também é chamado de otimização em duas etapas. Na grande maioria das vezes melhorar a robustez é mais difícil do que ajustar a sensibilidade (PARK, 1996).

Por último, existe ainda o desenho das tolerâncias que permite o compromisso entre qualidade e custo, ajudando a determinar se o nível de qualidade de um componente específico precisa ser melhorado. Este passo também é chamado de terciário e é o último recurso quando a variação obtida pelo desenho de parâmetros não for suficiente. Novamente nesta etapa se utilizam arranjos ortogonais (PARK, 1996).

Após a coleta de dados, estruturada de acordo com a técnica de Projeto de Experimentos, realiza-se a otimização do produto ou do processo, que consiste em determinar os níveis ótimos de um conjunto de fatores controláveis. Os fatores controláveis são os parâmetros do produto ou processo que podem afetar a característica de qualidade de interesse. Quando essa característica é única, há na literatura diversos métodos quantitativos para análise dos resultados experimentais, entretanto, na prática, a performance dos produtos ou processos é medida por mais de uma característica de qualidade ou variável de resposta.

As múltiplas características de qualidade não devem ser analisadas separadamente, e sim em conjunto para estabelecer um compromisso no ajuste de cada um dos fatores controláveis e as distintas variáveis de resposta. Os objetivos que os engenheiros perseguem durante o processo de otimização podem estar relacionados a alcançar a especificação do cliente, a maximizar a robustez aos ruídos, e ou a desenvolver robustez as oscilações dos fatores controláveis (CATEN, et al, 1998).

Na prática, o conjunto de ajustes das variáveis de controle que minimiza a função de perda é desconhecido e deve ser aproximado baseado nos parâmetros estimados da média e da variância. Mak & Nebebe (2003) propõem uma aproximação mais direta da medida da eficiência examinando o aumento da variância resultante de uma análise usando uma superfície de resposta da variância estimada. No arranjo combinado de experimentos, os níveis dos fatores de ruído são considerados fixos e uma análise da superfície de resposta da média da característica de qualidade em estudo é primeiramente conduzida. As variâncias deste modelo são normalmente assumidas como homogêneas. Engel & Huele apud Mak & Nebebe (2003) demonstraram com um exemplo real que as variâncias dos resíduos podem, não serem homogêneas, levantando uma componente adicional de variância que precisa ser minimizada.

Kuhnt & Erdbrügge (2004) propõem uma estratégia que usa a seqüência de possíveis pesos definidos para cada uma das múltiplas respostas. Modelos estatísticos para os momentos das respostas são construídos e usados para estimar uma função de perda esperada. Para cada ponderação uma combinação de fatores de desenho é derivada, o que minimiza esta função. Cada conjunto de fatores de desenho é ótimo no que diz respeito a algum compromisso com as variáveis de saída.

2.4.2 Análise de variância (ANOVA)

A Regressão Múltipla e Análise de Variância (ANOVA) são dois procedimentos analíticos freqüentemente usados na pesquisa explicativa. A Regressão Múltipla está associada a predição de algum fenômeno partindo de um conjunto de variáveis independentes tendo como saída uma equação contendo um conjunto de pesos refletindo a importância relativa preditiva de cada uma das variáveis independentes (MELNICK & SHOAF, 1977).

A ANOVA é um procedimento estatístico usado para testar hipóteses sobre a saída de um experimento ou pesquisa. Tanto uma como a outra fazem parte dos modelos lineais. Com uma boa definição dos termos, a Regressão Múltipla pode ser usada para resolver problemas de ANOVA. Algumas vantagens de Regressão Múltipla são: (i) entendimento mais intuitivo das correlações; (ii) manejo da informação faltante e: (iii) tratamento mais fácil das não linearidades no desenho básico (MELNICK & SHOAF, 1977).

Além de estudar os efeitos de grupos individuais, ANOVA pode ser usada para investigar diferenças entre combinações de grupos pela formação de contrastes que são combinações lineares de grupos onde a soma dos coeficientes é igual a zero. Os ensaios feitos em cada nível da variável de entrada configuram um grupo. O objetivo que se persegue usando a metodologia da ANOVA é a identificação das possíveis diferenças entre os diversos níveis do fator controlável (RIBEIRO & CATEN, 2003).

As vantagens de um experimento bem planejado, com robustez e ortogonalidade, são altamente prejudicadas se parte das observações são perdidas. Para contornar este problema estimam-se os dados das observações faltantes para minimizar os resíduos dentro do grupo da análise de variância. Isto é geralmente feito antes de calcular a ANOVA através de programas de regressão múltipla. Esta substituição não recupera

observações, mas é um artifício necessário para que os cálculos sejam realizados (MELNICK & SHOAF, 1977).

Para o caso da regressão múltipla os dados faltantes não afetam os cálculos. O número de equações e a interpretação de sua análise, estão baseadas nos dados observados.

2.4.3 Análise de regressão

A modelagem matemática através de métodos estatísticos para análise dos dados obtidos do Projeto de Experimentos consiste no desenvolvimento de modelos de regressão para a média e variância das respostas observadas no experimento. Nesta etapa, é importante elaborar gráficos dos efeitos dos fatores principais e das interações significativas com vistas a facilitar a compreensão dos resultados do experimento.

A análise de regressão pode ser utilizada para: (i) descrever um conjunto de dados ou um relacionamento entre variáveis de interesse; (ii) prever valores de variáveis de interesse; (iii) controlar os valores de variáveis de interesse; e (iv) estimar parâmetros desconhecidos de equações que representem relacionamentos de variáveis de interesse (MONTGOMERY, 1997; WERKEMA & AGUIAR, 1996).

Montgomery (1997) acrescenta, ainda, que a análise de regressão pode ser utilizada para analisar dados que provenham de experimentos planejados ou não. Na seqüência, são apresentados alguns conceitos de análise de regressão relevantes para esta dissertação, baseados em Werkema & Aguiar (1996). Maiores detalhes sobre o assunto podem ser encontrados em Montgomery (1997).

A regressão linear simples é uma técnica estatística que ajusta, a um conjunto de dados, uma equação que representa o relacionamento linear entre uma variável dependente (Y) e uma variável independente (X). O modelo de regressão linear simples é dado pela equação 2.5.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.5)$$

Onde,

β_0 e β_1 são os parâmetros da relação linear, desconhecidos, sendo o primeiro a intersecção e o segundo a inclinação da reta;

ε é o erro aleatório dado pela diferença entre o valor observado e o valor previsto pela equação da reta;

Y é o valor previsto pela reta $\beta_0 + \beta_1 X$ denominada variável dependente ou variável de resposta;

X é a variável independente, também conhecida como regressora, explicativa ou preditora.

A regressão linear múltipla envolve mais de uma variável independente X e seu modelo está dado pela equação 2.6.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.6)$$

O conceito de linear na análise de regressão múltipla é utilizado para indicar que o modelo é linear nos parâmetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, e não porque Y é função linear dos X 's. Existem, porém, vários modelos não lineares. Alguns deles apresentados na Tabela 2.6, que podem ser linearizados. Através da comparação dos gráficos de dispersão obtidos das variáveis em estudo e de gráficos de modelos como os da Tabela 2.6, pode-se definir qual forma de modelo linear representa melhor os dados do estudo (CHATTERJEE & PRICE, 1991).

Tabela 2.6 - Funções linearizáveis com transformação

Função	Transformação	Forma Linear
$y = \alpha x^\beta$	$y' = \log y, x' = \log x$	$y' = \log \alpha + \beta x'$
$y = \alpha e^{\beta x}$	$y' = \ln y$	$y' = \ln \alpha + \beta x$
$y = \alpha + \beta \log x$	$x' = \log x$	$y = \alpha + \beta x'$
$y = \frac{x}{\alpha x - \beta}$	$y' = \frac{1}{y}, x' = \frac{1}{x}$	$y' = \alpha - \beta x'$
$y = \frac{e^{\alpha + \beta x}}{1 + e^{\alpha + \beta x}}$	$y' = \ln \frac{y}{1 - y}$	$y' = \alpha + \beta x$

Fonte: Chatterjee & Price (1991)

Pode-se explicitar a proporção da variância total na VR explicada pelo modelo de regressão através do coeficiente de determinação R^2 , obtido pela equação 2.7.

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT} \quad (2.7)$$

Onde,

SQT é a soma dos quadrados totais;

SQR é a soma dos quadrados devido aos resíduos

O coeficiente de determinação assumirá valores entre $0 \leq R^2 \leq 1$; se $R^2 = 1$. Todas as observações estarão sobre o hiperplano definido pelo modelo e, se $R^2 = 0$, não há nenhuma relação entre a variável dependente e as variáveis independentes. O coeficiente de determinação R^2 representa a quantidade de variabilidade nos dados considerada pelo modelo de regressão. Contudo, um grande valor de R^2 não implica, necessariamente, que o modelo ajustado seja adequado. É sempre possível aumentar o valor de R^2 por meio da adição de novas variáveis explicativas ao modelo. No entanto, apesar do maior valor para R^2 , nem sempre o novo modelo com mais variáveis explicativas será melhor que o modelo anterior. Para contornar este problema se utiliza, para o modelo de regressão múltipla, o coeficiente de determinação ajustado R^2_{aj} , que leva em consideração o número de variáveis explicativas incluídas no modelo obtido pela equação 2.8.

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{SQR / (n - p)}{SQT (n - 1)} = 1 - \frac{n - 1}{n - p} (1 - R^2) \quad (2.8)$$

Onde,

n é o número de observações; e

p é o número de variáveis independentes mais um.

Se R^2 e R^2_{aj} forem muito diferentes, pode-se afirmar que há um excesso de variáveis no modelo.

Há várias interpretações incorretas a respeito de R^2 . Em geral, R^2 não mede a magnitude da inclinação da linha de regressão, também não mede a adequação ao modelo, uma vez que ele pode ser artificialmente aumentado através da adição de termos polinomiais de ordens superiores de x . Finalmente, muito embora R^2 seja grande, isso não implica que o modelo de regressão forneça previsões exatas de futuras observações.

Para que um modelo obtido através de regressão linear seja adequado, deve-se considerar que seus erros ou resíduos seguem uma distribuição normal, são distribuídos em forma aleatória, tem média zero e uma variância homogênea. A verificação da adequação de modelos lineares pode ser realizada através dos resíduos padronizados plotados em gráfico (MONTGOMERY, 1997).

A suposição de normalidade dos resíduos pode ser verificada em um gráfico de resíduos em um papel de probabilidade normal. A suposição de aleatoriedade dos resíduos pode ser verificada com um gráfico dos resíduos *versus* a variável independente (X). A suposição de homogeneidade da variância pode ser verificada com um gráfico dos resíduos *versus* os valores ajustados pelo modelo.

A regressão é largamente utilizada e freqüentemente mal empregada. Deve-se tomar cuidado na seleção de variáveis que serão usadas para construir equações de regressão e para determinar a forma do modelo. É possível desenvolver relações estatísticas entre as variáveis que não estejam completamente relacionadas em um sentido prático. Uma forte associação observada entre as variáveis não implica necessariamente que existe uma relação causal entre aquelas variáveis. Planejamento de experimentos é a única maneira de determinar relações causais (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

Relações de regressão são válidas somente para valores do regressor dentro da faixa dos dados originais. A medida que as variáveis independentes se movem além da faixa de valores para a qual os dados foram coletados, torna-se menos certa a validade do modelo adotado. Modelos de regressão não são necessariamente válidos para finalidades de extrapolação (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

2.4.4 Otimização robusta derivada de funções-objetivo experimentais

Normalmente os modelos são otimizados usando uma aproximação padrão onde os níveis das variáveis de entrada são identificados dentro de uma região que otimiza o desempenho do modelo de resposta. Para Xu & Albin (2003) os coeficientes estimados do modelo ajustado estão sujeitos a erros experimentais criando, como problema, que a solução ótima do modelo estimado esteja longe do modelo verdadeiro. Quanto maior é o ruído do experimento melhor resulta a solução da aproximação robusta. Entretanto, se há pouco ruído no sistema, as duas soluções são comparáveis.

Na Figura 2.5 se ilustra o perigo potencial da aproximação padrão quando o modelo verdadeiro é um modelo de segundo ordem. A curva pontilhada na direita representa o verdadeiro, mas desconhecido, e a curva cheia, o modelo ajustado. Se o objetivo é minimizar a variável de resposta, o valor ótimo é D_0 e a resposta ótima é zero. Na aproximação padrão se escolhe o valor D_1 que resulta na variável de resposta P_1 , bem

acima do valor ótimo verdadeiro. Desta forma se observa que uma leve variação do modelo ajustado sobre o verdadeiro pode resultar em uma performance inaceitável.

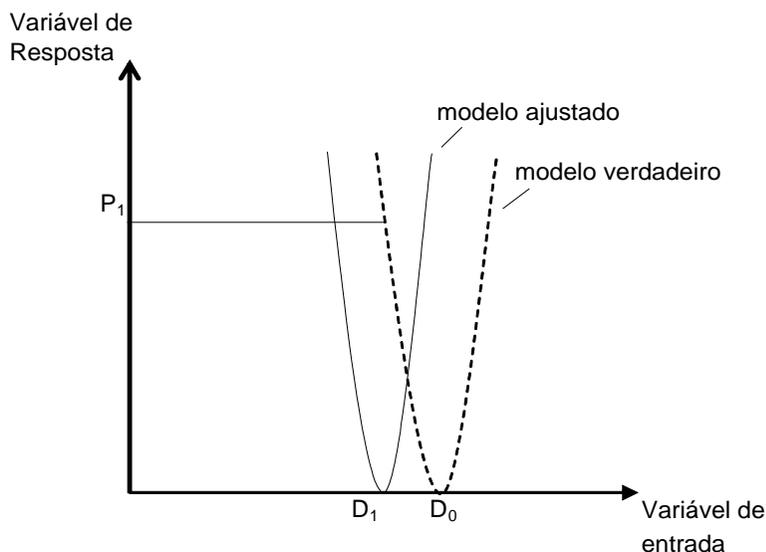


Figura 2.5 – Comparação de respostas frente a um valor dado para o modelo estimado e verdadeiro
Fonte: Xu & Albin, 2002

Existem muitos exemplos reais que descrevem o visto na Figura 2.5, onde há um erro associado com a estimação dos coeficientes. No desenho de produtos e processos a resposta pode ter variação devida a ruído nos dados experimentais. O objetivo da otimização robusta é identificar uma solução que não seja sensível ao erro estimado associado com o modelo de resposta ajustado.

O conceito que suporta a metodologia de aproximação robusta onde a função-objetivo é um modelo de resposta empírico é que há um intervalo de confiança associado com cada coeficiente na variável de resposta. Ao invés de considerar só o modelo de resposta estimado como uma função-objetivo, se considera a família de modelos de resposta onde cada um deles tem seus coeficientes escolhidos dentro dos intervalos de confiança apropriados. A meta é encontrar níveis para as variáveis de entrada que otimizem toda a família de funções-objetivo.

Para conseguir isto, constrói-se um modelo de desvio *minimax* que encontre a solução robusta que funcione bem para toda a família de funções-objetivo. Maiores detalhes sobre o assunto podem ser encontrados em XU & ALBIN (2003).

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

3	UM CASO EM UMA INDUSTRIA CURTIDORA	46
3.1	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS	48
3.1.1	Processo produtivo.....	48
3.1.2	Processo de classificação	49
3.2	DIAGNÓSTICO DOS RESULTADOS DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO	50
3.2.1	Resultados de erros de classificação nos estágios de semi-acabado e acabado.....	50
3.2.2	Resultado de erros de classificação no processo de <i>wet blue</i>	53
3.3	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E CAUSAS PROVÁVEIS	60
3.4	ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	61
3.4.1	Descrição do estudo do Sistema de Medição.....	62
3.4.2	Primeiro estudo do Sistema de Medição.....	63
3.4.3	Segundo estudo do Sistema de Medição.....	67
3.4.4	Treinamento sobre critérios	71
3.4.5	Terceiro estudo do Sistema de Medição	74
3.4.6	Quarto e quinto estudo do Sistema de Medição.....	75
3.5	RESUMO FINAL E CONCLUSÕES	77
3.5.1	Conclusões sobre o treinamento, ajuste de critérios e resultados alcançados.....	78
3.5.2	Metas e acompanhamento.....	81
3.5.3	Resultados alcançados na produção.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxograma do processo de análise do sistema de medição.....	47
Figura 3.2 – Erros de classificação nos estágios de semi-acabado e acabado.	51
Figura 3.3 – Erros de classificação wet blue na seleção A	54
Figura 3.4 – Erros de classificação wet blue na seleção B	54
Figura 3.5 – Erros de classificação wet blue na seleção C	55
Figura 3.6 – Planilha de coleta de dados de classificação em wet blue.....	58
Figura 3.7 – Índice de classificação errada em wet blue em função da seleção	59
Figura 3.8 – Índice de classificação errada em wet blue em função do classificador	59
Figura 3.9 – Índice de classificação errada em wet blue em função do estágio do processo ...	59
Figura 3.10 – Representação gráfica da participação de cada seleção sobre o total da matéria- prima a classificar e seus limites.....	64
Figura 3.11 a,b e c – Soma dos erros de seleção por classificador.....	67
Figura 3.12 a,b e c – Soma dos erros de seleção por classificador.....	71
Figura 3.13 – Total de erros e suas causas por classificador antes (1) e depois (2) do treinamento	79
Figura 3.14 – Evolução do resultado do R&R total e sem as peles limites	79
Figura 3.15 – Evolução do resultado da Eficácia, Probabilidade de CE e Probabilidade de AF	80
Figura 3.16 – Evolução do desvio padrão para cada experimento de Análise de Sistema de Medição	81
Figura 3.17 a-f – Erros de seleção em wet blue para cada uma das seleções comparando os dois períodos antes e depois dos estudos do Sistema de Medição.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Análise da perda econômica por erros de classificação em semi-acabado e acabado	52
Tabela 3.2 – Economia anual gerada pela redução do erro de classificação em semi-acabado e acabado	53
Tabela 3.3 – Análise da perda econômica por refugos causados por classificação errada em <i>wet blue</i>	55
Tabela 3.4 – Economia projetada pela redução do refugo por classificação errada em <i>wet blue</i>	56
Tabela 3.5 – Análise de repetibilidade e reprodutibilidade	65
Tabela 3.6 – Resumo de análise de R&R por seleção	65
Tabela 3.7 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência	66
Tabela 3.8 – Análise de repetibilidade e reprodutibilidade	68
Tabela 3.9 – Resumo de análise de R&R por seleção	69
Tabela 3.10 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência	70
Tabela 3.11 – Registro das peles utilizadas no treinamento e causas dos desvios	73
Tabela 3.12 – Análise de R&R total e por seleção	74
Tabela 3.13 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência	75
Tabela 3.14 – Análise de R&R total e por seleção conforme o sistema de classificação.....	76
Tabela 3.15 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência conforme o sistema de classificação	76
Tabela 3.16 – Metas para Repetibilidade, Reprodutibilidade e R&R.....	81
Tabela 3.17 – Metas para Eficácia, Desvio Standard, Probabilidades de classificação errada e alarme falso	82

CAPITULO 3

3 UM CASO EM UMA INDUSTRIA CURTIDORA

O objetivo deste capítulo é ilustrar a aplicação de um estudo de sistema de medição em um processo de classificação de couros no seu estágio *wet blue*. Este estudo será realizado em uma empresa curtidora que recebe a matéria prima no estágio *wet blue*, transformando ela em produto acabado destinado ao mercado consumidor de calçados e artefatos de couro. O estudo de sistema de medição serve como diagnóstico das variações de critério no processo de classificação e também como guia para realizar um treinamento capaz de buscar a convergência dos critérios.

Neste capítulo apresentam-se o método de trabalho, os resultados alcançados e as ações que se levaram adiante para melhorar o processo de classificação na busca da diminuição dos refugos por classificação errada.

Inicialmente descrevem-se o processo produtivo e o processo de classificação para entender como funciona o sistema, após esta breve explicação apresentam-se os resultados decorrentes do prejuízo alcançado com os refugos por classificação errada para posteriormente fazer um comparativo da melhora em termos econômicos buscada após a implantação dos controles e treinamentos sobre a padronização de critérios.

Na Figura 3.1 descreve-se o fluxograma do processo da Análise do Sistema de Medição a partir da fase de diagnóstico com os objetivos resumidos de cada uma das etapas do estudo.

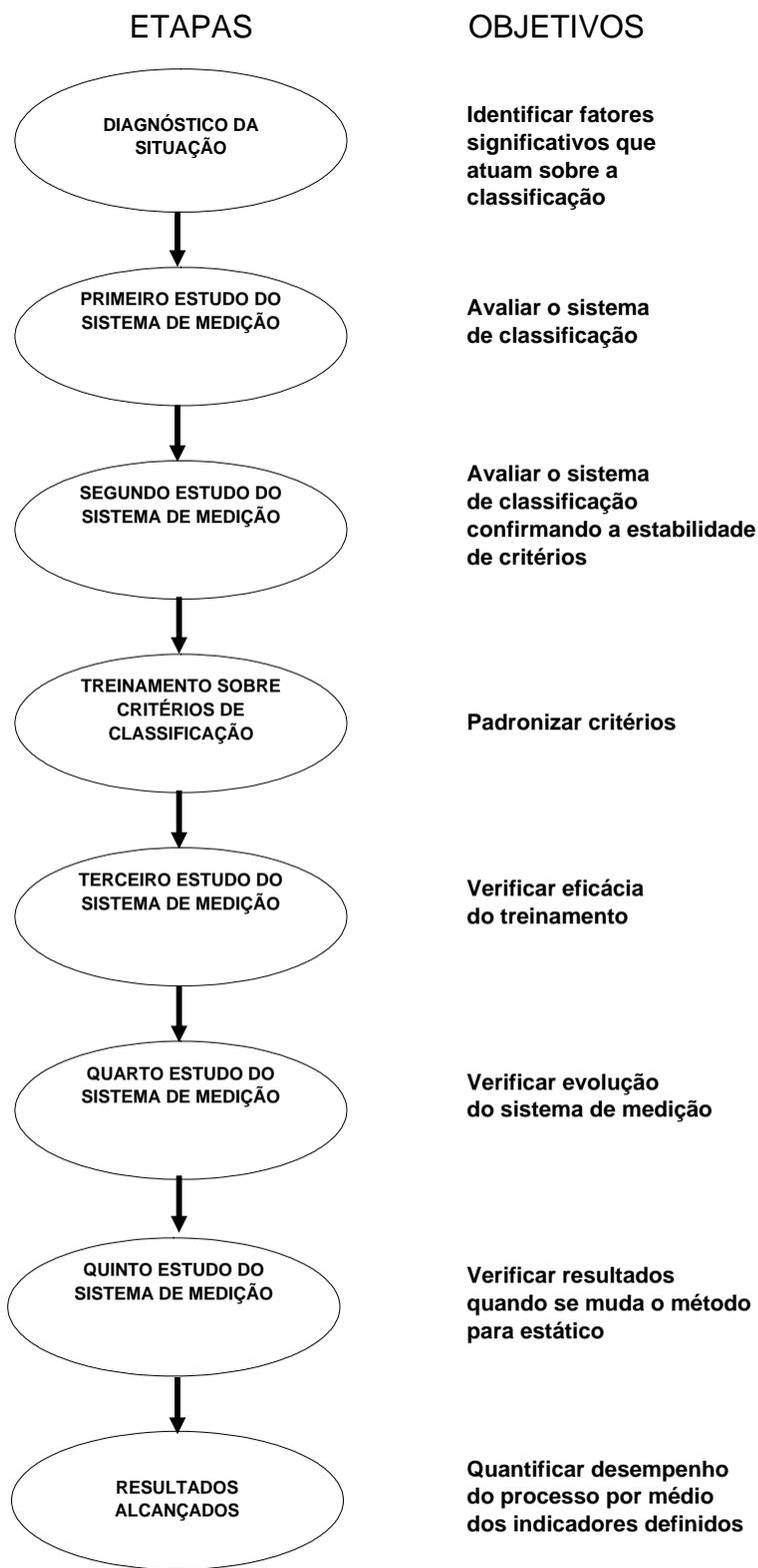


Figura 3.1 – Fluxograma do processo de análise do sistema de medição

3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

3.1.1. Processo produtivo

O processo produtivo necessário para chegar ao produto final que é o couro acabado compreende três etapas essenciais (Hoinacki, 1989). Elas são: (i) Operação de Ribeira; (ii) Operação de Curtimento e (iii) Operação de Acabamento.

A primeira operação serve para remover a maioria das estruturas e substâncias não formadoras do couro. A pele está constituída por três camadas: (i) epiderme, (ii) derme e (iii) hipoderme. A primeira e a última são removidas durante o processo chamado de ribeira, permitindo a preparação da derme para o curtimento.

Na segunda etapa as peles são modificadas quimicamente usando soluções de substâncias curtentes para torná-las imputrescíveis. Existem inúmeras substâncias, podendo ser elas divididas em três principais: (i) curtentes vegetais, (ii) curtentes minerais e (iii) outros tipos. Nesta etapa o couro já pode ser comercializado.

Na última das etapas que é o acabamento propriamente dito, executam-se tratamentos complementares às operações anteriores que darão a aparência e o aspecto final ao couro acabado. Aqui se incluem as operações de tingimento, engraxe, secagem, amaciamento e acabamento final. Características como cor, brilho, maciez, toque superficial, textura, espessura, valores de resistência e outras, são trabalhadas durante os processos de acabamento.

A etapa de acabamento subdivide-se em duas: a de semi-acabado, onde se tem um produto com cor, espessura, maciez e algumas características técnicas definidas e o acabamento, onde brilho, textura, cor final e resistências físicas são conseguidos. Em ambos os casos o produto pode ser comercializado.

Como característica geral do fluxo técnico produtivo pode-se destacar a presença de etapas tecnologicamente separáveis e produtos intermediários estáveis, ou seja, passíveis de armazenamento e transporte. Portanto, é possível a um país ou região deter apenas algumas etapas do processo produtivo, adquirindo os insumos e/ou ofertando produtos junto ao mercado internacional.

3.1.2 Processo de classificação

No Capítulo 2 foram vistos os tipos de defeitos mais comuns nos couros. Cada um deles pode ser eliminado, coberto ou dissimulado conforme diversas técnicas de processo. O objetivo final é que o cliente possa obter de cada um dos couros o máximo aproveitamento em termos de corte.

Algumas dessas técnicas são: (i) os duplos tingimentos para dissimular os defeitos melhor e evitar contrastes que possam salientar os carrapatos; (ii) o lixamento da flor do couro que elimina defeitos como, por exemplo, os riscos; (iii) estuco das peles que proporciona um enchimento dos defeitos abertos o que com um posterior lixamento permite dissimulá-los; e finalmente (iv) o processo de acabamento, propriamente dito, onde se têm as próprias coberturas de pintura associadas com processos de gravação ou graneado que terminam de cobrir os defeitos ou dissimulá-los. Todas essas técnicas aplicam-se na última parte do processo conhecida como acabamento dos couros.

Para conseguir os melhores resultados na utilização de matéria-prima e produto final é necessário um processo de classificação das peles muito bem afinado. Este processo de classificação é mais crítico quanto mais nobres são os produtos fabricados. Nas melhores seleções a margem de erro se reduz aumentando muito a subjetividade, justamente pelos defeitos aparecerem mais no produto final acabado (mais transparente). O processo de classificação é a parte mais subjetiva da indústria e a que causa as maiores perdas na cadeia produtiva. Os curtumes, pelo refugo gerado por classificação errada e as fábricas de calçados ou artefatos, pelo menor aproveitamento no corte que tem impacto direto no aumento do custo do produto fabricado.

Foram mencionadas no Capítulo 1 as cinco etapas onde se realizam os processos de classificação do couro. No estudo do Sistema de Medição que se apresenta na seqüência se trabalhará na classificação em *wet blue* direcionada aos artigos acabados. Este é o primeiro processo após a recepção da matéria-prima da unidade produtora onde o couro recebe uma primeira classificação que define cada uma das seleções.

Este processo é executado em uma esteira, dinâmico, ou no próprio *pallet*, estático, e resume-se ao classificador, operador que realiza a classificação, decidindo para cada um dos couros se eles estão aptos ou não para serem processados conforme a seleção de origem.

Como elemento complicador, na empresa em estudo existem seis unidades produtoras de couro *wet blue* em diferentes regiões do país com um total de 20 classificadores. As distâncias entre as fábricas, localizadas em Mato Grosso, Goiás, Pará, Rondônia e São Paulo, a variedade de defeitos associados a cada região e por último o número de classificadores, representam uma grande dificuldade para a padronização e controle dos critérios utilizados na classificação do couro.

3.2 DIAGNÓSTICO DOS RESULTADOS DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO

Por ser o processo de classificação um elemento fundamental nos custos e na qualidade do produto final apresenta-se um diagnóstico da situação atual. As informações levantadas servirão também para avaliar o resultado econômico das melhoras introduzidas tanto na padronização do critério como na escolha do método mais robusto de classificação, aquele que será menos sensível às variações.

Os indicadores qualitativos que se apresentam no estudo são o índice de refugos por classificação errada, nos estágios de semi-acabado e acabado, e o índice de refugos por classificação errada no estágio de *wet blue*. comparando a classificação na unidade de destino contra a classificação da unidade de origem. A importância de trabalhar com os dois indicadores integrados reside no fato de evitar trabalhar na redução da classificação errada no final apenas aumentando a exigência acima do necessário na primeira etapa de classificação.

3.2.1 Resultados de erros de classificação nos estágios de semi-acabado e acabado.

Na Figura 3.2 observam-se os erros de classificação mês a mês desde janeiro de 2003 até abril de 2004 junto com suas tendências.

Como pode ser observado na Figura 3.2, o erro de classificação para o produto acabado é mais alto que para o produto semi-acabado e apresenta uma maior oscilação. Dita oscilação está associada principalmente ao *mix* de produtos fabricados e por isso foi escolhido um período de tempo suficientemente grande para poder definir um erro médio. A influência do *mix* está dada pela variedade de produtos e sua sensibilidade frente ao refugo por classificação errada. Existem artigos mais robustos pelo seu tipo de processo e outros muito mais sensíveis, até pelas exigências dos clientes. Se o período de análise fosse muito curto existe a possibilidade de que variações nos resultados estejam exclusivamente dependendo dos produtos fabricados.

Observa-se também que para este tipo de erro há uma tendência de melhora ao longo do tempo. A evolução a partir de maio de 2004 se apresenta mais adiante com o objetivo de exibir os resultados alcançados durante o processo de padronização de critérios. O refugo por classificação errada no estágio de semi-acabado apresenta uma menor oscilação em torno da sua média.

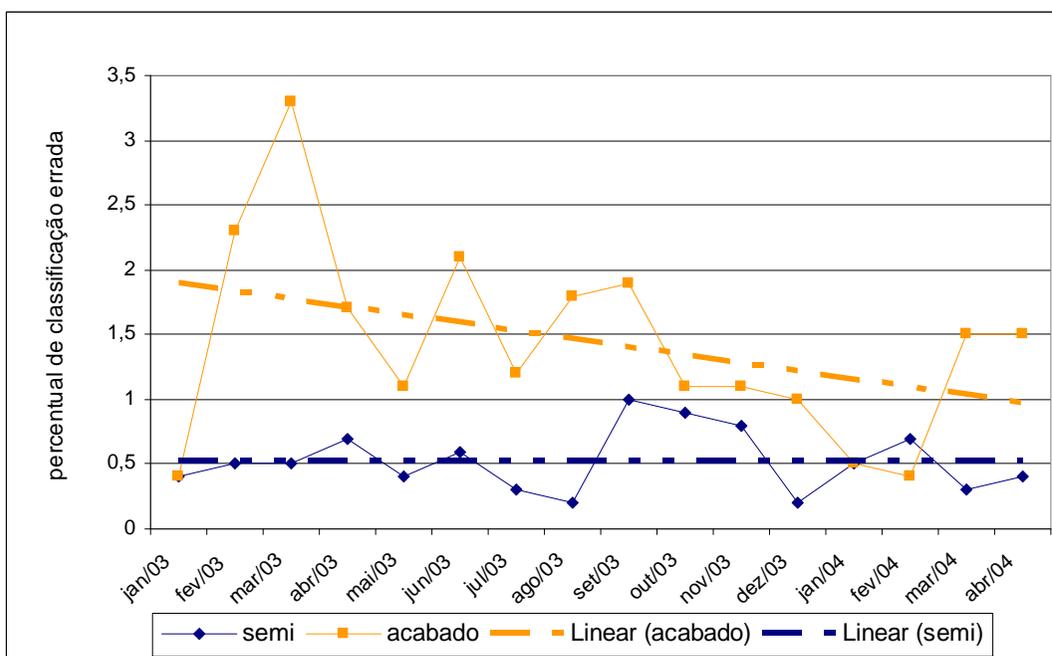


Figura 3.2 – Erros de classificação nos estágios de semi-acabado e acabado.

O valor médio do índice de refugos por classificação errada em ambos estágios durante o período analisado é de 2% sobre o total da produção. Este número será utilizado mais adiante para determinar o ganho potencial sobre a meta estabelecida e real sobre os valores alcançados na finalização do trabalho.

Na Tabela 3.1 demonstra-se a base para o cálculo da perda gerada pelo erro de classificação. Trata-se de um cálculo a valores médios para simplificar o cálculo produto a produto. Os preços de venda usados foram conservadores. A diferença entre o valor de semi-acabado e o valor de acabado explica-se porque os preços praticados para a venda de um refugo são equivalentes e por isso a perda de um acabado é maior por absorver mão de obra e custo de químicos do seu processo de acabamento.

Tabela 3.1 – Análise da perda econômica por erros de classificação em semi-acabado e acabado

DADOS HISTÓRICOS DE PRODUÇÃO	m ²	%	REAIS TOTAIS	REAIS/m ²	REAIS/MÊS
Volume de produção período jan 03-abr 04					
Semi-acabado	1.720.000				
Acabado	1.250.000				
Índices atuais de refugo por classificação errada					
Semi-acabado	9.200	0,5			
Acabado	18.300	1,5			
Preço médio de venda refugo				20,0	
Custo de produção produto semi-acabado				50,8	
Custo de produção produto acabado				53,8	
Perda causada por refugos em semi-acabado				30,8	
Perda causada por refugos em acabado				33,8	
Prejuízo correspondente a jan 03-abr 04					
Semi-acabado			283360		17710
Acabado			618540		38659
TOTAL			901900		56369

Definem-se como metas para o índice de refugos por classificação errada, os percentuais de 0,2% no estágio semi-acabado e 0,3% no estágio acabado. Na Tabela 3.2 apresenta-se o impacto econômico da redução no índice de refugos, caso se alcancem as metas propostas para um volume de produção projetado para o ano de 2005. Essas metas representam uma redução de 75% do índice de refugo por classificação errada para a soma de ambos índices. A diferença entre as produções de semi-acabado e acabado são devido a que uma parte da produção é comercializada no estágio semi-acabado.

Atualmente se pratica uma negociação com alguns clientes que permite melhorar o resultado da venda de um refugo. Isto foi considerado no cálculo para que os números obtidos como melhorias sejam conservadores e mais parecidos com a realidade. Na prática os valores de 30,80 e 33,80 reais por m², mencionados na Tabela 3.1 como perda de classificação de semi-acabado e acabado, se transformaram em 24,6 e 31,0 reais por m² respectivamente conforme se apresenta na Tabela 3.2. Os critérios que permitem chegar a estes valores foram: (i) para o caso de semi-acabado 30% do refugo total pode ser negociado com uma perda de 10 reais/M² e; (ii) para o caso do produto acabado considerou-se 20% do volume total com uma perda de 20 reais/m². Estes dados correspondem a média dos preços praticados.

Tabela 3.2 – Economia anual gerada pela redução do erro de classificação em semi-acabado e acabado

DADOS PROJETADOS DE PRODUÇÃO	m ²	%	REAIS TOTAIS	REAIS/m ²	REAIS/MÊS
Volume de produção projetado jan 05-dez 05					
Semi-acabado	1.920.000				
Acabado	1.320.000				
Meta para o índice de refugos por class. errada					
Semi-acabado	3.840	0,2			
Acabado	3.960	0,3			
Preço médio de venda refugo semi-acabado				26,2	
Preço médio de venda refugo acabado				22,8	
Custo de produção produto semi-acabado				53,8	
Custo de produção produto acabado				30,8	
Perda causada por refugos em semi-acabado				24,6	
Perda causada por refugos em acabado				31,0	
Prejuízo correspondente a jan 05 - fev 05					
Semi-acabado			94464		7872
Acabado			122760		10230
TOTAL			217720		18102
Economia gerada pelo atingimento da meta					
Semi-acabado			141696		11808
Acabado			491040		40920
TOTAL			632736		52728

3.2.2 Resultado de erros de classificação no processo de *wet blue*

Como foi comentado na Seção 3.2 o estudo não está limitado só ao resultado final sobre o produto acabado. Também se mede o índice de refugos por classificação errada na origem que é o estágio de *wet blue*.

Esta classificação errada apresenta duas interpretações: (i) desperdício associado a classificação errada na origem que leva a ter que refugar um certo percentual dos couros antes de colocá-los em produção e; (ii) erros de critério para quem está classificando, que muitas vezes é exigente demais considerando não apta mercadoria que poderia estar sendo melhor aproveitada.

Logicamente, existe uma relação direta entre as melhores seleções, couros com menos índice de defeitos, e o valor que se obtém no mercado por produtos fabricados a partir deles. Portanto, é muito importante a redução da classificação errada nesta etapa do processo.

3.2.2.1 Erros no processo de classificação de *wet blue*

Do mesmo modo que foram apresentados os dados históricos e projetados conforme as metas de redução dos refugos por classificação errada em semi-acabado e acabado se registraram os índices de refugos por classificação errada no estágio de *wet blue* no período janeiro 2003 até abril de 2004. Nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 apresentam-se os dados estratificados por seleção. Considerou-se só as seleções A, B e C por serem as mais críticas, com maior índice de refugos.

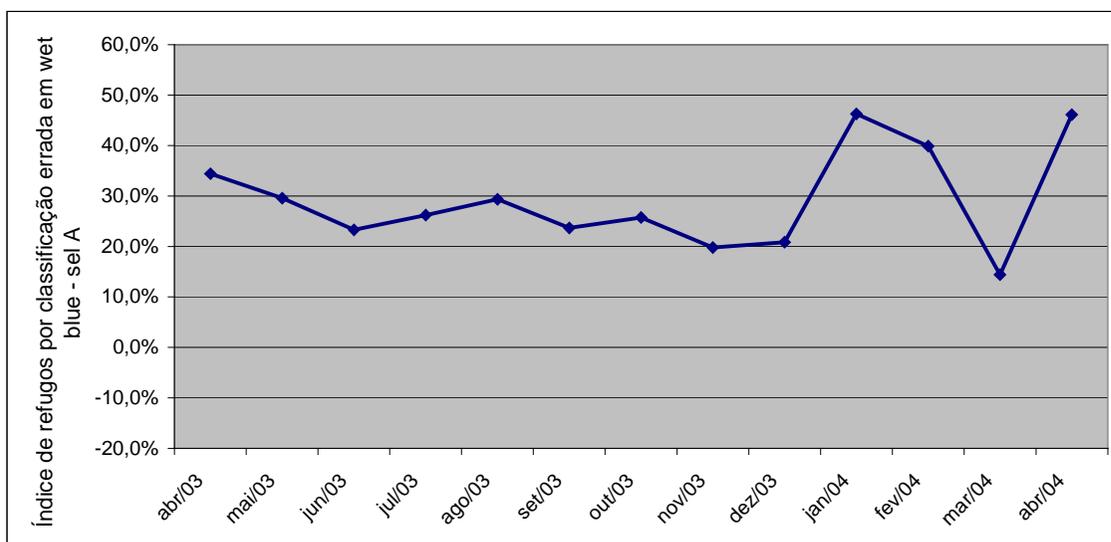


Figura 3.3 – Erros de classificação wet blue na seleção A

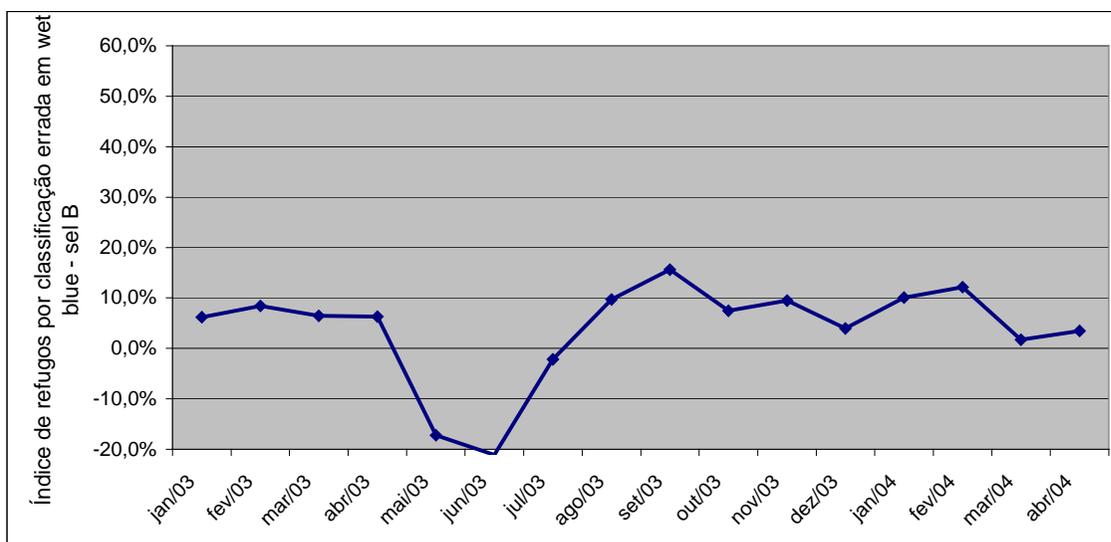


Figura 3.4 – Erros de classificação wet blue na seleção B

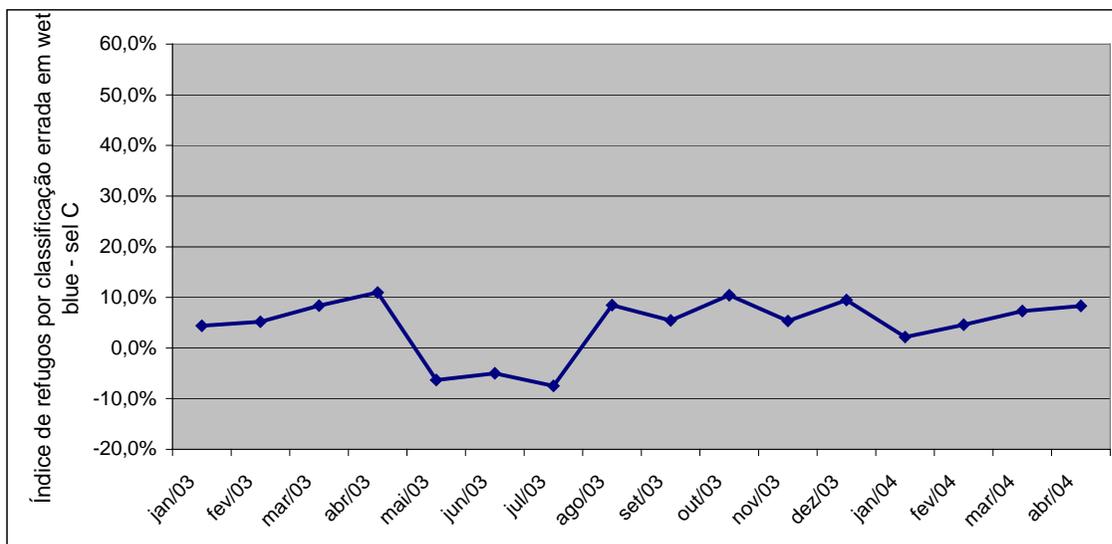


Figura 3.5 – Erros de classificação wet blue na seleção C

Observa-se nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 a evolução dos índices de refugos por classificação errada no período analisado. Para poder quantificar o prejuízo consideraram-se os valores médios de cada uma das seleções conforme se apresenta na Tabela 3.3 com a base para o cálculo da perda gerada por um refugo por classificação errada em *wet blue*.

Tabela 3.3 – Análise da perda econômica por refugos causados por classificação errada em *wet blue*

DADOS HISTÓRICOS DE PRODUÇÃO	m ²	%	REAIS	REAIS/m ²	REAIS/MÊS
Volume de produção período jan 03-abr 04					
Wet blue seleção A	100000				
Wet blue seleção B	600000				
Wet blue seleção C	560000				
Índices atuais de refugo por classificação errada					
Seleção A	26000	26			
Seleção B	21000	3,5			
Seleção C	31000	5,5			
Total	78000				
Diferença de custo entre seleções					3,0
Prejuízo total correspondente a jan 03-abr 04			234000		14625

Do mesmo modo que se apresentou o ganho a partir da redução de erros de classificação na Tabela 3.2 correspondente ao couro no seu estágio, semi-acabado e acabado, se fez o mesmo com o índice de refugos por classificação errada no seu estágio inicial. Na Tabela 3.4 projetam-se os ganhos potenciais considerando a redução do índice de refugos e o aumento de volume de produção projetado.

Tabela 3.4 – Economia projetada pela redução do refugo por classificação errada em *wet blue*

DADOS PROJETADOS DE PRODUÇÃO	m ²	%	REAIS	REAIS/m ²	REAIS/MÊS
Volume de produção projetado jan 05-dez 05					
Wet blue seleção A	120.000				
Wet blue seleção B	600.000				
Wet blue seleção C	780.000				
Meta para o índice de refugos por class. errada					
Seleção A	8.400	7			
Seleção B	0	0			
Seleção C	0	0			
Total	8400				
Diferença de custo entre seleções				3,0	
Prejuízo correspondente a jan 05-dez 05			25200		2100
Economia gerada pelo atingimento da meta			260.100		21.675

Considerando as Tabelas 3.2 e 3.4, caso se alcancem as metas estabelecidas e o volume de produção definido, o ganho anual projetado será próximo aos 900.000 reais oriundos da soma das economias de 632.736 reais, couro semi-acabado e acabado, e 241.200 reais correspondentes ao couro *wet blue*.

As metas de índice de refugo por classificação errada para as seleções B e C, Tabela 3.4, são iguais a zero devido a uma compensação no momento de classificar, ou seja, os desvios de critério de B para C devem ser equilibrados pelos desvios de B para A e o mesmo para a seleção D e seus desvios de D para C e D para E.

3.2.2.2 Análise dos erros no processo de classificação de *wet blue*

Utilizou-se um modelo de regressão para analisar o efeito de cada uma das variáveis que interferem no processo de classificação de *wet blue*. Os fatores em estudo são: (i) a procedência da matéria-prima; (ii) o classificador da unidade que produz o couro acabado; (iii) o estágio da matéria-prima, dividido ou rebaixado, e finalmente; (iv) a seleção.

A procedência da matéria-prima é importante porque existem alguns tipos de defeitos que são característicos das regiões de criação de gado no país. Desta forma pode-se avaliar se o critério dos classificadores está associado ao tipo de defeito ou não.

O classificador é um dos parâmetros do processo de classificação mais importantes. Como se trata de comparar dois processos de classificação o estudo do classificador como fator permite avaliar se os desvios de critério de classificação estão concentrados na unidade de origem, na unidade de destino ou não existe um efeito significativo. Se o classificador da

unidade de destino aparece como efeito significativo representa a existência de diferenças de critérios entre eles, se a Procedência aparece como efeito significativo nas distintas seleções ou em algumas específicas significa que pode haver desvios de critérios entre os classificadores da unidade de origem e finalmente se não houver efeitos significativos nem para a Procedência nem para o classificador se está frente a um caso onde não há estabilidade de critérios nas unidades de origem, na unidade de destino ou em ambas.

O estágio do couro, umidade, afeta fundamentalmente a visualização dos defeitos e, portanto, pode existir alguma relação entre o resultado e como se apresenta o couro no momento de ser classificado. Este fator será testado no Projeto de Experimentos com o objetivo de otimizar o processo de classificação. Ver Capítulo 4. Um couro rebaixado apresenta menor umidade que um couro não rebaixado.

Finalmente a seleção é o último dos fatores que pode apresentar um efeito significativo quando os refugos por classificação errada são analisados. Os critérios para cada uma das seleções têm uma relação entre si, mas também é possível que haja diferenças mais marcantes entre alguns deles.

O modelo de regressão permite identificar quais são os efeitos principais e interações que estão presentes e assim direcionar as ações para resolver as causas identificadas, também permite focar os treinamentos em função dos resultados de cada uma das procedências ou na própria unidade produtora de couro acabado. Para este trabalho foi elaborado um banco de dados com 2.200 registros correspondentes a seis meses de observações, de julho a dezembro de 2003.

Cada lote revisado, com exceção da primeira e última seleção, pode apresentar três resultados possíveis após a revisão: (i) melhor que a seleção original, (ii) igual a seleção original e (iii) pior que a seleção original. Em certos casos esta classificação de couro pior pode significar descer dois degraus na seleção original. O objetivo perseguido é otimizar o percentual de couro igual a seleção original.

A planilha de coleta de dados se observa na Figura 3.6 mostrando que os valores analisados são os percentuais de cada um dos lotes classificados.

Diariamente cada um dos três classificadores registra os resultados da classificação que posteriormente são transferidos para a planilha mostrada na Figura 3.6, nela é possível

visualizar o resumo semanal, informação que é passada para os responsáveis das unidades de origem.

Os resultados do modelo de regressão mostraram o classificador, a seleção e o processo, rebaixado ou não rebaixado, como efeitos significativos para a variável de resposta índice de couro igual a classificação original.

Como foi possível verificar no modelo, não existem efeitos de interações significativos. Os gráficos dos efeitos significativos estão nas Figuras 3.7, 3.8 e 3.9.

Seleção original que está sendo classificada (5 possíveis)
 Procedência da matéria prima (5 possíveis)
 Estágio da matéria-prima que está sendo classificada (dois possíveis)
 Classificador da planta de acabamento (3 possíveis)

BERTIN LTDA. *Unidade EV (RS)* **CLASSIFICADOR: VALDECIR**
RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DE COUROS WET BLUE
 Período : 19 à 23.04.2004 **Rebx.** **R E S U L T A D O (%)**

Seleção	Classificador ou unidade do RG	Procedência	Lins	Meios	A	B	C	D	E	R
B	LINS	CACOAL	X	393	0,0%	84,7%	15,3%	0,0%	0,0%	0,0%
	LINS		X	288	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	LINS	SLMB		298	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	WALTER/EDSON	LINS		200	17,0%	72,0%	11,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	FLÁVIO/ALEX	LINS		200	13,0%	78,5%	8,5%	0,0%	0,0%	0,0%
	LINS	REDENÇÃO		231	0,0%	84,0%	16,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	LINS	SLMB	X	472	0,0%	81,8%	18,2%	0,0%	0,0%	0,0%
	MARCOS	RBTE	X	20	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	LINS	LINS	X	400	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	TOTAL			2.512	2,4%	88,8%	8,8%	0,0%	0,0%	0,0%
C	LINS	CACOAL	X	1.481	0,0%	0,0%	87,3%	12,7%	0,0%	0,0%
	LINS		X	965	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	LINS	RBTE	X	510	0,0%	0,0%	97,3%	2,7%	0,0%	0,0%
	WALTER/ALEX	LINS	X	260	0,0%	0,0%	97,7%	2,3%	0,0%	0,0%
	FLÁVIO/WALTER	LINS	X	258	0,0%	0,0%	99,6%	0,4%	0,0%	0,0%
	LINS	CACOAL	X	247	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	GELSO	RBTE	X	203	0,0%	0,0%	99,0%	1,0%	0,0%	0,0%
	LINS	RBTE	X	529	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	LINS	LINS	X	217	0,0%	0,0%	94,5%	5,5%	0,0%	0,0%
	TOTAL			4.670	0,0%	0,0%	95,2%	4,8%	0,0%	0,0%

Resultados da classificação (melhor, dentro, pior)

Figura 3.6 – Planilha de coleta de dados de classificação em wet blue

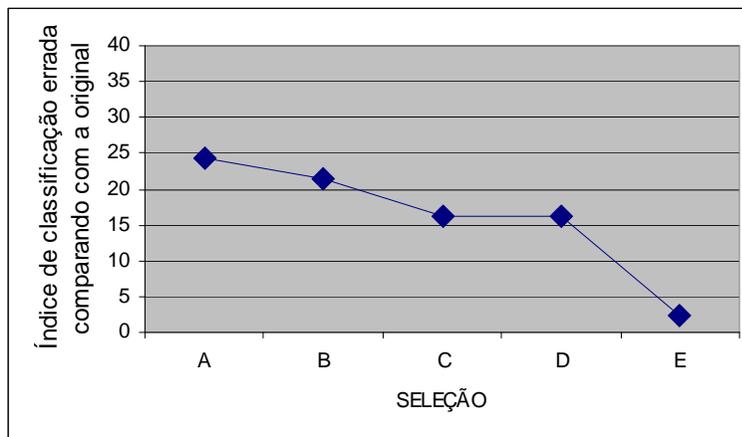


Figura 3.7 – Índice de classificação errada em wet blue em função da seleção

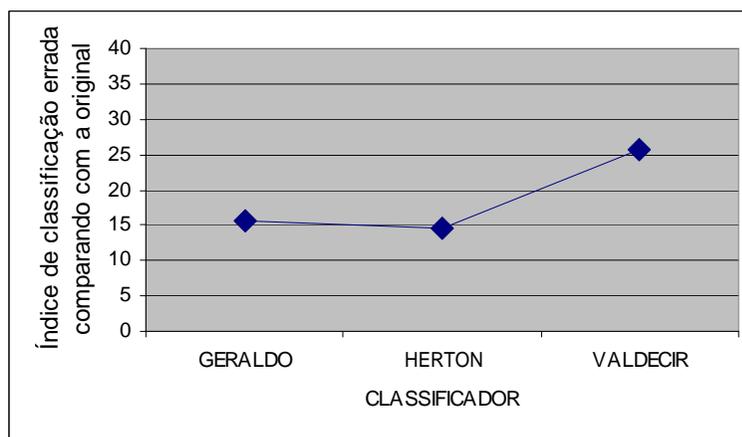


Figura 3.8 – Índice de classificação errada em wet blue em função do classificador

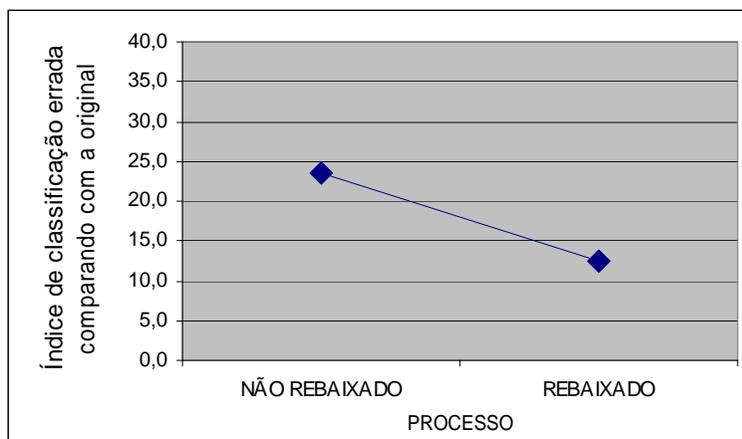


Figura 3.9 – Índice de classificação errada em wet blue em função do estágio do processo

A partir dos gráficos de efeitos significativos das Figuras: 3.7, 3.8 e 3.9, pode-se concluir o seguinte:

- O principal fator que modifica o percentual de erros é a própria seleção que está sendo classificada. A identificação da seleção é feita pelas letras em ordem decrescente, ou seja, a letra A representa a melhor classificação e assim respectivamente. Quanto mais baixa seja a seleção, representada pela sua letra, menor será o índice de refugos por classificação errada devido a facilidade de identificar os defeitos. Isto ocorre basicamente por dois motivos: (i) os defeitos são mais visíveis gerando menos dúvidas de critério e; (ii) os artigos que se fabricam com essas seleções são menos sensíveis aos erros e, portanto, o classificador tem menos tendência a refugar couro.

- Continuando em grau de importância está o estágio de classificação, couro rebaixado ou não rebaixado. Da mesma forma, dois fatores fazem aumentar o índice de classificação igual a original em um couro rebaixado: (i) um couro rebaixado apresenta menor índice de classificação errada, pois, permite identificar os defeitos melhor por causa de sua baixa umidade e (ii) o critério para refugar um couro rebaixado é mais exigente porque pelo fato de ter sido feito um processo a mais, resulta mais difícil a sua aplicação quando existe um refugo. O ponto referente à umidade explora-se melhor no tópico referente a Projeto de Experimentos (ver Capítulo 4).

- Dos três classificadores que participaram do estudo observa-se que o Valdecir é quem apresenta os índices mais altos de classificação errada comparando com a classificação original. Isso demonstra uma tendência a ser mais exigente e, portanto, considerar mais couro fora da seleção original. Como a amostragem foi muito grande é natural pensar que o problema está no critério de Valdecir mais que em problemas de classificação na origem.

As conclusões obtidas a partir deste estudo junto com outras considerações feitas com a equipe de classificação servem de base para estruturar o Projeto de Experimentos definindo quais são as variáveis de resposta e fatores controláveis a serem estudados.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E CAUSAS PROVÁVEIS

Existem três possíveis causas que determinam um erro de classificação:

A primeira é a falta de critério do classificador. O critério desdobra-se em dois: (i) reconhecimento dos defeitos que devem ser considerados na classificação do artigo e; (ii) a quantidade desses defeitos que comprometem a área de aproveitamento de cada couro.

A segunda é a falta de visualização dos defeitos. Neste caso o critério pode estar certo ou não, mas existe um problema de não visualização de certos defeitos, podendo acontecer pelo sistema de classificação, estático ou dinâmico, iluminação ou umidade da matéria-prima.

Por último, existe o fator concentração. Por se tratar de um trabalho de inspeção contínua em 100 % dos couros sempre é possível que o operador se distraia e aceite uma pele ruim como boa ou também descarte uma pele boa como ruim por não ter prestado suficiente atenção.

Dos três fatores mencionados, o estudo se concentra nos dois primeiros porque o efeito da falta de concentração acredita-se que tenha uma incidência menor.

3.4 ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

O estudo do Sistema de Medição é um dos trabalhos mais importantes no contexto desta dissertação. Por ser o processo de classificação um sistema altamente subjetivo pretende-se investigar até que ponto os critérios podem ser considerados confiáveis e como o próprio estudo pode orientar um treinamento que contribua para melhor padronização dos critérios.

Executam-se um total de cinco análises. A primeira com o objetivo de definir a situação atual, a segunda para confirmar a anterior e avaliar a estabilidade de critérios, feita duas semanas após a primeira, a terceira após um treinamento sobre critérios para definir a melhora na convergência deles e a quarta e quinta uma vez finalizado o Projeto de Experimentos, sendo este descrito no Capítulo 4.

O estudo sobre o Sistema de Medição aplicado à classificação no estágio *wet blue* executa-se mantendo constantes as condições de classificação, método e umidade. Uma vez definidas as melhores condições realizou-se o quarto e quinto experimento, para fazer uma nova análise e verificar a melhoria obtida.

Em cada um dos estudos existem dois enfoques: o primeiro relacionado a repetitividade e reprodutibilidade entre os classificadores e o segundo avaliando o resultado de cada um comparando com um valor de referência dado pelo Supervisor do setor. Neste último avaliam-se: desvio padrão, eficácia, probabilidade de classificação errada, probabilidade de alarme falso e tendência. Em todos os casos avaliam-se os resultados totais e

por seleção a fim de entender possíveis efeitos de linearidade, ou seja, resultados diferentes em função da seleção avaliada.

Às cinco métricas que se utilizam na comparação dos resultados de cada classificador e o valor de referência, se definem da seguinte maneira:

- Desvio padrão: calculado a partir das diferenças de critério entre o classificador e o valor de referência. Variável do tipo menor é melhor.
- Eficácia: mede o índice de acertos do classificador comparando com o valor de referência. Variável do tipo maior é melhor.
- Probabilidade de classificação errada: calculada sobre o total de peles do lote indicando o percentual de couros ruins que foram considerados como bons. Variável do tipo menor é melhor.
- Probabilidade de alarme falso: calculada sobre o total de peles do lote indicando o percentual de couros bons que foram considerados como ruins. Variável do tipo menor é melhor.
- A Tendência representa a predisposição do avaliador para classificar um item como bom ou ruim dependendo das probabilidades de classificação errada e alarme falso. Esta variável do tipo nominal é melhor, mais próxima de 1 indica ausência de tendência.

Uma vez terminados os estudos, ações são direcionadas ao treinamento dos classificadores e a padronização do método de conferência do sistema.

A variável mais crítica é a probabilidade de classificação errada porque é a que causa o maior prejuízo, seguida pela probabilidade de alarme falso. Na primeira o prejuízo está dado pelo tempo e dinheiro que se aplicam em uma pele que vai ser refugada no estágio acabado. Na segunda, o prejuízo está associado ao desperdício de matéria-prima que podendo ser utilizada, foi descartada na primeira etapa de classificação.

3.4.1 Descrição do estudo do Sistema de Medição

Todos os estudos foram realizados com o mesmo grupo de couros. Foram separados e identificados 36 couros, 12 de cada seleção: B, C e D, que se apresentam aos classificadores

misturados em um lote de 50 peles. Dentro de cada categoria de seleção de 12 peles existem 4 peles boas, 4 peles médias e 4 peles no limite inferior da seleção. Cada um dos classificadores conhece a classificação no momento de revisar do mesmo modo que acontece na prática. O classificador indica os couros aptos e não aptos e no caso de ser um erro, a qual seleção corresponde. O objetivo de abrir cada seleção em três grupos é distinguir os erros nas peles limites de uma seleção, inferior ou superior, dos erros correspondentes a mais de uma classe a fim de ter um maior poder de discriminação.

Os couros foram separados pelo Supervisor e em todos os casos foram classificados em esteira, método dinâmico, que se considera a pior condição.

Para o cálculo de reprodutibilidade entre os três operadores foi considerada como máxima amplitude à possibilidade de errar no máximo duas seleções, uma acima e uma abaixo da seleção apresentada. Este critério foi arbitrário e baseado na experiência, dado que como possibilidade de erro se poderia chegar até os próprios extremos das seleções, A e E, mas como isso é uma condição exagerada estaria distorcendo o erro de reprodutibilidade. Durante os estudos este erro não aconteceu nunca e a máxima amplitude detectada foi de 1,5 seleção.

O objetivo de ter três categorias dentro de cada seleção é para permitir qualificar melhor o atributo de apto e não apto e ganhar assim maior sensibilidade na análise.

As respostas foram tratadas de duas maneiras diferentes, considerando o total dos erros e excluindo os erros correspondentes a peles limites por considerar mais subjetiva a definição da seleção nesses casos.

Nos cálculos de eficácia, desvio padrão, probabilidades de classificação errada e alarme falso foram considerados além do próprio erro, a distância ao alvo que é a classificação de referência. Neste tipo de estudo não são considerados os erros quando a classificação de referência do couro está no limite superior ou inferior e o classificador definiu ela como uma seleção acima ou abaixo da seleção mostrada.

3.4.2 Primeiro estudo do Sistema de Medição

Na Tabela 3.5 apresenta-se o resultado da coleta de dados do experimento. As seleções em hachurado indicam as diferenças maiores com as peles de referência.

O cálculo de R&R total com todas as peles apresenta como resultado 29,63% de repetitividade e 27,78% de reprodutibilidade o que representa um valor de R&R igual a 40,61%, valor que permite concluir que o sistema de medição possui muita variabilidade e que precisa ser melhorado.

A definição de pele limite está dada por aqueles couros que estão nos extremos da seleção. São as partes melhor e pior de cada seleção que podem ser confundidas com a seleção imediatamente anterior ou posterior. Isto pode ser observado esquematicamente na Figura 3.10. Desconsiderando as peles limites, os números são: 19,44% para a repetitividade e 14,58% para a reprodutibilidade, dando como resultado de R&R 24,31%. É evidente a melhora tanto em repetitividade como em reprodutibilidade quando se trabalha sem considerar as diferenças entre as peles limites. O erro neste caso só aparece quando a variação é de mais de um degrau de seleção, entendendo por degrau a divisão em três que se fez de cada seleção.

Na Tabela 3.6 apresentam-se os resultados de repetitividade e reprodutibilidade por seleção, considerando ou não as peles limites.

Os dados exibidos na Tabela 3.6 permitem concluir que à medida que baixa a seleção tende a melhorar a confiabilidade dos classificadores, medida pelo valor de R&R. Na reprodutibilidade isto é assim tanto no total das peles quanto excluindo as peles limites. No caso da repetitividade não aconteceu isto quando se passou de B para C. A melhora do R&R na seleção C deveu-se principalmente à melhora em reprodutibilidade. Outro dado curioso que pode-se observar na Tabela 3.6 é que para a seleção C os resultados de repetitividade não só pioraram quando se analisam os valores totais como também quando se comparam os valores sem as peles limites. Isto demonstra que deve ser trabalhado sobre o critério da seleção C porque ele não está claro para os classificadores.

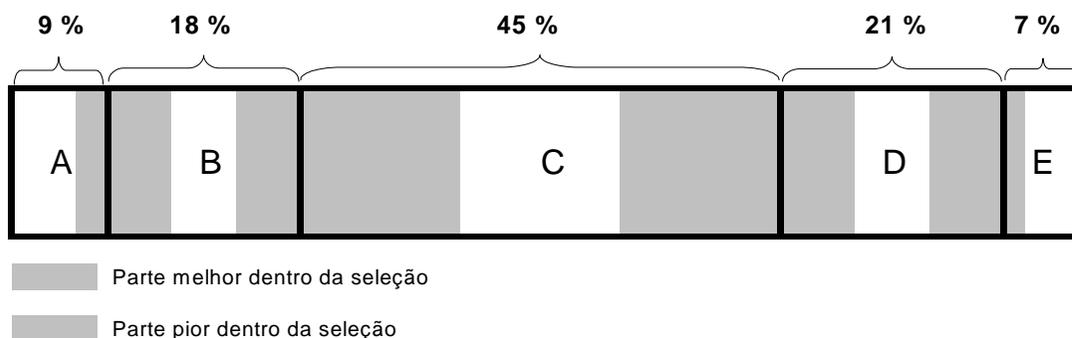


Figura 3.10 – Representação gráfica da participação de cada seleção sobre o total da matéria-prima a classificar e seus limites

Tabela 3.5 – Análise de repetibilidade e reprodutibilidade

VALOR DE REF.			apresent. como	Pele	CLASSIFICADOR 1 (Geraldo)			CLASSIFICADOR 2 (Valdecir)			CLASSIFICADOR 3 (Herton)			Erros de reprodutibilidade total das peles	Erros de reprodutibilidade sem peles limite
boa	média	baixa			1a	2a	erros repetição	1a	2a	erros repetição	1a	2a	erros repetição		
D			C	1	D	D	0	C	C	0	D	D	0	1	0
D			C	2	D	D	0	C	C	0	C	D	1	1	0
	B		B	3	B	C	1	C	C	0	C	C	0	0,5	0,5
		B	C	4	C	C	0	D	C	1	C	B	1	1	0,5
C			B	5	C	C	0	C	C	0	C	D	1	0,5	0,5
C			B	6	B	B	0	C	C	0	C	C	0	1	0
	C		B	7	C	B	1	B	B	0	C	D	1	1,5	1,5
		C	D	8	D	D	0	C	C	0	D	D	0	1	0
	C		B	9	C	C	0	C	C	0	C	D	1	0,5	0,5
		D	D	10	D	D	0	D	D	0	E	D	1	0,5	0
B			B	11	B	B	0	B	B	0	B	C	1	0,5	0,5
	B		C	12	C	B	1	C	C	0	C	C	0	0,5	0,5
A			B	13	B	A	1	A	A	0	C	B	1	1,5	1,5
		C	D	14	D	D	0	D	C	1	D	D	0	0,5	0
	C		C	15	C	C	0	C	C	0	B	C	1	0,5	0,5
	B		B	16	B	B	0	B	B	0	B	B	0	0	0
		D	D	17	E	E	0	E	E	0	E	E	0	0	0
	E		D	18	E	D	1	E	E	0	E	E	0	0,5	0,5
		A	B	19	A	A	0	A	B	1	B	C	1	1,5	0,5
	D		D	20	D	D	0	D	D	0	D	D	0	0	0
	E		D	21	E	E	0	E	E	0	E	E	0	0	0
E			D	22	E	E	0	E	E	0	E	E	0	0	0
A			B	23	B	A	1	A	A	0	B	B	0	1	1
	C		C	24	C	B	1	C	C	0	B	C	1	0,5	0,5
C			C	25	B	C	1	C	B	1	C	B	1	0	0
		B	C	26	C	C	0	B	B	0	C	C	0	1	0
B			B	27	B	B	0	B	B	0	B	A	1	0,5	0
A			B	28	A	A	0	A	A	0	A	A	0	0	0
E			D	29	D	E	1	D	D	0	E	D	1	0,5	0
	D		C	30	D	D	0	D	D	0	D	D	0	0	0
B			C	31	B	C	1	C	B	1	C	B	1	0	0
		C	D	32	D	D	0	C	C	0	C	C	0	1	0
		D	D	33	D	D	0	C	C	0	D	C	1	1	1
	C		C	34	C	C	0	C	C	0	C	C	0	0	0
C			D	35	C	C	0	C	C	0	C	C	0	0	0
D			C	36	C	C	0	C	C	0	D	C	1	0,5	0,5
Totais considerando o total das peles							10			5			17		
Totais não considerando as peles limites							7			2			12	20	10,5

Tabela 3.6 – Resumo de análise de R&R por seleção

ERRO	B		C		D	
	Total	Sem limites	Total	Sem limites	Total	Sem limites
Repetibilidade	33,3%	25,0%	38,9%	27,8%	16,7%	5,6%
Reprodutibilidade	37,5%	27,1%	25,0%	10,4%	20,8%	6,3%
R&R	50,2%	36,9%	46,2%	29,7%	26,7%	8,4%

Na segunda parte do estudo do sistema de medição comparam-se os valores de cada classificador com o valor de referência definido pelo Supervisor. Nesta etapa analisam-se eficácia, desvio padrão, probabilidade de classificação errada, probabilidade de alarme falso e

tendência. Os resultados obtidos a partir de ambos estudos permitem definir o treinamento necessário para buscar a convergência de critérios entre os classificadores e com o Supervisor.

Os resultados comparativos com a classificação de referência se observam na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência

VALOR DE REFER.			apresent. como	Pele	Geraldo e valor de referência	Valdecir e valor de referência	Herton e valor de referência
boa	média	baixa					
D			C	1	0	0	0
D			C	2	0	0	0
	B		B	3	-0,5	-1	-1
		B	C	4	0	-0,5	0
C			B	5	0	0	-0,5
C			B	6	0	0	0
	C		B	7	0,5	1	-0,5
		C	D	8	0	0	0
	C		B	9	0	0	-0,5
		D	D	10	0	0	0
B			B	11	0	0	-0,5
	B		C	12	-0,5	-1	-1
A			B	13	-0,5	0	-1,5
		C	D	14	0	0	0
	C		C	15	0	0	0,5
	B		B	16	0	0	0
		D	D	17	0	0	0
	E		D	18	0,5	0	0
		A	B	19	0	0	-0,5
	D		D	20	0	0	0
	E		D	21	0	0	0
E			D	22	0	0	0
A			B	23	-0,5	0	-1
	C		C	24	0,5	0	0,5
C			C	25	0	0	0
		B	C	26	0	0	0
B			B	27	0	0	0
A			B	28	0	0	0
E			D	29	0	0	0
	D		C	30	0	0	0
B			C	31	-0,5	-0,5	-0,5
		C	D	32	0	0	0
		D	D	33	0	1	0,5
	C		C	34	0	0	0
	C		D	35	0	0	0
	D		C	36	1	1	0,5
				SOMA	0	0	-5,5
				DESVIO PADRÃO	0,29	0,40	0,44
				EFICACIA	86,1%	83,3%	73,6%
				PROBABILIDADE DE CLASS. ERRADA P(CE)	6,9%	8,3%	5,6%
				PROBABILIDADE DE ALARME FALSO P(AF)	6,9%	8,3%	20,8%
				TENDÊNCIA	1,0	1,0	2,4

Nas Figuras 3.11 a, b e c se observam os resultados por classificador e seleção através da soma dos erros.

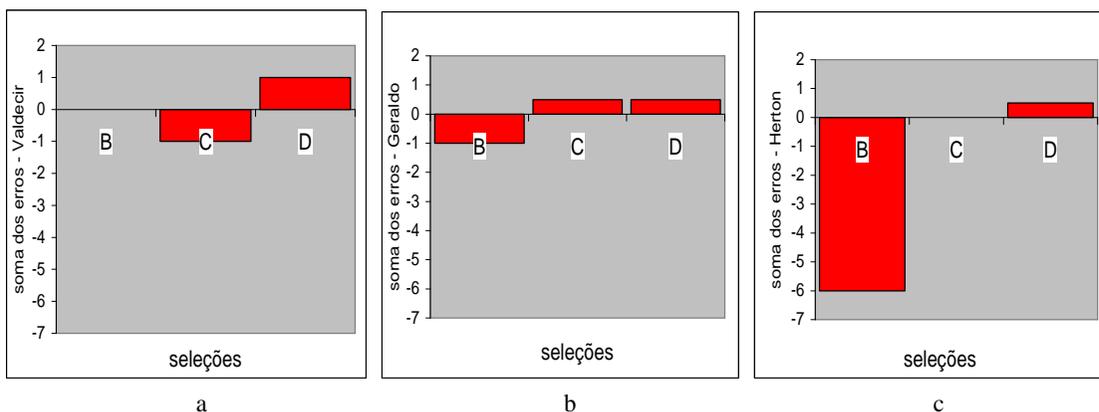


Figura 3.11 a,b e c – Soma dos erros de seleção por classificador

O sinal negativo no gráfico da Figura 3.11 identifica um erro no sentido de alarme falso e o sinal positivo está associado à classificação errada. Para cada uma das seleções observa um comportamento diferente em função de quem classifica.

Para a seleção B o Valdecir foi quem compensou melhor os erros, seguido pelo Geraldo e por último Herton que teve um número importante de erros. Para a seleção C foram obtidos erros nos dois sentidos, Valdecir mais conservador, Geraldo mais liberal e Herton neutro. Finalmente para a seleção D, os três resultaram mais liberais, principalmente Valdecir. Este tipo de análise auxilia na definição dos treinamentos para cada um dos classificadores.

Pela baixa eficácia calculada do classificador Herton e pelo erro na classificação B, decidiu-se afastar ele do trabalho em *wet blue* e substituí-lo por outro classificador que estava em fase de treinamento.

Um resumo de todas as medições de cada estudo, por seleção e classificador, apresenta-se no Anexo A, figura A-2, permitindo desta forma sinalizar os valores que estão fora das metas pré-estabelecidas.

3.4.3 Segundo estudo do Sistema de Medição

Na Tabela 3.8 apresenta-se o resultado da coleta de dados do segundo estudo do sistema de medição. O procedimento seguido para realizar o experimento foi exatamente o mesmo do primeiro com um intervalo de tempo entre ambos de duas semanas.

O tempo transcorrido foi considerado pequeno para não existir oscilações de critério gerado por influências externas e ao mesmo tempo foi considerado grande para detectar variações de estabilidade dos próprios classificadores.

Tabela 3.8 – Análise de repetibilidade e reprodutibilidade

VALOR DE REFER.	apresenta da como	Pele	CLASSIFICADOR 1 (Geraldo)			CLASSIFICADOR 1 (Valdecir)			CLASSIFICADOR 3 (Adelmir)			Erros de reprodutibilidade total das peles	Erros de reprodutibilidade sem peles limite	
			1a	2a	erros repetição	1a	2a	erros repetição	1a	2a	erros repetição			
D		C	1	D	D	0	D	D	0	D	D	0	0	0
D		C	2	D	D	0	D	D	0	D	D	0	0	0
	B	B	3	C	B	1	C	C	0	C	B	1	0,5	0
	C	C	4	D	D	0	D	D	0	B	C	1	1,5	0,5
C		B	5	D	C	1	D	D	0	D	D	0	0,5	0,5
C		B	6	C	C	0	C	C	0	C	C	0	0	0
	C	B	7	D	C	1	D	C	1	C	C	0	0,5	0,5
	C	D	8	D	D	0	C	C	0	D	D	0	1	0
	C	B	9	D	C	1	C	C	0	D	D	0	1	0
	D	D	10	D	D	0	D	D	0	D	D	0	0	0
	B	B	11	B	B	0	C	B	1	B	B	0	0,5	0
	B	C	12	B	B	0	C	C	0	C	C	0	1	1
A		B	13	B	A	1	A	A	0	B	A	1	0,5	0,5
	C	D	14	D	D	0	D	D	0	D	D	0	0	0
	C	C	15	C	C	0	C	C	0	B	B	0	1	1
	B	B	16	B	B	0	B	B	0	B	B	0	0	0
	D	D	17	E	D	1	E	E	0	E	E	0	0,5	0
	E	D	18	D	D	0	E	E	0	D	E	1	1	1
	A	B	19	A	A	0	B	B	0	B	B	0	1	0
	D	D	20	D	D	0	D	D	0	D	D	0	0	0
	E	D	21	E	E	0	E	E	0	E	E	0	0	0
E		D	22	E	E	0	E	E	0	E	E	0	0	0
A		B	23	B	A	1	B	B	0	B	B	0	0,5	0,5
	B	C	24	C	B	1	C	C	0	C	C	0	0,5	0
C		C	25	B	B	0	C	B	1	A	B	1	1	0,5
	B	C	26	C	C	0	C	B	1	B	B	0	1	0
C		B	27	B	B	0	B	B	0	B	B	0	0	0
A		B	28	B	A	1	A	A	0	C	B	1	1,5	1,5
E		D	29	D	D	0	E	E	0	D	D	0	1	0
	D	C	30	D	D	0	D	D	0	C	D	1	0,5	0,5
B		C	31	C	C	0	C	B	1	B	B	0	1	1
	C	D	32	C	D	1	D	D	0	C	C	0	1	0
	D	D	33	C	C	0	C	C	0	C	D	1	0,5	0,5
	C	C	34	B	B	0	D	C	0	C	D	1	1,5	1,5
	C	D	35	C	C	0	C	C	0	D	C	1	0,5	0,5
D		C	36	C	C	0	C	C	0	D	D	0	1	0
Totais considerando o total das peles						10		5		10				
Totais não considerando as peles limites						5		2		9		22	11,5	

O cálculo da repetitividade para o caso de considerar todas as peles apresenta como resultado 23,15%, a reprodutibilidade, 30,56% e o valor de R&R, 38,53%. Os resultados desconsiderando as peles limites acusaram 14,81% de repetitividade, 15,97% de reprodutibilidade e 21,79% de R&R.

Comparando os números do segundo estudo com os do primeiro em 3.4.2 observa-se em geral uma melhora na repetitividade tanto quando se calcula com o total dos couros como quando se excluem as peles limites. A reprodutibilidade piorou um pouco no total das peles e melhorou um pouco quando não são consideradas as peles limites. De um modo geral pode-se afirmar que não houve grandes variações nos resultados de R&R do primeiro e segundo experimento.

Comparando os resultados da Tabela 3.9 com a Tabela 3.6, resultado do primeiro experimento, houve uma melhoria na repetitividade da seleção C, tanto no total como sem limites, e na reprodutibilidade da seleção B. Ao mesmo tempo os valores de reprodutibilidade na seleção C pioraram o que levou ao resultado comentado anteriormente de pouca variação no geral.

Os objetivos de repetir o estudo sem treinamento prévio foram dois: (i) verificar a estabilidade de critérios sem interferência externa, (ii) analisar a variação no sistema depois da troca de um classificador.

Na Tabela 3.9 se apresentam a repetitividade e reprodutibilidade por seleção, considerando ou não as peles limites.

Tabela 3.9 – Resumo de análise de R&R por seleção

ERRO	B		C		D	
	Total	Sem limites	Total	Sem limites	Total	Sem limites
Repetibilidade	33,3%	22,2%	22,2%	13,9%	13,9%	8,3%
Reprodutibilidade	27,1%	14,6%	41,7%	29,2%	22,9%	8,3%
R&R	43,0%	26,6%	47,2%	32,3%	26,8%	11,8%

Os resultados comparativos com a classificação de referência observam-se na Tabela 3.10.

Comparando os resultados da Tabela 3.10 com a Tabela 3.7 podem-se fazer os seguintes comentários: (i) não houve grandes variações no desvio padrão das observações, nem também nos valores de eficácia; (ii) a probabilidade de classificação errada aumentou no geral o que significa que os classificadores foram mais liberais no seu critério e; (iii) a probabilidade de alarme falso melhorou o que confirma o ponto (ii). O deslocamento dos classificadores para o lado da melhor classificação, interpretando-se isto como uma menor

exigência. Podem-se visualizar também nos valores da tendência, menores que no primeiro estudo, e também nos valores da soma que resultaram em números mais negativos para Geraldo e Valdecir.

Tabela 3.10 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência

VALOR DE REFER.			apresentada como	Pele	Geraldo e valor de referência	Valdecir e valor de referência	Adelmir e valor de referência
boa	média	baixa					
D			C	1	0	0	0
D			C	2	0	0	0
			B	3	0	0	0
			C	4	0	0	0,5
C			B	5	-0,5	-1	-1
C			B	6	0	0	0
	C		B	7	-0,5	-0,5	0
			C	8	0	0	0
			C	9	0	0	0
			D	10	0	0	0
			B	11	0	0	0
	B		C	12	0	-1	-1
A			B	13	-0,5	0	0,5
			C	14	0	0	0
	C		C	15	0	0	1
	B		B	16	0	0	0
			D	17	0	0	0
	E		D	18	1	0	0,5
			A	19	0	0	0
	D		D	20	0	0	0
	E		D	21	0	0	0
E			D	22	0	0	0
A			B	23	-0,5	-1	-1
			B	24	0	0	0
C			C	25	0	0	0,5
			B	26	0	0	0
C			B	27	0	0	0
A			B	28	-0,5	0	-1,5
E			D	29	0	0	0
	D		C	30	0	0	0,5
B			C	31	-1	-0,5	0
			C	32	0	0	0
			D	33	1	1	0,5
	C		C	34	1	-0,5	-0,5
	C		D	35	0	0	-0,5
D			C	36	0	0	0
				SOMA	-0,5	-3,5	-1,5
				DESVIO PADRÃO	0,39	0,35	0,48
				EFICÁCIA	81,9%	84,7%	73,6%
				PROBABILIDADE DE CLASSIF ERRADA P(CE)	9,7%	12,5%	15,3%
				PROBABILIDADE DE ALARME FALSO P(AF)	8,3%	2,8%	11,1%
				TENDÊNCIA	0,85	0,32	0,81

Para encerrar o segundo estudo apresentam-se os gráficos da soma dos erros por seleção de cada classificador na Figura 3.12.

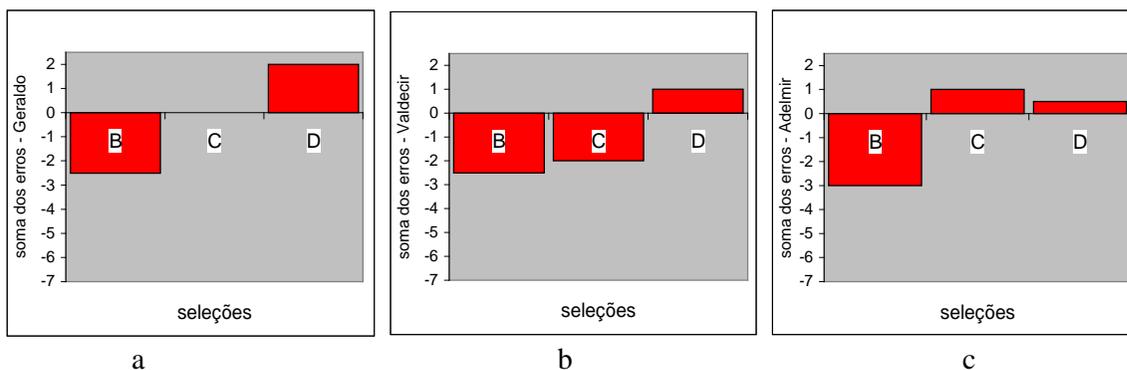


Figura 3.12 a,b e c – Soma dos erros de seleção por classificador

A diferença do primeiro experimento, Figura 3.11, este foi mais parecido entre os classificadores e com uma tendência a classificar com um critério menos exigente que a referência. Por essa razão foi que aumentaram os índices de classificação errada. A grande mudança deu-se na substituição de Herton por Adelmir, por este último ter ficado mais alinhado com seus colegas

3.4.4 Treinamento sobre critérios

As informações levantadas no primeiro e segundo estudo do Sistema de Medição permitiram realizar um treinamento direcionado a cada classificador conforme os resultados obtidos. Este trabalho foi realizado em forma individual e consistiu em mostrar cada um dos couros que apresentaram as diferenças mais importantes com o valor de referência para ver se a opinião do classificador se mantinha ou mudava. Os estudos foram realizados todos em esteira, entretanto o treinamento foi estático dedicando maior tempo à observação de cada couro. Desta forma foi possível distinguir se o erro era por um problema de critério ou de visualização.

Os erros que cada um dos classificadores cometeram foram classificados em três grupos diferentes que se explicam a seguir:

- Método: é quando o classificador concordou com o valor de referência no momento de classificar conforme o método estático sem nenhuma influência do Supervisor;
- Critério: é quando apesar de mudar o método continua discordando do Supervisor em termos de critério;

- Repetitividade: não há qualquer relação com o método nem com o critério. O classificador não mostra estabilidade no momento de classificar as mesmas peles, sinal que o critério está pouco claro.

Os resultados da identificação das causas após o trabalho de treinamento apresentam-se na Tabela 3.11.

O treinamento além de permitir trabalhar com cada um dos classificadores permitiu analisar a influência de certos fatores que posteriormente se trabalham no Projeto de Experimentos. A iluminação foi um desses fatores. Houve condições de comprovar como o ângulo dela influencia a visualização dos defeitos baixo relevo e sobre relevo. A partir desta descoberta foi alterada a colocação das lâmpadas na esteira de classificação. O outro fator importante foi o tempo disponível para visualizar os defeitos, muitos dos quais foi possível identificar apenas no momento de classificar com o método estático. Em função disto foi baixada a velocidade da esteira de classificação sem alterar a produtividade do processo.

O trabalho de treinamento não só contribui com a busca de convergência de critérios entre os classificadores e o Supervisor como também permitiu explicar para os operadores a importância na análise das causas que podem gerar os erros de classificação e o impacto econômico que elas trazem.

A receptividade do pessoal nesta etapa foi muito importante e serviu como alicerce para todo o trabalho desenvolvido na seqüência do projeto, principalmente, no que se refere aos experimentos realizados com artigos diferentes.

Tabela 3.11 – Registro das peles utilizadas no treinamento e causas dos desvios

CLASSIFICADOR	PELES	SELEÇÃO ADEMIR	1a	2a	3a	4a	SELEÇÃO CLASSIF.	CAUSA
VALDECIR	3	B2	C	C	C	C	B	MÉTODO
	4	B3	D	C	D	D	D	CRITÉRIO
	5	C1	C	C	D	D	C	REPETIBILIDADE
	7	C2	B	B	D	C	C	REPETIBILIDADE
	11	B1	B	B	C	B	B	REPETIBILIDADE
	12	B2	C	C	C	C	B	MÉTODO
	23	A1	A	A	B	B	A	REPETIBILIDADE
	31	B1	C	B	C	B	B	REPETIBILIDADE
	33	D3	C	C	C	C	D	MÉTODO
	34	C2	C	C	D	C	C	REPETIBILIDADE
36	D2	C	C	C	C	C	CRITÉRIO	
GERALDO	3	B2	B	C	C	B	B	REPETIBILIDADE
	4	B3	C	C	D	D	D	CRITÉRIO
	5	C1	C	C	D	C	C	REPETIBILIDADE
	7	C2	C	B	D	C	B	CRITÉRIO
	9	C2	C	C	D	C	C	REPETIBILIDADE
	13	A1	B	A	B	A	B	CRITÉRIO
	18	E2	E	D	D	D	D	MÉTODO
	23	A1	B	A	B	A	A	REPETIBILIDADE
	24	C2	C	B	C	B	B	REPETIBILIDADE
	28	A1	A	A	B	A	A	REPETIBILIDADE
	31	B1	B	C	C	C	B	MÉTODO
	33	D3	D	D	C	C	C	REPETIBILIDADE
	34	C2	C	C	B	B	C	REPETIBILIDADE
36	D2	C	C	C	C	C	CRITÉRIO	
ADELMIR	3	B2	C	C	C	B	C	CRITÉRIO
	5	C1	C	C	D	D	C	REPETIBILIDADE
	9	C2	D	C	D	D	C	MÉTODO
	12	B2	B	B	C	C	C	REPETIBILIDADE
	13	A1	B	B	B	A	B	CRITÉRIO
	15	C2			B	B	B	CRITÉRIO
	18	E2	E	E	D	E	D	MÉTODO
	23	A1	A	A	B	B	A	REPETIBILIDADE
	25	C1			A	B	B	MÉTODO
	28	A1	A	A	C	B	B	CRITÉRIO
	30	D2	D	C	C	D	D	REPETIBILIDADE
	33	D3			C	D	C	MÉTODO
	34	C2			C	D	C	REPETIBILIDADE
	35	C2			D	C	C	REPETIBILIDADE

3.4.5 Terceiro estudo do Sistema de Medição

A metodologia é a mesma dos primeiros dois estudos e, portanto, só apresentam-se os resultados finais na Tabela 3.12, comparação entre classificadores, e Tabela 3.13, comparação com o valor de referência do Supervisor.

Tabela 3.12 – Análise de R&R total e por seleção

ERRO	TOTAL		B		C		D	
	Total	Sem limites						
Repetibilidade	25,0%	15,7%	27,8%	16,7%	38,9%	22,2%	8,3%	8,3%
Reprodutibilidade	24,3%	16,7%	18,8%	14,6%	37,5%	22,9%	14,6%	10,4%
R&R	34,9%	22,9%	33,5%	22,2%	54,0%	31,9%	16,8%	13,3%

Observando o erro de repetitividade total e comparando com o segundo experimento, ver 3.4.3, os números não melhoraram muito, entretanto quando se analisam por seleção observa-se que nas seleções B e D houve melhoras e na C os resultados pioraram tanto no total das peles quanto nas peles limites.

Na reprodutibilidade há uma redução do erro no total fundamentalmente pela redução na variação de critérios quando consideradas todas as peles nas seleções B e C, não acontecendo o mesmo na seleção D que piorou. Na análise que se faz excluindo as peles limites, os valores são muito próximos ao experimento anterior. Isto significa que o treinamento ajudou a padronizar os critérios quando se classificam todas as peles, mas não foi suficiente para reduzir os erros ao excluir as peles limites.

Outra conclusão que pode ser obtida com o treinamento é que ele não foi suficiente para consolidar os critérios dos classificadores que poderia ter dado maior segurança e reduzido o erro por repetitividade.

Na Tabela 3.13 apresentam-se os dados relativos a cada classificador comparado com o valor de referência.

Tabela 3.13 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência

VÁRIAVEL	GERALDO	VALDECIR	ADELMIR
SOMA	-0,5	1	2
DESVIO PADRÃO	0,3	0,21	0,41
EFICACIA	87,5	94,4	77,8
PROB (CE)	5,6	4,2	13,9
PROB (AF)	6,9	1,4	8,3
TENDÊNCIA	1,11	0,57	0,67

O dado mais importante da Tabela 3.13 é o aumento da eficácia na classificação por parte dos três classificadores o que se conseguiu baixando a probabilidade de classificação errada. Houve um pequeno aumento no alarme falso em Valdecir e Adelmir, mas que não comprometeram o resultado final. O desvio padrão também sofre uma redução mostrando que melhorou a sensibilidade dos classificadores frente ao critério.

A explicação da melhora dos resultados, considerando as peles de referência, e na análise do R&R não, é porque a distância entre os classificadores praticamente se manteve, mas todos eles aproximaram-se ao critério de referência. Foi possível com este primeiro treinamento modificar a média, mas não reduzir o desvio entre eles.

Define-se a partir dos valores alcançados que as medidas não incorporam viés, desta forma o sistema de classificação é considerado fidedigno para realizar o Projeto de experimentos que se trata no Capítulo 4.

3.4.6 Quarto e quinto estudo do Sistema de Medição

Estes estudos foram realizados da mesma maneira que os primeiros 3, após 4 meses depois do terceiro estudo. No intervalo de tempo transcorrido entre o terceiro e quarto estudo não foi realizado nenhum treinamento específico destinado a reduzir o erro de repetitividade e reprodutibilidade nos classificadores de *wet blue*. O quarto estudo mantém ainda o mesmo método dos primeiros três que é o dinâmico, sendo que para o quinto estudo mudou-se para estático.

Estes estudos têm dois objetivos principais: (i) verificar se o sistema evolui, durante o período que não foram aplicados treinamentos, só pelo fato de continuar trabalhando no aprimoramento dos critérios a partir do couro acabado e; (ii) testar o Sistema de Medição com o método de classificação estático.

Na Tabela 3.14 se apresentam os resultados de R&R resumidos para cada um dos dois estudos do Sistema de Medição e logo a seguir se fazem alguns comentários sobre eles.

Tabela 3.14 – Análise de R&R total e por seleção conforme o sistema de classificação

SISTEMA	ERRO	TOTAL		B		C		D	
		Total	Sem limites						
DINAMICO	Repetibilidade	23,2%	12,0%	38,9%	25,0%	19,4%	5,6%	11,1%	5,6%
	Reprodutibilidade	22,2%	15,3%	27,1%	20,8%	14,6%	8,3%	25,0%	16,7%
	R&R	32,1%	19,5%	47,4%	32,5%	24,3%	10,0%	27,4%	17,6%
ESTÁTICO	Repetibilidade	14,8%	10,2%	22,2%	13,9%	13,9%	8,3%	8,3%	5,6%
	Reprodutibilidade	22,9%	13,9%	29,2%	20,8%	18,8%	8,3%	20,8%	12,5%
	R&R	27,3%	17,2%	36,7%	25,0%	23,3%	11,8%	22,4%	13,7%

Houve uma sensível redução no erro de R&R tanto no total das peles como desconsiderando as peles limites, principalmente quando foi classificado com o método estático. A repetitividade melhora em todos os casos classificando estático o que sinaliza uma maior facilidade de interpretar os defeitos de cada couro e associá-los com um padrão de classificação. O erro por reprodutibilidade diminui na análise geral, principalmente devido à redução na seleção C.

Ao analisar os resultados do método estático e compará-los com o dinâmico, observa-se que a reprodutibilidade não acompanha a melhora percebida na repetitividade, o que significa que o fato de poder visualizar os defeitos melhor não é suficiente para que os critérios fiquem mais alinhados. Em outras palavras, para baixar mais os valores, deve ser trabalhado mais na padronização de critérios.

Na Tabela 3.15 se apresenta a análise de eficácia, desvio padrão, probabilidade de alarme falso e probabilidade de classificação errada de cada um dos classificadores e métodos de classificação.

Tabela 3.15 – Análise de eficácia, desvio padrão, P(AF) e P(CE) comparando com as peles de referência conforme o sistema de classificação

VÁRIAVEL	DINÂMICO			ESTÁTICO		
	GERALDO	VALDECIR	ADELMIR	GERALDO	VALDECIR	ADELMIR
SOMA	-7	-2	-5,5	-10,5	-6	-12
DESVIO PADRÃO	0,47	0,31	0,48	0,45	0,38	0,62
EFICACIA	75	88,9	79,2	70,8	80,6	55,6
PROB (CE)	2,8	2,8	2,8	0	1,4	5,6
PROB (AF)	22,2	8,3	18,1	29,2	18,1	38,9
TENDÊNCIA	4,35	2,2	3,84		9,9	3,2

As melhoras percebidas nos estudos de R&R, entre os classificadores, quando passa-se a trabalhar no método estático não se confirmam quando se comparam com o estudo sobre as peles de referência.

A eficácia diminui para os três classificadores, principalmente Adelmir, quando se trabalha estático. Essa queda deve-se a um aumento no alarme falso. A interpretação deste fenômeno é que quanto mais tempo visualiza-se um couro, mais seguro será o critério (repetitividade), mas ao mesmo tempo maior é a tendência de refugá-lo. Conclui-se que o método estático ou dinâmico é um fator muito importante, não só no acerto da classificação como também na própria produtividade do sistema. Constituindo-se como um dos fatores controláveis no Projeto de Experimentos.

Outro dado importante é que para os dois classificadores mais experientes, Valdecir e Geraldo, o desvio padrão sofreu pouca variação ao trocar de método e que apesar de baixar a eficácia quando se classifica estático a probabilidade de classificação errada foi reduzida.

Os valores tanto da soma quanto da tendência indicam como a classificação baixou de um modo geral quando se trocou de método sinalizando a forte relação que existe entre as possibilidades de visualização e o próprio critério. Como a reprodutibilidade não piorou no método estático, Tabela 3.14, pode-se concluir que isto afeta a todos classificadores.

3.5 RESUMO FINAL E CONCLUSÕES

Como foi mencionado em 3.4 o estudo do Sistema de Medição tem como objetivo principal verificar a convergência de critérios entre os classificadores e com o Supervisor. Durante os trabalhos foi possível acompanhar as melhorias principalmente nos valores de R&R após os treinamentos realizados.

Parte das melhorias surgiu a partir das mudanças realizadas ao longo do trabalho, por exemplo, a substituição de um dos classificadores, a mudança de velocidade da esteira e o ajuste da iluminação. Estas mudanças que foram executadas após o treinamento, junto com o próprio aprendizado decorrente do próprio processo e a conscientização dos classificadores que participaram intensamente de todos os experimentos, conduzem a melhoria dos resultados.

Na seqüência analisa-se o resultado do processo de treinamento, logo a seguir a definição de metas e estabelecimento do procedimento de acompanhamento e finalmente um

resumo final dos resultados alcançados no período de trabalho, maio-novembro de 2004, na análise dos refugos por classificação errada no estágio de *wet blue* para identificar os ganhos ocorridos durante o mesmo.

3.5.1 Conclusões sobre o treinamento, ajuste de critérios e resultados alcançados.

No Apêndice A, Figura A-1, apresenta-se a planilha completa de coleta de dados dos estudos de Sistema de Medição correspondentes ao segundo e terceiro estudo com as observações do tipo de defeito de cada couro e as causas dos erros. Nela pode-se observar o efeito do treinamento realizado entre ambos estudos que buscou melhorar o critério dos classificadores.

Na Figura 3.13 podem-se acompanhar os resultados antes e após o treinamento classificados pelas causas do desvio e por classificador.

As barras identificadas com o número 1 são as correspondentes às leituras de erros antes do treinamento e as que estão identificadas com o número 2 são após os treinamentos.

A principal causa de erro de classificação é a repetitividade. Após o treinamento houve melhorias com Valdecir e Geraldo e um resultado pior com Adelmir. Os erros de critério não sofreram mudanças após o treinamento. Adelmir não teve variação, Geraldo piorou e Valdecir melhorou. No caso dos erros devidos ao método, houve melhora com Valdecir e Adelmir e Geraldo se manteve constante antes e depois do treinamento.

Os erros decorrentes do método, aqueles que no momento de visualizar utilizando o método estático se conseguem resolver, tiveram uma melhoria que contribui na sensibilidade do processo de classificação como um todo.

Analisando desde o ponto de vista dos classificadores nos três casos houve melhoria, como fica demonstrado na coluna dos totais. A efetividade maior se deu na padronização de critério de Valdecir.

Na Figura 3.14 apresenta-se a evolução do valor de R&R nos 5 experimentos realizados, incluindo o último mudando o método de classificação para estático.

Na Figura 3.14 fica evidenciada a melhoria obtida nos resultados de R&R quando a análise se refere a todas as peles. Quando se excluem as peles limites os resultados também

melhoram, mas em menor escala, com exceção dos últimos dois experimentos onde se acentua a melhoria.

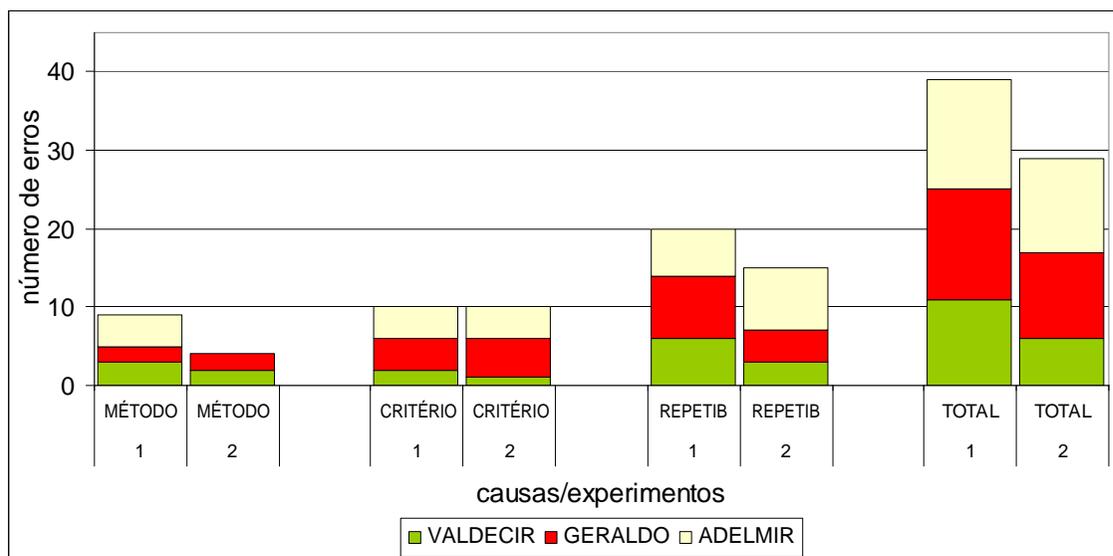


Figura 3.13 – Total de erros e suas causas por classificador antes (1) e depois (2) do treinamento

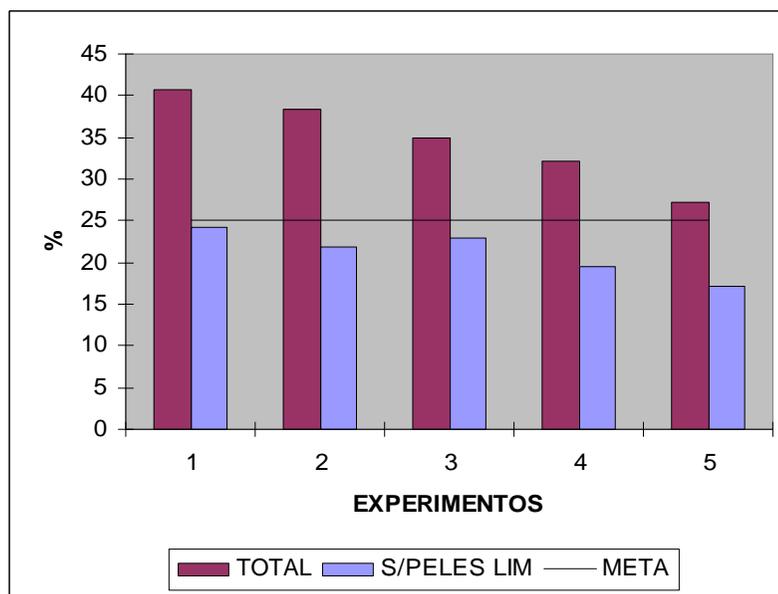


Figura 3.14 – Evolução do resultado do R&R total e sem as peles limites

A meta de 25% para o valor de R&R foi definida para buscar a confiabilidade do sistema de classificação. Na Seção 3.5.2 se voltam a discutir os conceitos de meta e como elas foram estabelecidas.

Na Figura 3.15 mostra-se a evolução da eficácia e as probabilidades de classificação errada e alarme falso.

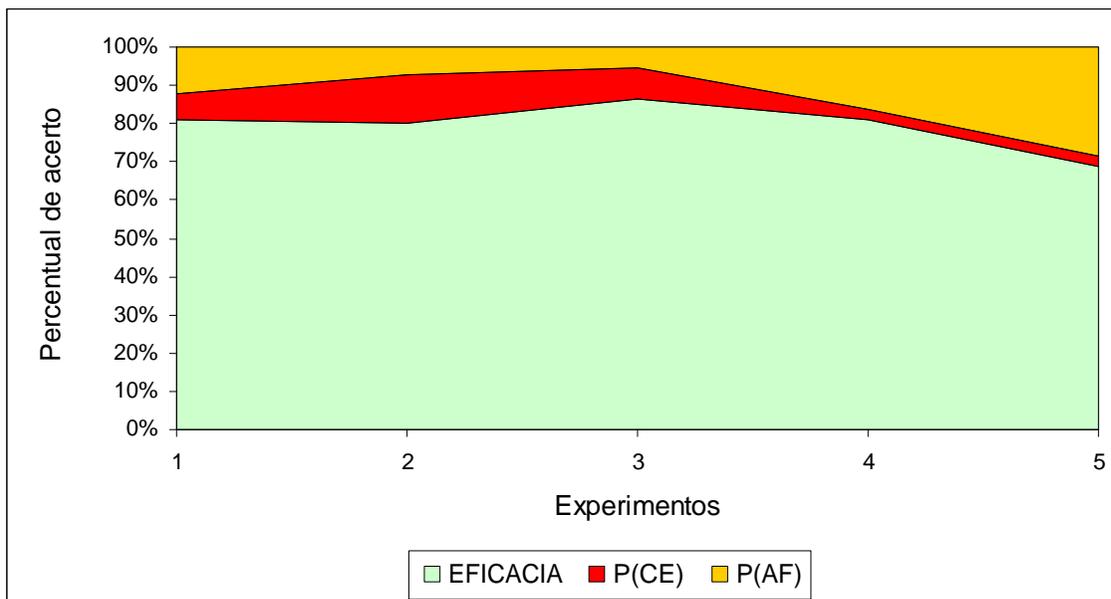


Figura 3.15 – Evolução do resultado da Eficácia, Probabilidade de CE e Probabilidade de AF

Na Figura 3.15 fica evidente a melhora obtida na eficácia até o experimento 3, logo após o treinamento, e como diminui esse valor nos últimos dois estudos. Outra conclusão importante que se visualiza da Figura 3.14 é a contínua diminuição da probabilidade de classificação errada.

No entanto, a probabilidade de alarme falso aumenta a partir do experimento 3 e principalmente quando foi realizado o método estático. O que se busca durante todo este trabalho é o aumento da eficácia sem comprometer o equilíbrio entre a classificação errada e alarme falso.

Finalmente, a Figura 3.16 revela a variação de desvio padrão ao longo dos experimentos.

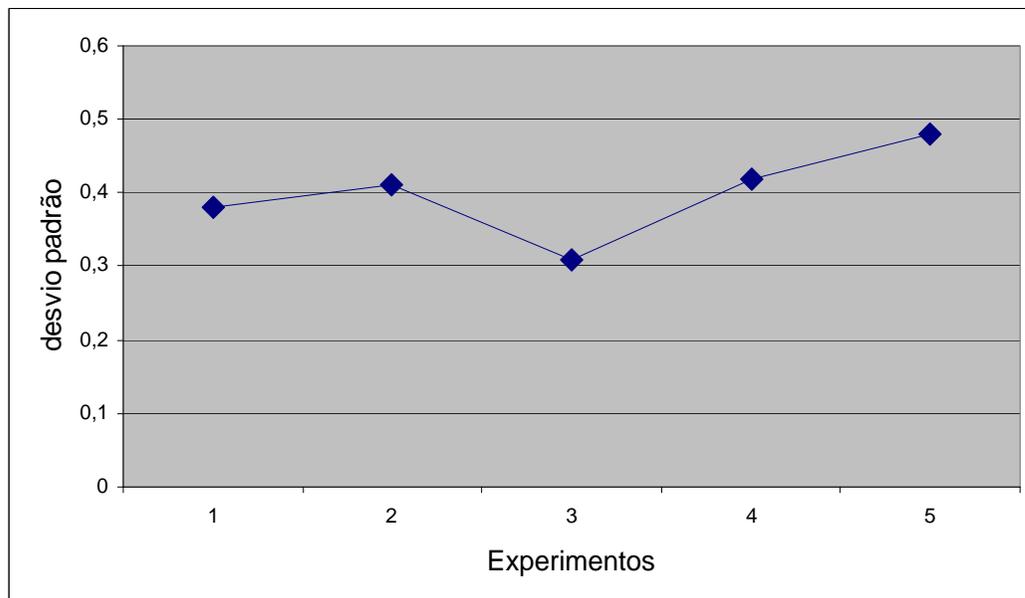


Figura 3.16 – Evolução do desvio padrão para cada experimento de Análise de Sistema de Medição

Novamente a Figura 3.16 apresenta uma piora nos resultados a partir do experimento número 3 e assim como a eficácia diminui também o desvio padrão aumenta. Isto possibilita duas interpretações: (i) para reduzir a variação de critério resulta necessário um treinamento constante e (ii) o fato de classificar estático, experimento 5, representa um paradoxo, por um lado reduz a repetitividade (erros na mesma pele), mas pelo outro gera muitas dúvidas no classificador no conjunto das peles.

3.5.2 Metas e acompanhamento

A partir dos trabalhos realizados e resultados alcançados definem-se as metas que vão ser acompanhadas durante a rotina de classificação. Elas apresentam-se nas Tabelas 3.16 e 3.17.

Tabela 3.16 – Metas para Repetibilidade, Reprodutibilidade e R&R

ERRO	Total das peles	Sem peles limite
REPETIBILIDADE	15%	12%
REPRODUTIBILIDADE	20%	16%
R&R	25%	20%

Tabela 3.17 – Metas para Eficácia, Desvio Standard, Probabilidades de classificação errada e alarme falso

INDICADOR	B	C	D
EFICÁCIA	85%	90%	95%
DESVIO STANDARD	0,3	0,25	0,2
PROBABILIDADE (CE)	5%	5%	2,5%
PROBABILIDADE (AF)	10%	5%	2,5%

O procedimento para acompanhar os resultados e as metas propostas consiste nos seguintes passos:

- Usar sempre as mesmas peles já separadas e que fazem parte dos estudos de Sistema de Medição desta dissertação. A vantagem de usar sempre o mesmo conjunto de peles deve-se principalmente a possibilidade de avaliar a estabilidade de critério, a desvantagem, deve-se ao fato dos classificadores acostumarem-se a um tipo específico de defeitos;

- A frequência será bimensal e consistirá em três fases: (i) o exercício de análise de Sistema de Medição; (ii) o treinamento sobre as peles críticas e; (iii) repetição do exercício para avaliar os resultados do treinamento. Quando se alcance uma efetividade total na análise serão trocadas as peles de referência;

- Os estudos se realizarão com métodos variados em função da seleção. Para a seleção B será estático e para as seleções C e D será dinâmico;

- Em cada estudo avaliam-se: eficácia, P(AF), P(CE), desvio padrão, soma e tendência além dos valores de R&R estratificados por seleção e classificador. Ver modelo da planilha no Apêndice A, Figura A-2.

Os passos anteriores permitem testar o critério entre classificadores e com as peles de referência, mas ainda será necessário alinhar o critério dos classificadores em *wet blue*, incluído o Supervisor, com o resultado final do produto acabado.

Para trabalhar no critério de *wet blue* e o critério final se realizarão também estudos bimensais onde se avaliarão os resultados comparativos. Na escolha das peles para este tipo de experimento deve-se procurar sempre forçá-las para causar o erro de classificação. As fases deste trabalho serão:

- Escolhem-se dois artigos, um na seleção B e outro na seleção C, ambos devem ser críticos em termos de erros de classificação tanto em *wet blue* como no produto acabado;

- Faz-se o teste usando o método escolhido como melhor, ver conclusões do Projeto de Experimentos no Capítulo 4, para cada seleção e tipo de artigo;

- Avaliam-se os resultados em conjunto e se discutem com os classificadores de *wet blue*.

3.5.3 Resultados alcançados na produção

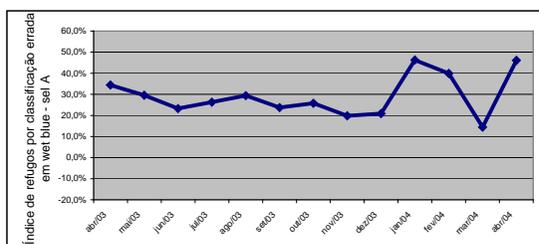
O processo de classificação no estágio *wet blue* sempre esteve muito orientado ao destino final que é dado à mercadoria e, por isso, os resultados oscilam bastante como se pode observar na Figura 3.17 a, c, e que corresponde ao período de janeiro de 2003 até abril de 2004.

Os períodos onde ocorrem variações negativas do erro explicam-se porque houve mais aproveitamento do que desperdício e, isso, foi gerado pelo tipo *mix* de produtos fabricados durante esses meses.

Durante o segundo período de análise, maio 2004 –fevereiro 2005, há uma tendência a diminuir o erro de classificação na seleção A e uma estabilidade no índice de erros nas classificações B e C, principalmente, nesta última. Esta redução não chega a ser importante em termos de valores monetários, mas o que se percebe é um maior controle e previsibilidade nos erros, não existindo tantos picos e vales como no passado. Isso tem um efeito indireto na própria programação da produção que depende do abastecimento da matéria-prima.

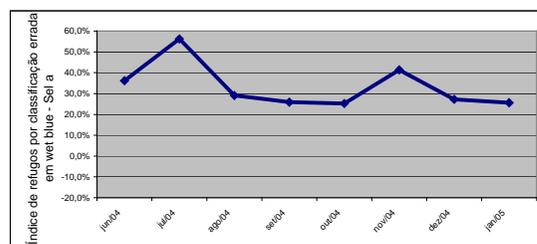
É importante comentar que ainda durante esse período não foi buscado especificamente um ajuste na classificação de *wet blue*, já que todo o esforço concentrou-se na diminuição do erro ou probabilidade de classificação errada que possui um impacto econômico muito maior no custo da não qualidade.

ANTES

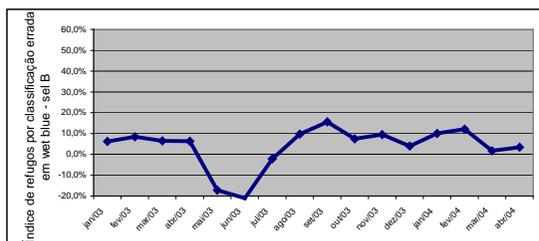


a

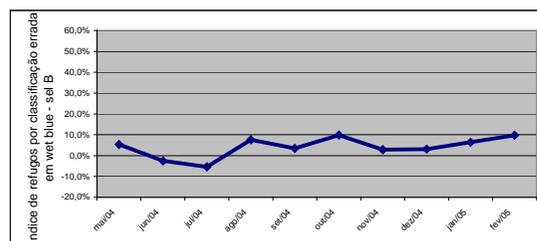
DEPOIS



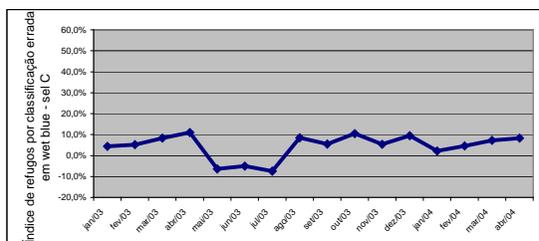
b



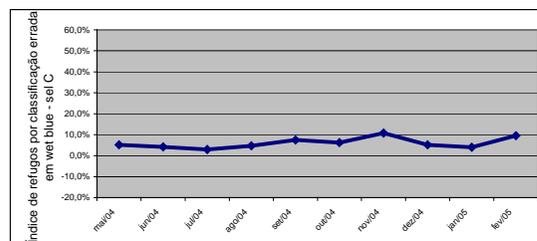
c



d



e



f

Figura 3.17 a-f – Erros de seleção em wet blue para cada uma das seleções comparando os dois períodos antes e depois dos estudos do Sistema de Medição

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

4	APLICAÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTOS NA OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE COURO	85
4.1	PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO.....	87
4.1.1	Fatores controláveis	87
4.1.2	Variáveis de resposta	90
4.1.3	Fatores de ruído	93
4.1.4	Execução dos experimentos.....	94
4.2	PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO.....	95
4.3	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS	96
4.3.1	Primeiro experimento no artigo Nubuck Chocolate	97
4.3.2	Segundo experimento no artigo Naplex preto	107
4.3.3	Terceiro experimento no artigo Diamond preto.....	110
4.3.4	Quarto experimento no artigo Nubuck Bege	113
4.4	CONCLUSÕES SOBRE OS ESTUDOS E PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE CLASSIFICAÇÃO	116
4.5	VALORIZAÇÃO FINANCEIRA DOS RESULTADOS ALCANÇADOS	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Fluxograma da aplicação do Projeto de Experimentos e processo de otimização	86
Figura 4.2 – Estágios de classificação e variáveis de resposta associadas as diferenças de seleção entre eles	87
Figura 4.3 – Efeitos significativos da Probabilidade de Classificação errada para o estágio classificação <i>wet blue</i>	98
Figura 4.4 – Efeitos significativos da Probabilidade de Classificação errada para o estágio classificação semi-acabado	100
Figura 4.5 – Efeitos significativos da Probabilidade de alarme falso para o estágio classificação acabada	101
Figura 4.6 – Erros de classificação nos estágios de semi e acabado.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Fatores controláveis, níveis reais e codificados	89
Tabela 4.2 – Planilha de coleta de dados para o cálculo das variáveis de resposta	91
Tabela 4.3 – Critérios de otimização das variáveis de resposta.....	95
Tabela 4.4 – Critérios de otimização dos estágios de classificação.....	96
Tabela 4.5–Análise do resultado da classificação em acabado comparando com a classificação em semi-acabado.....	104
Tabela 4.6 – Otimização dos fatores controláveis para cada um dos estágios	105
Tabela 4.7 – Otimização dos fatores controláveis para cada um dos estágios	106
Tabela 4.8–Análise do resultado da classificação em acabado com e sem classificação em semi-acabado	109
Tabela 4.9–Análise do resultado da classificação em acabado com e sem classificação em semi-acabado	112
Tabela 4.10–Análise do resultado da classificação em acabado com e sem a classificação em semi-acabado	115

CAPITULO 4

4 APLICAÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTOS NA OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE COURO

O objetivo deste capítulo é apresentar a aplicação de Projeto de Experimentos na escolha da melhor combinação de fatores controláveis que garanta o menor índice de refugos por classificação errada no produto final acabado causada por classificação errada no estágio de *wet blue*. É possível alcançar este objetivo com o estudo do comportamento das variáveis e também com o trabalho direcionado aos treinamentos para que o processo de classificação como um todo, seja mais robusto e menos sensível às variações de subjetividade inerentes ao processo.

Assim como o Capítulo 3 explorou amplamente o tema dos critérios e a busca de sua convergência, através dos treinamentos, este Capítulo dará uma ênfase especial nos métodos de classificação com o objetivo de verificar de que maneira é mais fácil visualizar os defeitos.

Outro ponto importante que será abordado no Capítulo 4 é o correspondente à análise da simplificação do processo de classificação que como explicado na Seção 3.1.2 consta de várias etapas. Ficando demonstrado que alguma das etapas é desnecessária, será possível diminuir o custo de produção, agilizar o processo e principalmente evitar o desperdício de matéria-prima que se dá quando há descartes de peles que poderiam ter continuado no processo.

As primeiras etapas do Projeto de experimentos, conforme explicado na Seção 2.3.4, que são ouvir a voz do cliente, a voz do engenheiro e a priorização, foram passadas de forma parcial diretamente ao planejamento e à execução dos experimentos. Isto foi possível por tratar-se de um tema amplamente conhecido pela equipe que trabalhou no projeto.

Na Figura 4.1 apresenta-se o fluxograma referente ao Projeto de experimentos e otimização dos quatro artigos que serão testados.

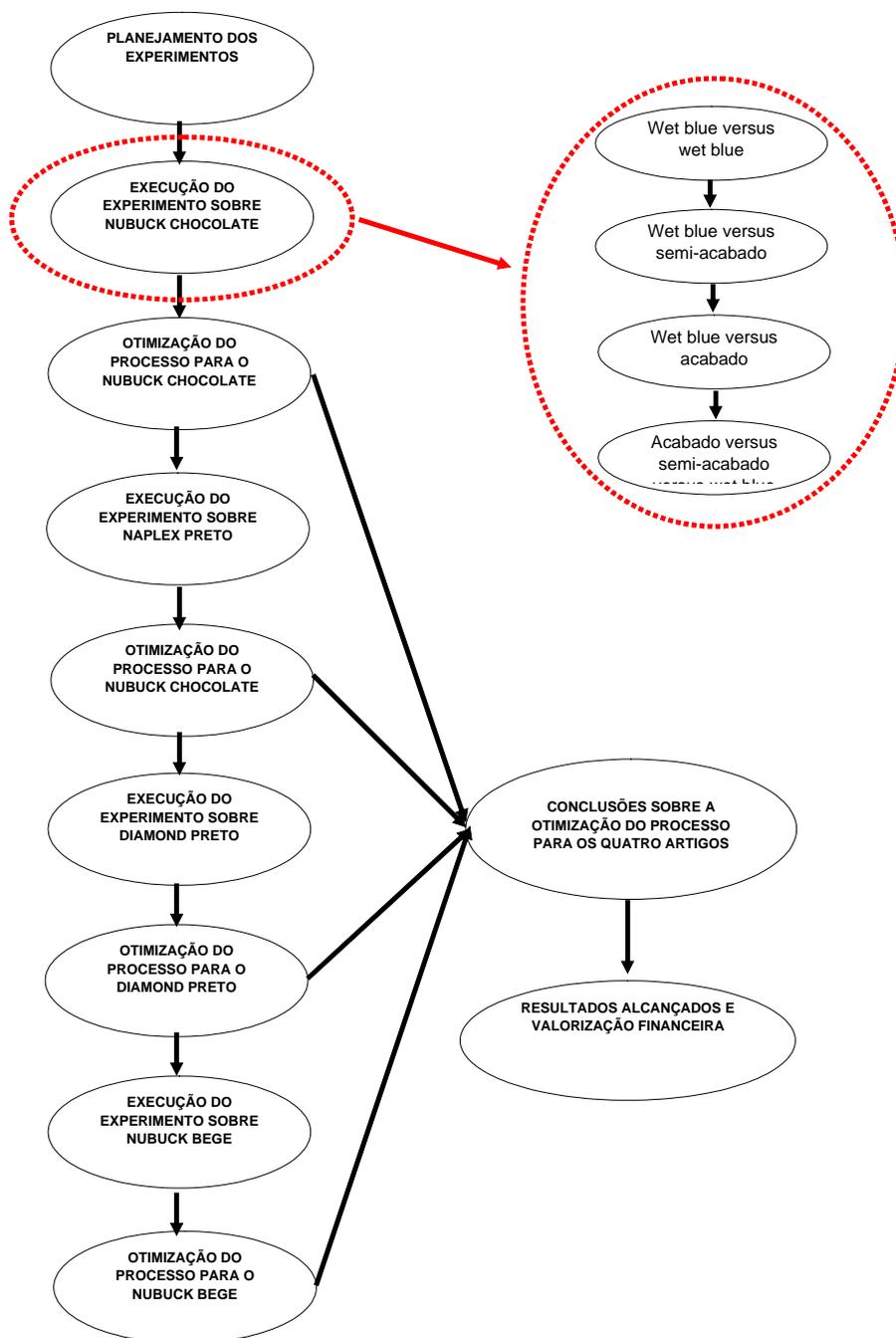


Figura 4.1 – Fluxograma da aplicação do Projeto de Experimentos e processo de otimização

4.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

O propósito do planejamento é definir uma série de experimentos que determine qual é a melhor condição de trabalho para minimizar os erros de classificação ao final do processo com o melhor aproveitamento da matéria-prima.

Os estágios de classificação e as variáveis de resposta calculadas a partir da diferença de classificação entre cada um dos estágios se apresentam na Figura 4.2

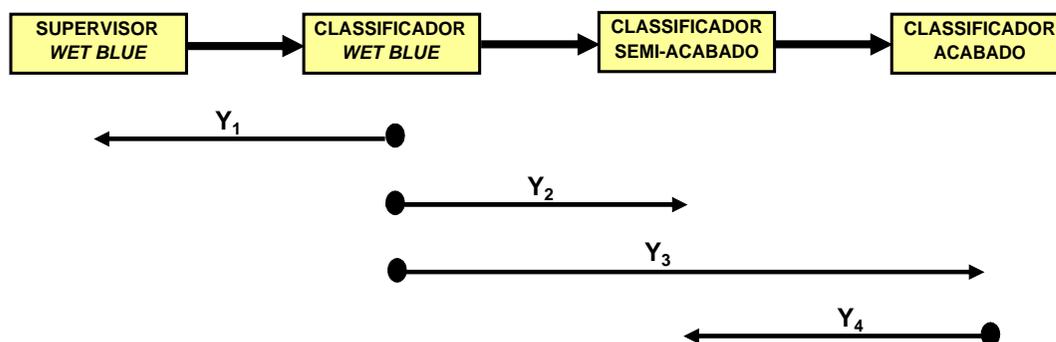


Figura 4.2 – Estágios de classificação e variáveis de resposta associadas as diferenças de seleção entre eles

Estes experimentos são trabalhados com 5 fatores controláveis e 4 variáveis de resposta em cada um dos três estágios de classificação: classificação *wet blue versus* supervisor de blue, classificação *wet blue versus* classificação semi-acabado e classificação *wet blue versus* classificação acabado. Além desses comparativos, se avalia o estágio de classificação acabado *versus* a classificação em semi-acabado para identificar a contribuição desta última na redução do índice de refugos por classificação errada no produto acabado.

As variáveis Y da Figura 4.2 representam as respostas de cada uma das análises pareadas pele a pele e o sentido das setas indica como é calculada a diferença de notas para cada seleção, o estágio inicial menos o estágio final.

4.1.1 Fatores controláveis

Na seqüência se explicam cada um dos fatores controláveis e a importância de sua escolha.

O primeiro ponto a considerar é o tipo de artigo que depende da classificação e também do tipo de processo. Escolhem-se: (i) um nubuck cor escura (artigo lixado, mas que

em função de não possuir acabamento deixa em evidência os defeitos da pele); (ii) um nubuck cor clara, onde o contraste dos defeitos é mais evidente que em uma cor escura e representa um dos artigos e cores mais críticos em termos de refugos por classificação errada; (iii) um artigo com um acabamento transparente onde praticamente a classificação final corresponde à classificação em semi-acabado que recebe o nome de Naplex e, por último, (iv) um artigo com acabamento transparente, mas com um certo efeito graneado que ajuda a dissimular os defeitos, identificado no trabalho como Diamond.

O primeiro fator controlável é o método de classificação que difere pelo tempo disponível para a operação. São feitos experimentos usando dois métodos: estático e dinâmico. No primeiro, os couros são classificados no próprio *pallet* e o ritmo do trabalho é marcado pelo classificador, existindo mais tempo para realizar a operação. Outro fator importante é que a distância do classificador ao couro e a iluminação vai mudando à medida que varia a altura do *pallet*. No método dinâmico a classificação é realizada em uma esteira alimentada por uma máquina de enxugar, portanto, existe um ritmo de classificação que não depende do operador. A altura e iluminação são constantes.

O segundo fator é o classificador. A idéia de usar o classificador é para analisar como eles se comportam frente a cada método, origem de matéria prima e artigo final. Pode acontecer que seu desempenho seja variável em função do método de trabalho a escolher. Utilizando isto como base se define o treinamento ou até a possível substituição de algum dos classificadores.

O terceiro fator é a umidade. Ela afeta fundamentalmente a visualização dos defeitos. Trabalham-se três umidades: o couro molhado antes de ser enxugado, o couro enxuto, chamado normal e, por último, o couro rebaixado que é o estágio onde ele está mais seco. Este fator também foi trabalhado no modelo de regressão usado no diagnóstico. Ver 3.2.2.2.

A procedência é o quarto fator, também estudado no modelo de regressão visto em 3.2.2.2. Como já comentado na descrição do processo, existem diferentes defeitos associados a cada região. Defeitos que podem ser vistos e identificados de forma mais fácil no processo inicial. Se for necessário um método mais cuidadoso e por sua vez custoso para classificar couros de procedências críticas, ele estaria sendo justificado. Por outra parte, se não for necessário para algumas procedências, estaria sendo evitado um método de maior custo e complexidade.

O quinto fator é o tipo de condição do produto antes do curtimento, dividido ou integral. Quando o couro é curtido, após, dividido gera um couro mais “aberto” e por isso pretende-se testar se isto tem alguma influência na visualização dos defeitos. Este fator controlável é testado em apenas um dos artigos.

Dos cinco fatores controláveis, dois são fatores indicativos: procedência da matéria-prima e tipo de condição do produto antes do curtimento e três correspondem a fatores que se podem alterar no processo: classificador, método de classificação e umidade. A otimização se busca sobre os três últimos já que os primeiros constituem dados do sistema.

Como se trata de variáveis qualitativas adotaram-se os seguintes critérios para os valores codificados: (i) para o classificador aumenta o valor em função de sua experiência e (ii) para a umidade aumenta o valor à medida que ela baixa. A umidade poderia ter sido quantificada, mas optou-se por trabalhá-la qualitativamente por dois motivos: primeiro, pela dificuldade de medição, já que os instrumentos disponíveis apresentam uma margem de erro muito grande, e segundo pela praticidade, já que visualmente é suficiente para determinar seu estado.

Na Tabela 4.1 apresentam-se os níveis de cada um dos fatores controláveis.

Tabela 4.1 – Fatores controláveis, níveis reais e codificados

FATORES CONTROLÁVEIS	NÚMERO DE NÍVEIS		NÍVEIS REAIS			NÍVEIS CODIFICADOS		
	CL	3	Adelmir	Geraldo	Valdecir	-1	0	1
Classificador	CL	3	Adelmir	Geraldo	Valdecir	-1	0	1
Umidade	UM	3	molhado	normal	seco	-1	0	1
Método	TE	2	estático	dinâmico	_____	-1	1	___
Procedência	PD	2	Brasil central	Brasil norte	_____	-1	1	___
Tipo de condição de produto	PR	2	dividido	integral	_____	-1	1	___

Os quatro artigos definidos para cada um dos experimentos são tratados como experimentos individuais. O objetivo deste enfoque foi dar maior praticidade aos experimentos sem perder a possibilidade de analisar os artigos em forma individual ou em conjunto a partir das conclusões gerais. Outra vantagem desta análise é excluir o efeito do tempo transcorrido que representa um ruído importante no sistema. Como cada um dos artigos demandou por volta de três semanas para ser realizado, corria-se o risco ao analisar o conjunto diretamente, no caso de ocorrer mudanças de critério por parte dos classificadores que acabassem tendo uma influência importante nos resultados independente do método de trabalho.

Esta hipótese não era improvável porque ao longo dos trabalhos de acompanhamento do Sistema de Medição pode-se comprovar que existia uma certa variação de critério em função do tempo transcorrido, tanto maior quanto menos treinamento se aplicava aos operadores. Ver Seção 3.5.1 e Figura 3.3.

4.1.2. Variáveis de resposta

As variáveis de resposta a serem analisadas e os resultados do Projeto de Experimentos para posterior otimização são quatro, conforme o seguinte:

- Média: Calculada a partir da soma das diferenças de critério. Nominal é melhor, o alvo é zero. Ela indica para que lado o classificador está trabalhando, mas não é suficiente para definir o critério.
- Desvio padrão: calculado a partir das diferenças de critério entre cada estágio. A variabilidade presente em cada combinação de fatores controláveis reflete sua sensibilidade frente ao resultado esperado.
- Probabilidade de classificação errada: calculada sobre o total de peles do lote indicando percentual de couros ruins que foram considerados como bons.
- Probabilidade de alarme falso: calculada sobre o total de peles do lote indicando percentual de couros bons que foram considerados como ruins.

As últimas três variáveis de resposta são do tipo “menor é melhor”.

Na Tabela 4.2 apresenta-se como exemplo uma parte da planilha utilizada na coleta de dados, com apenas um nível para cada fator controlável, para ilustrar como será realizado o cálculo das variáveis de resposta.

Tabela 4.2 – Planilha de coleta de dados para o cálculo das variáveis de resposta

Valor ref BLUE	Valor ref SEMI	Valor ref ACAB		PROCED.	Pele Nro	ARTIGO: NUBUCK BEGE UMIDADE: MOLHADO MÉTODO: ESTÁTICO CLASSIFICADOR: VALDECIR			
		valor	Y4			valor	Y1	Y2	Y3
0	6	6	0	BRASIL CENTRAL	1	6	6	0	0
6	6	6	0		2	8	2	2	2
10	10	10	0		3	10	0	0	0
8	10	10	0		4	6	-2	-4	-4
10	10	10	0		5	8	-2	-2	-2
6	10	0	-10		6	8	2	-2	8
8	8	8	0		7	6	-2	-2	-2
0	10	6	-4		8	8	8	-2	2
6	10	8	-2		9	6	0	-4	-2
10	10	10	0		10	8	-2	-2	-2
8	10	8	-2		11	8	0	-2	0
0	6	0	-6		12	8	8	2	8
0	10	6	-4		13	8	8	-2	2
6	8	8	0		14	6	0	-2	-2
10	10	10	0		15	6	-4	-4	-4
8	8	8	0		16	6	-2	-2	-2
10	10	10	0		17	6	-4	-4	-4
6	10	8	-2		18	8	2	-2	0
8	10	10	0		19	6	-2	-4	-4
0	6	6	0		20	6	6	0	0
6	8,9	7,4	-1,5	MEDIA TOTAL		7,1	1,1	-1,8	-0,3
			2,7	DESVIO PADRÃO			4,0	1,8	3,5
			10	% PROBABILIDADE (CE)			25	0	10
			0	% PROBABILIDADE (AF)			0	0	0

As colunas trazem dois tipos de informação: as que se identificam como valor são os resultados tanto de referência, *wet blue*, semi-acabado e acabado, quanto às do próprio classificador objeto do experimento. O resto indica o resultado da diferença entre dois resultados e aparecem identificadas como Y_1 , Y_2 , Y_3 e Y_4 que respectivamente significam a diferença entre Classificador de *wet blue* e Supervisor de *wet blue* (Y_1), entre Classificador de *wet blue* e Classificador de semi (Y_2), entre Classificador de *wet blue* e Classificador de acabado (Y_3) e finalmente entre Classificador de semi e Classificador de acabado (Y_4).

A análise das diferenças é feita pele a pele e os fatores controláveis encontram-se nas colunas, artigo, umidade, tempo e classificador e nas linhas procedência ou condição do couro antes do processo de curtimento. Na Tabela 4.1 só aparece um grupo de variáveis correspondente a um artigo, uma umidade, um tempo e um classificador específico. Existem

em total, 36 combinações possíveis para cada variável de resposta de cada artigo, resultado de 3 umidades, 3 classificadores, 2 tempos e 2 procedências.

As últimas quatro linhas da tabela sinalizam o resultado das variáveis de resposta. As primeiras duas: média e desvio padrão, calculadas a partir da diferença de classificação de cada uma das peles, as duas últimas, probabilidade de classificação errada e alarme falso, trazem os resultados do conjunto das 20 peles de cada procedência ou condição do produto antes do curtimento.

A planilha de coleta completa para o artigo Nubuck Chocolate apresenta-se no Apêndice B, Figura B-1.

É importante entender que pode haver um erro de classificação por parte do Supervisor, mas como é necessário partir de um valor de referência, assume-se que a classificação feita pelo Supervisor é a melhor possível. Quando este resultado não é verdadeiro é por causa de falhas no critério, sistema de visualização utilizado pelo Supervisor ou pela subjetividade característica deste processo.

A explicação do porque medir os quatro estágios e qual sua contribuição na análise é a seguinte:

- 1 - Classificadores de *wet blue versus* Supervisor: permite avaliar as diferenças de critério entre ambos independente do resultado no produto final em função de cada uma das variáveis do experimento;
- 2 - Classificadores de *wet blue versus* Classificador em semi-acabado: serve para entender em que escala o processo de semi-acabado alterou a aparência dos couros e também a diferença do critério entre ambos. Não adquire a importância do resultado final, mas serve como comparativo entre esses dois estágios;
- 3 - Classificadores de *wet blue versus* Classificador em acabado: é o resultado definitivo; aquele que permite definir qual foi o método que se aproximou mais ao ideal de acerto no produto final;
- 4 - Classificador de semi-acabado *versus* Classificador em acabado: junto ao ponto 2 permite avaliar o impacto de classificar neste estágio e verificar se essa operação agrega ou não valor ao processo de classificação.

4.1.3 Fatores de ruído

Os fatores de ruído presentes nesta série de experimentos são fundamentalmente cinco que se explicam na seqüência:

O primeiro deles é a pressão que se exerce sobre o classificador de *wet blue* tanto direta como indiretamente. Fatores como falta de matéria-prima ou elevado índice de descartes no final, por erros de classificação, podem causar que os classificadores sejam mais liberais ou conservadores. Não existe uma maneira clara de contornar este problema. O que se busca nos trabalhos é ser o mais neutro possível na hora de fazer os experimentos. Este fator inclusive tem efeito até no próprio Supervisor de classificação.

Como no ponto anterior, existe pressão sobre o classificador em semi-acabado. Este estágio, por natureza, é muito mais conservador que o anterior porque o resultado está mais visível e ante a dúvida sempre é melhor não arriscar. As duas opções serão testadas em classificar e não classificar. A pessoa não estará sabendo que os couros refugados serão acabados junto com o lote e, portanto, nada influenciará seu critério.

O estado em que se encontra a matéria prima, talvez seja um dos fatores de ruído mais importante. Por momentos, os couros classificados na origem chegam menos ou mais forçados em termos de sua seleção. Isso ficou demonstrado pela enorme variabilidade presente no diagnóstico realizado (ver Seção 3.2.2.2). Para trabalhar este fator de ruído, se pré-classificam as peles antes de cada experiência procurando que todos os testes sejam balanceados na sua composição tendo um certo equilíbrio entre couros melhores e piores dentro de cada seleção.

O critério de avaliação final também é um fator de ruído do mesmo modo que os outros estágios de classificação. Por se tratar de experimentos simultâneos não deve existir um efeito importante, mas na prática ele acontece com a produção normal.

Finalmente, o processo de produção do artigo também é um fator de ruído a considerar. Não será de grande importância nos experimentos porque os lotes que constituem o Projeto de Experimentos passaram ao mesmo tempo por cada um dos processos. As diferentes variáveis de resposta serão medidas sobre cada uma das peles e os fatores controláveis também se aplicarão em cada uma delas. Na produção normal, um couro mais ou menos coberto, mais ou menos gravado ou até cujo processo de lixamento seja diferente, podem transformar uma pele que inicialmente deveria ser apta em um refugio e vice-versa.

Ao longo dos experimentos serão mantidos constantes o classificador em semi e o classificador final do produto acabado.

4.1.4 Execução dos experimentos

A matéria-prima utilizada em cada uma das experiências é pré-classificada pelo Supervisor do setor para garantir que haverá peles erradas no lote e verificar assim sua detecção em função do método, umidade e classificador. O estágio de pré-classificação é estático e com umidade normal.

Existem 36 combinações para cada tipo de artigo que estão dadas por 2 procedências, 3 umidades, 2 métodos e 3 classificadores. Utilizam-se 20 peles para cada procedência, identificada uma a uma, dando um total de 40 peles por artigo sendo a seqüência de cada uma das 18 corridas aleatória. A composição dessas 20 peles é 5 peles no limite superior da classificação, 5 no centro, 5 no limite inferior e 5 que se consideram como classificação errada. Do total de 20 peles espera-se que as últimas 10, 50 % do total, representem a maior criticidade em termos de classificação.

Para cada um dos grupos de peles definiu-se uma nota: dez pontos para as melhores, oito para as intermédias, seis para as que se encontram no limite inferior e zero para as que estão com a classificação errada. Toda a análise foi realizada por diferença entre as notas de estágios sucessivos ou, para o caso de *wet blue*, mesmo estágio, Supervisor *versus* classificador.

Cada um dos artigos trabalha-se separadamente. Todos eles utilizam a seleção B, que apresentou-se como uma das mais críticas em termos de classificação errada (ver Figura 3.6). Os objetivos de fazer este tratamento são: por um lado facilitar o experimento, já que cada artigo é tratado como um experimento isolado, e segundo, é entender até onde o conhecimento do artigo influencia o percentual de erros. Em outras palavras, pode acontecer para determinados artigos acabados refugos por classificação errada que estão além do método ou estágio da matéria-prima e que variam em função de cada classificador, podendo existir, por exemplo, um classificador que normalmente é conservador, mas que para um certo artigo é mais exigente ou o contrário.

No Capítulo 3 analisou-se a influência positiva do treinamento direcionado conforme o tipo de defeitos para cada seleção, independente do artigo que ia ser produzido. (Ver Seção 3.5.1). Pelo descrito no parágrafo anterior será complementado esse treinamento

já específico associando ele a cada um dos artigos acabados que são objeto destes experimentos.

4.2 PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

O processo de otimização segue uma lógica de árvore, otimizando primeiro as quatro variáveis de resposta e continuando com a otimização dos estágios de classificação. Trata-se de um processo quantitativo e qualitativo. Quantitativo porque surge da aplicação dos modelos de regressão a cada variável de resposta de cada estágio e qualitativo porque no final se faz a escolha das variáveis que mais contribuem para minimizar o resultado da função-objetivo.

A função-objetivo está composta por cada um dos termos das variáveis dividido pela média dos experimentos a fim de parametrizar os valores e poder somar termos comparáveis. Como todos eles tem a característica de menor é melhor busca-se a combinação de níveis dos fatores que minimize o resultado da função-objetivo.

Uma vez que os modelos gerados do Projeto de experimentos são aplicados a cada uma das combinações, se escolhem aquelas que minimizam o valor total da função-objetivo. Como existem 36 combinações para cada um dos artigos se verificam quais são as componentes que participam nos 12 valores menores e estes passam a serem considerados os valores ótimos.

O critério utilizado para definir os pesos da função-objetivo apresenta-se na Tabela 4.3

Tabela 4.3 – Critérios de otimização das variáveis de resposta

VARIÁVEL DE RESPOSTA	PESO
Probabilidade de classificação errada	0,4
Probabilidade de alarme falso	0,25
Desvio padrão	0,2
Média	0,15

Como já foi explicado na Seção 3.4 o peso maior foi dado para a probabilidade de classificação errada porque é a que causa o maior prejuízo, seguida pela probabilidade de

alarme falso. No caso do desvio padrão e média foi priorizado o primeiro porque significa maior segurança no critério de classificação. O objetivo da média é que frente a situações semelhantes das outras variáveis se imponha aquela que tem uma tendência mais próxima ao valor de referência.

Uma vez criada a função-objetivo das variáveis, parte-se para os estágios de classificação. A ponderação utilizada apresenta-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Critérios de otimização dos estágios de classificação

ESTÁGIO DE CLASSIFICAÇÃO	PESO
Classificação do produto final	0,5
Classificação em wet blue	0,35
Classificação em semi-acabado	0,15

A classificação do produto final é priorizada porque é a definitiva. O classificador neste estágio é quem decide sobre os couros que vão para o cliente ou que se transformam em refugos. Na seqüência de importância segue a classificação no estágio de *wet blue* porque na medida que exista uma convergência entre os classificadores e o Supervisor, mais confiabilidade e estabilidade terá o processo de classificação e também mais fácil será a padronização de critérios para novos artigos. Por último, o peso dado à classificação em semi-acabado está associado à importância relativa deste processo que evita que couros com erros de classificação continuem no processo de produção.

As Equações utilizadas para definir a função-objetivo são apresentadas na seqüência:

$$Zi_{total} = 0,35 \times Zi_1 + 0,15 \times Zi_2 + 0,5 \times Zi_3 \quad (4.1)$$

$$Zi_1 = 0,15 \times \text{ABS}(\text{Média } i_1) + 0,2 \times \text{Desv pad } i_1 + 0,25 \times P(\text{AF}) i_1 + 0,40 \times P(\text{CE}) i_1 \quad (4.2)$$

$$\text{Média } i_1 \quad \text{Desv pad } i_1 \quad P(\text{AF}) i_1 \quad P(\text{CE}) i_1$$

$$Zi_2 = 0,15 \times \text{ABS}(\text{Média } i_2) + 0,2 \times \text{Desv pad } i_2 + 0,25 \times P(\text{AF}) i_2 + 0,40 \times P(\text{CE}) i_2 \quad (4.3)$$

$$\text{Média } i_2 \quad \text{Desv pad } i_2 \quad P(\text{AF}) i_2 \quad P(\text{CE}) i_2$$

$$Zi_3 = 0,15 \times \text{ABS}(\text{Média } i_3) + 0,2 \times \text{Desv pad } i_3 + 0,25 \times P(\text{AF}) i_3 + 0,40 \times P(\text{CE}) i_3 \quad (4.4)$$

$$\text{Média } i_3 \quad \text{Desv pad } i_3 \quad P(\text{AF}) i_3 \quad P(\text{CE}) i_3$$

Sendo os valores i de cada equação os valores individuais e os sub-índices: 1, 2 e 3 os correspondentes aos modelos de *wet blue* versus Supervisor, *wet blue* versus semi-acabado e *wet blue* versus acabado, conforme foi definido na Figura 4.2.

4.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Os resultados dos modelos de regressão de cada um dos quatro artigos testados conforme foi apresentado na Seção 4.1.1 são discutidos na seqüência.

4.3.1 Primeiro experimento no artigo Nubuck Chocolate

Este artigo apresenta pouco acabamento e como tratá-se de uma cor escura ajuda a dissimular os defeitos da pele melhor, tais como riscos e carrapatos. A principal característica deste produto é o efeito escrevente sobre o couro que se obtêm pelo processo de lixamento e re-tingimento.

Os resultados dos modelos de regressão para cada uma das quatro variáveis dos quatro estágios são apresentados nas Equações 4.5 a 4.16. Ver abreviatura dos fatores controláveis na Tabela 4.1. Os termos de cada modelo são significativos a um nível de significância menor ou igual a 0,05.

4.3.1.1 Classificação de *wet blue* versus Supervisor de classificação

$$\text{Média} = 0,45 - 0,56 \times \text{CL} - 0,35 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \quad (4.5)$$

$$R^2 = 0,33$$

$$\text{Desvio padrão} = 3,73 - 0,44 \times \text{UM} \quad (4.6)$$

$$R^2 = 0,15$$

$$\text{Prob (CE)} = 21,67 - 2,29 \times \text{UM} - 2,29 \times \text{CL} + 2,29 \times \text{PD} \times \text{TE} \times \text{CL} - 8,54 \times \text{UM}^2 \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0,51$$

$$\text{Prob (AF)} = 17,08 - 9,58 \times \text{UM}^2 \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0,33$$

Esta análise permite entender quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Supervisor e também entre eles mesmos. Um dos fatores que mais está presente em cada um dos modelos de regressão é a umidade da matéria prima que consta nas equações correspondentes ao desvio padrão, probabilidade de classificação errada e probabilidade de alarme falso.

O segundo elemento importante deste modelo de regressão é o classificador o que demonstra que o critério ainda tem uma importância maior que o próprio método de classificação. Isso é válido tanto para a Probabilidade de classificação errada como para a média.

Finalmente, existem duas interações de grau três que explicam a complexidade do sistema. A primeira, para a média que relaciona a umidade, tempo e classificador e, a segunda, para a Probabilidade de classificação errada que relaciona a procedência, tempo e classificador.

Por ser a Probabilidade de Classificação errada a variável de maior importância apresentam-se os gráficos de seus efeitos significativos nas Figuras 4.3 a,b,c e d.

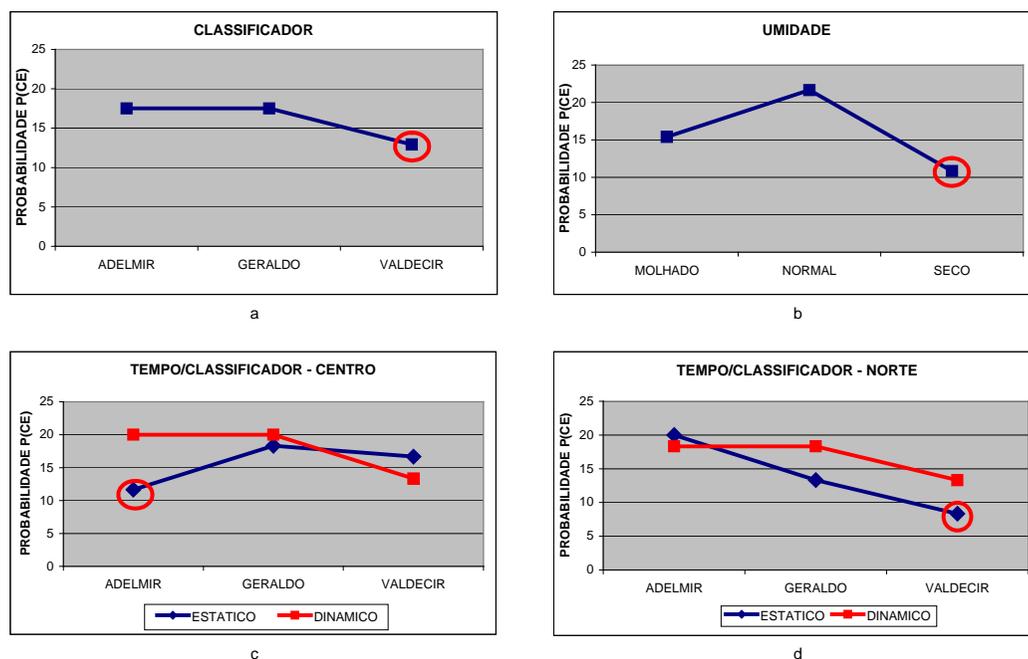


Figura 4.3 – Efeitos significativos da Probabilidade de Classificação errada para o estágio classificação *wet blue*

Os melhores resultados para a procedência Norte se conseguem com Valdecir, Figura 4.3 d, tanto com o método estático como dinâmico, entretanto, quando se classifica a procedência Central, Adelmir apresenta-se como a resposta ótima quanto classifica estático e Valdecir quando classifica dinâmico, como se observa na Figura 4.3 c.

Independente das procedências, métodos e umidades Valdecir como classificador é a resposta ótima, Figura 4.3 a, e independente dos classificadores e métodos. A umidade seca,

estágio rebaixado, é a melhor alternativa para reduzir os índices de Probabilidade de Classificação errada, Figura 4.3 b.

Os gráficos dos efeitos significativos das outras variáveis de resposta apresentam-se no Apêndice B, Figura B-4.

4.3.1.2 Classificação de *wet blue* versus Classificação de semi-acabado

$$\text{Média} = - 1,70 + 0,59 \times \text{PD} - 0,56 \times \text{CL} - 0,35 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0,54$$

$$\text{Desvio padrão} = 3,77 + 0,18 \times \text{PD} + 0,28 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \quad (4.10)$$

$$R^2 = 0,18$$

$$\text{Prob (CE)} = 1,67 + 2,22 \times \text{PD} - 0,42 \times \text{CL} - 0,42 \times \text{PD} \times \text{CL} + 0,83 \times \text{UM}^2 \quad (4.11)$$

$$R^2 = 0,86$$

$$\text{Prob (AF)} = 19,31 + 3,96 \times \text{CL} - 3,54 \times \text{PD} \times \text{UM} \times \text{TE} \quad (4.12)$$

$$R^2 = 0,20$$

Do conjunto dos quatro modelos de regressão para este estágio surgem como mais importantes a procedência da matéria-prima que está presente na média, desvio padrão e probabilidade de classificação errada e o classificador que aparece na média, probabilidade de classificação errada e probabilidade de alarme falso. Estes fatores afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* conforme os distintos métodos é o critério do classificador de semi-acabado.

Apresentam-se na Figura 4.4 a, b, c e d apenas os gráficos dos efeitos significativos da Probabilidade de Classificação errada

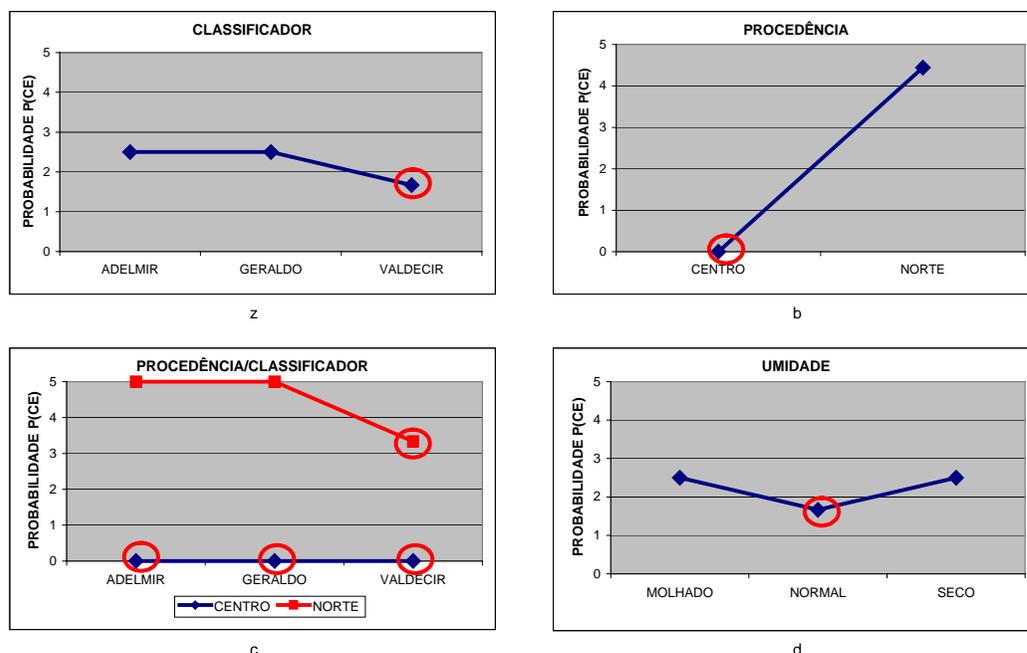


Figura 4.4 – Efeitos significativos da Probabilidade de Classificação errada para o estágio classificação semi-acabado

Quando classificada a procedência Brasil Central não houve influência de método, classificador ou umidade, sendo seus valores os ótimos já que o classificador semi não descartou nenhuma pele, Figura 4.4 b, entretanto, para a procedência do Norte sim houve peles desclassificadas em semi-acabado que tinham sido consideradas boas pelos classificadores de *wet blue*. Novamente Valdecir apresenta-se como o classificador com menor índice de Probabilidade de Classificação errada como se vê na Figura 4.4 c e Figura 4.4 a.

A umidade normal de classificação em *wet blue* apresenta-se como o nível ótimo para reduzir o índice de Probabilidade de classificação errada em semi. Figura 4.4 d.

Os gráficos dos efeitos significativos das outras variáveis de resposta apresentam-se no Apêndice B, Figura B-5.

4.3.1.3 Classificação de *wet blue* versus Classificação do produto final acabado

$$\text{Média} = - 2,75 - 0,56 \times \text{CL} - 0,35 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \quad (4.13)$$

$$R^2 = 0,33$$

$$\text{Desvio padrão} = 3,7 + 0,22 \times \text{CL} - 0,30 \times \text{PD} \times \text{UM} \times \text{TE} + 0,28 \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} - 0,49 \times \text{UM}^2 \quad (4.14)$$

$$R^2 = 0,43$$

$$\text{Prob (CE)} = 0 \quad (4.15)$$

$$\text{Prob (AF)} = 19,44 + 3,75 \times \text{CL} - 3,54 \times \text{PD} \times \text{UM} \times \text{TE} \quad (4.16)$$

$$R^2 = 0,18$$

Esta análise permite entender quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Classificador de acabado. Eles são o classificador e as interações triplas de umidade/tempo/classificador e procedência/umidade/tempo.

No estágio acabado não houve peles refugadas e por isso a probabilidade de classificação errada é igual a zero, sendo assim serão estudados em mais detalhe os efeitos significativos da Probabilidade de alarme falso apresentados na Figura 4.5 a, b e c.

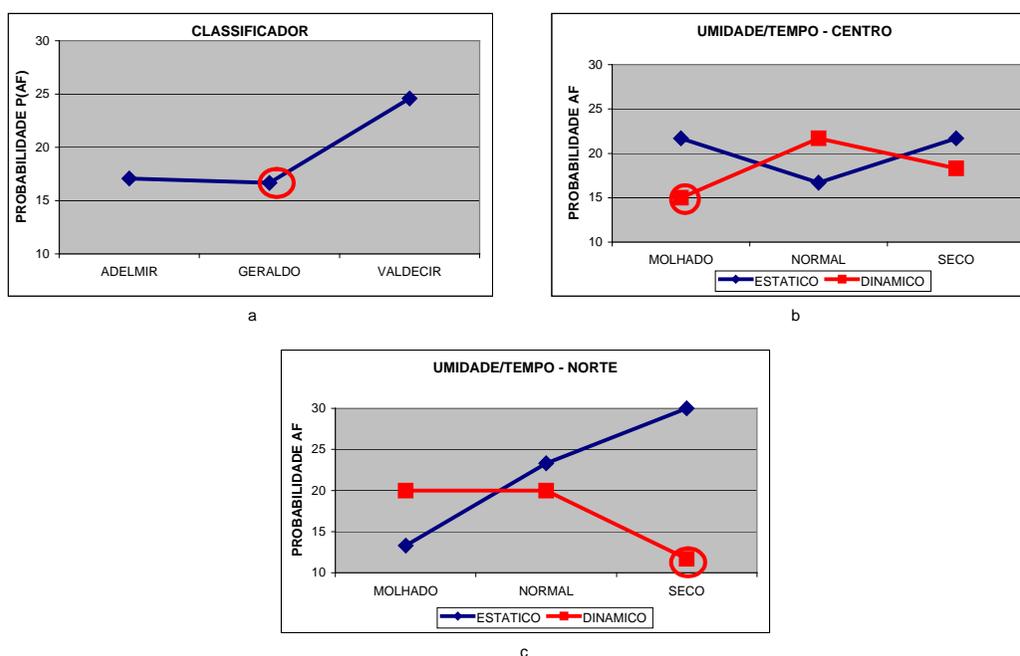


Figura 4.5 – Efeitos significativos da Probabilidade de alarme falso para o estágio classificação acabada

Na classificação final deste artigo não apareceu nenhuma pele com classificação errada o que pode indicar que a separação das peles utilizadas nos experimentos foi pouco exigente. Por esse mesmo motivo na classificação em semi-acabado apareceram poucos

refugos por classificação errada. Desta maneira resulta interessante analisar os efeitos do desperdício em *wet blue* que ficam evidentes na chance de ocorrência de alarme falso.

A umidade em combinação com a procedência e o método acusou como melhores resultados para o Norte o couro seco dinâmico, Figura 4.5 c e para o Centro o couro molhado dinâmico.

A preponderância do método dinâmico frente ao estático está relacionada ao fator visualização e que a separação das peles era pouco exigente. Quanto menor tempo de visualização existe, menor é a possibilidade de refugar o couro no estágio de *wet blue*.

Observando os gráficos das Figuras 4.5 b e 4.5 c explica-se mais uma vez o efeito negativo da melhor condição de visualização associada tanto ao método como a umidade e a procedência. Isto que é um paradoxo está fortemente relacionado ao critério conservador dos classificadores de *wet blue* que tem uma tendência muito forte a refugar couro quando estão na dúvida. Tanto o melhor resultado como o pior, foram obtidos com *wet blue* seco para a procedência norte, sendo a diferença o método escolhido para classificar. Todos os outros valores das combinações de umidades, métodos e procedência apresentar menor variação de resultados.

Finalmente a Figura 4.5 a apresenta resultados muito parelhos entre Adelmir e Geraldo deixando a Valdecir com um índice superior de Probabilidade de alarme falso.

Os gráficos dos efeitos significativos das outras variáveis de resposta apresentam-se no Apêndice B, Figura B-6.

4.3.1.4 Classificação do produto final acabado *versus* Classificação em semi-acabado

Concluindo, apresenta-se na Tabela 4.5 o comparativo entre classificar em semi-acabado e não classificar. Para estabelecer essa análise acrescenta-se uma nova variável Y_5 que se usa exclusivamente para comparar ambas alternativas não fazendo parte do Projeto de Experimentos porque ela não mede resultados ao variar as combinações dos Fatores controláveis. Ela permite calcular as diferenças de critério entre a classificação acabada e a classificação do Supervisor no estágio *wet blue* como se não existisse a classificação no

estágio semi-acabado. Por isto as peles que foram refugadas em wet blue pelo Supervisor não participam do cálculo.

A variável Y_4 é o resultado das diferenças da classificação acabada e a classificação semi. A média e desvio-padrão são calculados a partir dos resultados de cada uma das peles, excluindo as peles que no estágio de wet blue seriam refugadas. A probabilidade de classificação errada e alarme falso são calculados considerando as peles classificadas como aptas em semi-acabado e refugadas no final e as consideradas como refugo em semi-acabado que resultaram aptas no final.

A variável Y_5 é o resultado das diferenças da classificação acabada e a classificação no estágio de *wet blue*. A média, desvio padrão, probabilidade de classificação errada e alarme falso calculam-se da mesma forma que para Y_4 . O que se busca é simular a situação onde não existe a classificação em semi-acabado e comparar ambos resultados, Y_4 e Y_5 .

Os resultados mostraram que para a procedência Brasil Central a classificação em semi não alterou nada. Para os couros da região Norte houve um alarme falso de uma das peles que foi considerada apta na classificação do produto acabado.

Considerando os resultados deste experimento para este artigo, o processo de classificação em semi-acabado poderia ser eliminado. Como trata-se de uma decisão delicada é necessário repetir mais estudos para confirmar esta hipótese.

A justificativa de manter este estágio de classificação intermediária está baseada na possibilidade de antecipar um potencial refugo no final uma vez que o processo está concluído, só que ao mesmo tempo e dependendo do artigo o critério do classificador pode ser conservador gerando um refugo de uma pele em semi-acabado que poderia apresentar uma melhora no final.

Tabela 4.5—Análise do resultado da classificação em acabado comparando com a classificação em semi-acabado

PROCED	VALOR BLUE	VALOR SEMI	VALOR ACAB	Y4	Y5	VARIÁVEL DE RESPOSTA
BRASIL CENTRAL	8	10	10	0	2	
	6	10	10	0	4	
	8	10	10	0	2	
	10	8	10	2	0	
	10	8	10	2	0	
	6	8	8	0	2	
	0	10	10			
	8	6	10	4	2	
	10	10	10	0	0	
	8	10	6	-4	-2	
	8	10	10	0	2	
	6	6	10	4	4	
	0	6	8			
	10	8	8	0	-2	
	10	10	10	0	0	
	0	8	6			
	6	8	10	2	4	
	6	6	10	4	4	
0	10	8				
0	10	10				
6	8,6	9,2	0,9	1,5	média	
			2,1	2,1	desvio padrão	
			0	0	probab CE	
			0	0	probab AF	
BRASIL NORTE	8	6	10	4	2	
	6	6	10	4	4	
	10	10	10	0	0	
	6	10	10	0	4	
	10	10	8	-2	-2	
	0	6	10			
	10	10	10	0	0	
	0	6	10			
	0	6	8			
	10	10	10	0	0	
	6	0	10	10	4	
	0	6	6			
	0	8	8			
	8	6	8	2	0	
	6	10	10	0	4	
	8	10	10	0	2	
	6	8	8	0	2	
	10	8	10	2	0	
8	8	8	0	0		
8	10	10	0	2		
6	7,7	9,2	1,3	1,5	média	
			2,9	1,9	desvio padrão	
			0	0	probab CE	
			5	0	probab AF	

4.3.1.5 Otimização do conjunto de variáveis nos quatro estágios

O processo de otimização foi definido a partir dos modelos de regressão e os pesos estabelecidos para cada um dos fatores. O critério empregado não foi a melhor solução e sim a escolha do grupo dos melhores 12 valores que representa o terço melhor das 36 combinações possíveis para cada artigo. A otimização foi buscada sempre considerando as duas procedências por separado com o objetivo de definir o melhor método para cada uma delas.

A busca do ótimo global foi construída a partir da análise de cada variável em cada estágio seguindo uma lógica de árvore onde se parte do menor elemento para chegar à solução ótima considerando todos os fatores. Essa estrutura apresenta-se na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Otimização dos fatores controláveis para cada um dos estágios

				UMIDADE	TEMPO	CLASSIFICADOR	CENTRO	NORTE
NUBUCK CHOCOL	Y1 WET BLUE - WET BLUE	MÉDIA	CENTRO	MOLHADO/SECO	ESTÁTICO	GERALDO	OS MELHORES RESULTADOS SE CONSEGUEM COM VALDECIR, SECO E MÉTODO INDIFERENTE	OS MELHORES RESULTADOS SE CONSEGUEM COM VALDECIR, SECO E MÉTODO INDIFERENTE. NÃO EXISTEM DIFERÊNCIAS DEVIDAS A PROCEDÊNCIA
			NORTE	MOLHADO/SECO	ESTÁTICO	GERALDO		
		DESVIO PAD	CENTRO	SECO	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
			NORTE	SECO	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
		PROB (CE)	CENTRO	INDIFERENTE	ESTÁTICO	ADELMIR		
			NORTE	INDIFERENTE	ESTÁTICO	VALDECIR		
	PROB (AF)	CENTRO	SECO	INDIFERENTE	INDIFERENTE			
		NORTE	SECO	INDIFERENTE	INDIFERENTE			
	Y2 WET BLUE - SEMI	MÉDIA	CENTRO	SECO	DINÂMICO	ADELMIR	OS MELHORES RESULTADOS SE CONSEGUEM COM ADELMIR, NORMAL E MÉTODO INDIFERENTE. NO CENTRO SÃO OS VALORES MELHORES	OS MELHORES RESULTADOS SE CONSEGUEM COM VALDECIR, NORMAL E MÉTODO INDIFERENTE.
			NORTE	SECO	DINÂMICO	ADELMIR		
		DESVIO PAD	CENTRO	MOLHADO	ESTÁTICO	ADELMIR		
			NORTE	MOLHADO	ESTÁTICO	ADELMIR		
		PROB (CE)	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
	PROB (AF)	CENTRO	MOLHADO	DINÂMICO	INDIFERENTE			
		NORTE	SECO	DINÂMICO	INDIFERENTE			
	Y3 WET BLUE - ACAB	MÉDIA	CENTRO	SECO	DINÂMICO	ADELMIR	OS MELHORES RESULTADOS SE CONSEGUEM COM ADELMIR, MÉTODO INDIFERENTE E UMIDADE INDIFERENTE. OS VALORES DO NORTE SÃO UM POUCO MELHORES QUE OS DO CENTRO.	OS MELHORES RESULTADOS SE CONSEGUEM COM ADELMIR, MÉTODO INDIFERENTE E UMIDADE INDIFERENTE. OS VALORES DO NORTE SÃO UM POUCO MELHORES QUE OS DO CENTRO.
			NORTE	SECO	DINÂMICO	ADELMIR		
		DESVIO PAD	CENTRO	MOLHADO	ESTÁTICO	ADELMIR		
			NORTE	MOLHADO	ESTÁTICO	ADELMIR		
		PROB (CE)	CENTRO	0	0	0		
			NORTE	0	0	0		
	PROB (AF)	CENTRO	MOLHADO	DINÂMICO	INDIFERENTE			
		NORTE	MOLHADO	ESTÁTICO	INDIFERENTE			
Y4 ACAB - SEMI	TENDÊNCIA	CENTRO	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE PIOR QUE ACABADO E MELHOR QUE EM BLUE					
		NORTE	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE PIOR QUE ACABADO E MELHOR QUE EM BLUE					
	DESVIO PAD	CENTRO	O DESVIO FOI IGUAL CLASSIFICANDO EM SEMI OU NÃO CLASSIFICANDO					
		NORTE	O DESVIO FOI MAIOR CLASSIFICANDO EM SEMI QUE NÃO CLASSIFICANDO					
	PROB (CE)	CENTRO	A CLASSIF. SEMI NÃO DETECTOU DEFEITOS. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 0 %					
		NORTE	A CLASSIF. SEMI NÃO DETECTOU DEFEITOS. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 0 %					
PROB (AF)	CENTRO	A CLASSIFICAÇÃO EM SEMI NÃO CLASSIFICOU PELES BOAS COMO RUINS						
	NORTE	A CLASSIFICAÇÃO EM SEMI CLASSIFICOU UMA PELE BOA COMO RUIN. P(AF) = 5 %						

Os resultados da função-objetivo para cada uma das combinações apresentam-se na Tabela 4.7. Os valores hachurados são os 12 menores valores do total das combinações e que permitem chegar às conclusões dos valores ótimos.

Os valores codificados de cada um dos fatores controláveis se podem achar na Tabela 4.1.

Considerando os critérios de otimização definidos em 4.2 os melhores resultados para este artigo se conseguem no estágio rebaixado, umidade seca, com o classificador Adelmir e tempo indiferente, tanto para a procedência Brasil Central como Brasil Norte.

Tabela 4.7 – Otimização dos fatores controláveis para cada um dos estágios

PROCED	UMIDADE	MÉTODO	CLASSIF	$Z i_{total}$
-1	-1	-1	-1	0,98
-1	-1	-1	1	1,12
-1	-1	-1	0	1,00
-1	-1	1	-1	0,86
-1	-1	1	1	0,86
-1	-1	1	0	0,86
-1	0	-1	-1	1,03
-1	0	-1	1	1,11
-1	0	-1	0	1,05
-1	0	1	-1	1,07
-1	0	1	1	1,07
-1	0	1	0	1,05
-1	1	-1	-1	0,76
-1	1	-1	1	0,84
-1	1	-1	0	0,80
-1	1	1	-1	0,97
-1	1	1	1	1,02
-1	1	1	0	0,94
1	-1	-1	-1	1,01
1	-1	-1	1	1,02
1	-1	-1	0	0,96
1	-1	1	-1	1,09
1	-1	1	1	1,12
1	-1	1	0	1,10
1	0	-1	-1	1,20
1	0	-1	1	1,15
1	0	-1	0	1,16
1	0	1	-1	1,16
1	0	1	1	1,19
1	0	1	0	1,16
1	1	-1	-1	1,07
1	1	-1	1	1,02
1	1	-1	0	1,05
1	1	1	-1	0,91
1	1	1	1	1,01
1	1	1	0	0,91

Com respeito à definição do melhor classificador, deve-se observar que é o classificador que apresenta o maior desvio padrão, mas que foi favorecido na otimização porque sua probabilidade de alarme falso foi muito baixa e sua média ficou próxima do resultado final. Tudo isto provavelmente porque os couros escolhidos na pré-seleção estavam bons demais considerando o resultado final.

O classificador tido como o mais experiente ficou muito próximo do Supervisor, o qual é lógico e mostra que as variações encontradas neste artigo devem-se mais ao critério que ao próprio sistema de classificação, mas que diminuem quando o couro se classifica rebaixado, umidade seca, fazendo o sistema mais robusto.

O método de classificação ficou como um fator indiferente e, portanto, pode ser ignorado partindo para o sistema mais simples e econômico. A procedência só se mostrou significativa na classificação em semi-acabado onde os couros do Norte ficaram muito mais próximos do critério dos classificadores de blue que os couros do Centro, provavelmente pelo tipo de defeitos. Isto deverá ser comprovado com um novo estudo.

Os três artigos que são apresentados na seqüência são analisados da mesma forma que este primeiro experimento. Para simplificar o texto só se descrevem os modelos e comentários finais sobre os valores ótimos.

4.3.2 Segundo experimento no artigo Naplex preto

Este artigo apresenta um acabamento muito transparente que revela os defeitos na pele tal como eles se apresentam no estágio semi-acabado. A principal característica deste produto é o efeito de queima na produção do calçado que gera um brilho particular quando ele é polido.

Os resultados dos modelos de regressão para cada uma das variáveis apresentam-se na seqüência nas Equações 4.17 a 4.28. Os termos de cada modelo são significativos a um nível de significância menor ou igual a 0,05.

4.3.2.1 Classificação de *wet blue* versus Supervisor de classificação

$$\begin{aligned} \text{Média} = & 1,43 + 0,41 \times \text{PD} - 0,31 \times \text{UM} + 0,19 \times \text{CL} - 0,22 \times \text{PD} \times \text{UM} - 0,19 \times \text{PD} \times \text{CL} \\ & + 0,21 \times \text{PD} \times \text{UM} \times \text{CL} - 0,36 \times \text{UM}^2 \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$R^2 = 0,71$$

$$\begin{aligned} \text{Desvio padrão} = & 3,46 + 0,33 \times \text{PD} - 0,17 \times \text{TE} - 0,30 \times \text{CL} - 0,28 \times \text{PD} \times \text{CL} \\ & - 0,23 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$R^2 = 0,61$$

$$\text{Prob (CE)} = 18,33 + 3,33 \times \text{PD} + 3,13 \times \text{CL} - 1,88 \times \text{PD} \times \text{CL} \quad (4.19)$$

$$R^2 = 0,53$$

$$\begin{aligned} \text{Prob (AF)} = & 2,08 + 1,25 \times \text{UM} - 0,97 \times \text{TE} - 2,29 \times \text{CL} - 1,25 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \\ & + 2,5 \times \text{UM}^2 \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$R^2 = 0,58$$

Esta análise permite identificar quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Supervisor e também entre eles

próprios. O fator de maior importância para este artigo é o classificador. A umidade aparece como importante na média e probabilidade de alarme falso, e o tempo no desvio padrão e probabilidade de alarme falso.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-7.

4.3.2.2 Classificação de *wet blue* versus Classificação de semi-acabado

$$\begin{aligned} \text{Média} = & 1,03 - 0,89 \times \text{PD} - 0,31 \times \text{UM} + 0,19 \times \text{CL} - 0,22 \times \text{PD} \times \text{UM} - 0,19 \times \text{PD} \times \text{CL} \\ & + 0,21 \times \text{PD} \times \text{UM} \times \text{CL} - 0,36 \times \text{UM}^2 \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$R^2 = 0,87$$

$$\begin{aligned} \text{Desvio padrão} = & 3,33 - 0,67 \times \text{PD} - 0,41 \times \text{CL} + 0,20 \times \text{PD} \times \text{TE} \\ & - 0,26 \text{PD} \times \text{TE} \times \text{CL} \end{aligned} \quad (4.22)$$

$$R^2 = 0,82$$

$$\text{Prob (CE)} = 14,17 - 8,68 \times \text{PD} - 1,98 \times \text{UM} + 1,66 \times \text{CL} - 3,65 \times \text{UM}^2 \quad (4.23)$$

$$R^2 = 0,86$$

$$\text{Prob (AF)} = 5,55 - 3,54 \times \text{CL} + 1,39 \times \text{PD} \times \text{TE} \quad (4.24)$$

$$R^2 = 0,42$$

A análise anterior nos mostra quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Classificador de semi-acabado. Eles são a procedência da matéria prima que aparece na média, desvio padrão e probabilidade de classificação errada e o classificador que aparece em todas as variáveis de resposta.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-8.

4.3.2.3 Classificação de *wet blue* versus Classificação do produto final acabado

$$\begin{aligned} \text{Média} = & 0,58 + 0,56 \times \text{PD} - 0,31 \times \text{UM} + 0,19 \times \text{CL} - 0,22 \times \text{PD} \times \text{UM} - 0,19 \times \text{PD} \times \text{CL} \\ & + 0,21 \times \text{PD} \times \text{UM} \times \text{CL} - 0,36 \times \text{UM}^2 \end{aligned} \quad (4.25)$$

$$R^2 = 0,78$$

$$\text{Desvio padrão} = 3,49 - 0,48 \times \text{PD} - 0,42 \times \text{CL} \quad (4.26)$$

$$R^2 = 0,67$$

$$\text{Prob (CE)} = 8,06 + 3,06 \times \text{PD} + 1,04 \times \text{CL} + 1,04 \times \text{PD} \times \text{CL} \quad (4.27)$$

$$R^2 = 0,69$$

$$\text{Prob (AF)} = 8,75 - 5,69 \times \text{PD} - 4,38 \times \text{CL} + 1,88 \times \text{PD} \times \text{CL} \quad (4.28)$$

$$R^2 = 0,68$$

Esta análise serve para identificar quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Classificador de acabado. Os fatores mais importantes são a procedência e o classificador e a interação entre ambas que aparecem em todas as variáveis de resposta.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-9.

4.3.2.4 Classificação do produto final acabado *versus* Classificação em semi-acabado

Concluindo, apresenta-se na Tabela 4.8 o comparativo entre classificar em semi-acabado e não classificar partindo da classificação original em *wet blue* sem ter a oportunidade de detectar refugos em semi-acabado por classificação errada no estágio de *wet blue*.

Tabela 4.8—Análise do resultado da classificação em acabado com e sem classificação em semi-acabado

VARIÁVEL DE RESPOSTA	CENTRO		NORTE	
	Y4	Y5	Y4	Y5
MÉDIA	0,9	-1,1	-0,4	-0,4
DESVIO PADRÃO	3,3	2,8	1,5	2,3
PROBABILIDADE (CE)	5	5	0	5
PROBABILIDADE (AF)	15	0	0	0

Conforme se apresentam os resultados é necessário aprimorar o critério de classificação em semi-acabado e repetir o estudo novamente antes de tomar uma decisão. Houve uma diferença importante entre ambas procedências. Nos couros do Norte houve menos erros, o que indica que para este tipo de material e artigo acabado conseguem-se alinhar os critérios melhor. Por isso é que resulta importante repetir este experimento já corrigindo os critérios.

4.3.2.5 Otimização do conjunto de variáveis nos quatro estágios

Considerando os critérios de otimização definidos na Seção 4.2, os melhores resultados se conseguem no estágio seco, classificando dinâmico e com o classificador Valdecir tanto para a procedência Brasil Central como Norte. Nos modelos de regressão a procedência aparece como fator significativo, mas no momento de otimizar verifica-se que a escolha da umidade, tempo e classificador deixam o sistema suficientemente robusto para ter os melhores resultados, independente do tipo de defeitos de matéria-prima. Isto também pode

ocorrer porque o acabamento deste artigo consegue dissimular os defeitos característicos de cada região deixando um resultado mais parelho aos olhos do classificador do produto final.

Classificar o couro rebaixado, umidade seca, aparece como o método mais robusto variando menos quando se modificam as outras variáveis. Porém, o molhado, couro antes de enxugar, alcança os melhores e os piores resultados conforme a combinação dos fatores controláveis.

Para este artigo, observa-se no desvio padrão uma interação importante com o classificador, sendo Valdecir o melhor e Adelmir o pior, o que significa que pode estar existindo um problema de critério no momento de classificar no estágio de *wet blue*. Isto já tinha sido visto na análise do sistema de medição.

A estrutura de análise de cada variável em cada estágio apresenta-se no Apêndice C, Figura C-16.

4.3.3 Terceiro experimento no artigo Diamond preto

Este artigo apresenta um acabamento transparente e um amaciamento que se realiza em um tambor giratório seco que provoca um certo efeito graneado nos couros que ajuda a dissimular os defeitos. Este produto em particular é usado na fabricação de luvas de baseball.

Os resultados dos modelos de regressão para cada uma das variáveis são apresentados nas Equações 4.29 a 4.40. Os termos de cada modelo são significativos a um nível de significância menor ou igual a 0,05.

4.3.3.1 Classificação de *wet blue* versus Supervisor de classificação

$$\text{Média} = 0,675 - 0,55 \times \text{PD} - 0,26 \times \text{CL} - 0,46 \times \text{CL}^2 \quad (4.29)$$

$$R^2 = 0,60$$

$$\text{Desvio padrão} = 3,31 - 0,28 \times \text{UM} - 0,58 \times \text{CL} \quad (4.30)$$

$$R^2 = 0,57$$

$$\begin{aligned} \text{Prob (CE)} = & 17,08 - 1,94 \times \text{PD} - 3,96 \times \text{CL} - 2,29 \times \text{PD} \times \text{UM} + 2,19 \times \text{UM} \times \text{CL} + \\ & 1,46 \times \text{TE} \times \text{CL} - 2,29 \times \text{CL}^2 \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$R^2 = 0,74$$

$$\text{Prob (AF)} = 5,97 + 3,19 \times \text{PD} - 1,46 \times \text{UM} - 2,29 \times \text{PD} \times \text{CL} + 2,5 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \quad (4.32)$$

$$R^2 = 0,62$$

Esta análise contribui com a identificação dos fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Supervisor e também entre eles próprios. O fator de maior impacto para este artigo é o classificador.

O segundo elemento importante deste modelo de regressão é a procedência, mostrando a influência que o tipo de defeitos associados a ela exerce sobre o critério de cada classificador.

Nestes modelos aparece duas vezes o classificador como termo quadrático, na média e na probabilidade de classificação errada, sinalizando que por um lado é tão negativa a falta de experiência como o excesso, principalmente porque tende a aumentar a probabilidade de alarme falso. Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-10.

4.3.3.2 Classificação de *wet blue* versus Classificação de semi-acabado

$$\text{Média} = -1,43 + 0,25 \times \text{PD} - 0,26 \times \text{CL} - 0,46 \times \text{CL}^2 \quad (4.33)$$

$$R^2 = 0,37$$

$$\begin{aligned} \text{Desvio padrão} = & 2,80 + 0,63 \times \text{PD} - 0,12 \times \text{TE} + 0,21 \times \text{PD} \times \text{UM} - 0,27 \times \text{PD} \times \text{CL} \\ & - 0,16 \times \text{UM} \times \text{TE} + 0,33 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \end{aligned} \quad (4.34)$$

$$R^2 = 0,87$$

$$\text{Prob (CE)} = 3,47 + 3,47 \times \text{PD} - 0,83 \times \text{CL} - 0,83 \times \text{PD} \times \text{CL} \quad (4.35)$$

$$R^2 = 0,86$$

$$\begin{aligned} \text{Prob (AF)} = & 13,89 + 3,61 \times \text{PD} + 2,08 \times \text{CL} - 3,33 \times \text{PD} \times \text{CL} \\ & + 3,44 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \end{aligned} \quad (4.36)$$

$$R^2 = 0,54$$

Esta análise serve para verificar o efeito dos fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Classificador de semi-acabado. Eles são a procedência da matéria prima que está presente nas quatro respostas e o classificador que unicamente não é significativo no desvio padrão.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-11.

4.3.3.3 Classificação de *wet blue* versus Classificação do produto final acabado

$$\text{Média} = -0,43 - 0,25 \times \text{PD} - 0,26 \times \text{CL} - 0,46 \times \text{CL}^2 \quad (4.37)$$

$$R^2 = 0,37$$

$$\text{Desvio padrão} = 3,18 + 0,21 \times \text{PD} + 0,30 \times \text{PD} \times \text{UM} + 0,43 \times \text{CL}^2 \quad (4.38)$$

$$R^2 = 0,46$$

$$\begin{aligned} \text{Prob (CE)} = & 9,44 + 0,83 \times \text{UM} + 0,83 \times \text{PD} \times \text{UM} + 1,25 \times \text{TE} \times \text{CL} \\ & + 1,25 \text{PD} \times \text{TE} \times \text{CL} - 1,67 \times \text{UM}^2 + 2,08 \times \text{CL}^2 \end{aligned} \quad (4.39)$$

$$R^2 = 0,56$$

$$\begin{aligned} \text{Prob (AF)} = & 8,75 + 2,36 \times \text{PD} + 3,33 \times \text{CL} + 2,08 \times \text{PD} \times \text{UM} - 2,08 \times \text{PD} \times \text{CL} \\ & + 2,19 \times \text{UM} \times \text{CL} + 2,19 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} + 5,83 \times \text{CL}^2 \end{aligned} \quad (4.40)$$

$$R^2 = 0,68$$

Esta análise descreve quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Classificador de acabado.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-12.

4.3.3.4 Classificação do produto final acabado versus Classificação em semi-acabado

Para terminar, apresenta-se na Tabela 4.9 o comparativo entre classificar em semi-acabado e não classificar.

Tabela 4.9—Análise do resultado da classificação em acabado com e sem classificação em semi-acabado

VARIÁVEL DE RESPOSTA	CENTRO		NORTE	
	Y4	Y5	Y4	Y5
MÉDIA	-1,1	0,3	-0,7	-0,7
DESVIO PADRÃO	2,6	2	2	2,7
PROBABILIDADE (CE)	5	5	5	10
PROBABILIDADE (AF)	0	0	0	0

Os resultados apresentaram que para a procedência Brasil Central a classificação em semi é neutra. Entretanto, para os couros da região Norte teve uma contribuição positiva porque detectou uma pele errada que de outra forma houvesse sido considerada apta.

4.3.3.5 Otimização do conjunto de variáveis nos quatro estágios

Considerando os critérios de otimização definidos em 4.2 os melhores resultados se conseguem no estágio rebaixado, umidade seca, para os couros do Brasil Central e molhados

para os couros do Norte. Para os couros do Centro o melhor método foi dinâmico e Adelmir classificando; para os do Norte foi Geraldo e não houve um método que se haja mostrado como melhor.

As considerações anteriores deverão ser verificadas com uma nova série de experimentos principalmente para verificar até que ponto, ter melhores condições de visualização não acaba afetando negativamente o erro (aumento de Probabilidade de AF). Isso pode explicar os melhores resultados com o método, dinâmico e molhado.

Para este artigo, tanto o classificador tido como o mais experiente quanto o Supervisor ficaram piores na avaliação final o que significa que possuem um critério mais exigente que o necessário conforme visto com os resultados finais.

A estrutura de análise de cada variável em cada estágio apresenta-se no Apêndice C, Figura C-17.

4.3.4 Quarto experimento no artigo Nubuck Bege

É o mesmo produto descrito na Seção 4.2.1. Porém, em uma cor mais clara que apresenta maiores efeitos de contraste nos defeitos. Neste artigo foi trocada uma das variáveis de entrada, origem da matéria-prima, pelo tipo de condição do produto antes do curtimento.

O motivo de ter incorporado uma nova variável em substituição da procedência foi porque os dados que se tinham consideraram-se suficientes e se pretendeu aproveitar o experimento fixando um artigo e colocando como variável a condição do couro antes de entrar no processo de curtimento.

Os resultados dos modelos de regressão para cada uma das variáveis apresentam-se nas Equações 4.41 a 4.52. Os termos de cada modelo são significativos a um nível de significância menor ou igual a 0,05.

4.3.4.1 Classificação de *wet blue* versus Supervisor de classificação

$$\text{Média} = 1,56 + 0,73 \times \text{PR} - 0,48 \times \text{PR} \times \text{UM} - 1,50 \times \text{UM}^2 - 0,96 \times \text{CL}^2 \quad (4.41)$$

$$R^2 = 0,77$$

$$\text{Desvio padrão} = 3,03 - 0,26 \times \text{PR} \times \text{CL} + 0,23 \times \text{PR} \times \text{UM} \times \text{TE} \quad (4.42)$$

$$R^2 = 0,32$$

$$\text{Prob (CE)} = 19,17 + 3,75 \times \text{PR} - 1,88 \times \text{UM} - 9,38 \times \text{UM}^2 - 3,75 \times \text{CL}^2 \quad (4.43)$$

$$R^2 = 0,73$$

$$\text{Prob (AF)} = - 4,44 \times \text{PR} + 7,75 \times \text{UM}^2 + 4,62 \times \text{CL}^2 \quad (4.44)$$

$$R^2 = 0,98$$

Esta análise permite identificar quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Supervisor e também entre eles próprios. A condição do couro antes do processo de curtimento, umidade e classificador, estes últimos elevados ao quadrado, são os mais importantes.

Os valores de R^2 de um modo geral são os mais altos de todos os experimentos, portanto, trata-se de um dos modelos de regressão que melhor ajustam a realidade.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-13.

4.3.4.2 Classificação de *wet blue* versus Classificação de semi-acabado

$$\begin{aligned} \text{Média} = & - 0,78 + 0,75 \times \text{PR} - 0,28 \times \text{UM} - 0,46 \times \text{PR} \times \text{UM} - 1,55 \times \text{UM}^2 \\ & - 0,91 \times \text{CL}^2 \end{aligned} \quad (4.45)$$

$$R^2 = 0,80$$

$$\begin{aligned} \text{Desvio padrão} = & 2,66 + 0,15 \times \text{PR} - 0,21 \times \text{CL} - 0,17 \times \text{PR} \times \text{CL} + 0,64 \times \text{UM}^2 \\ & + 0,33 \times \text{CL}^2 \end{aligned} \quad (4.46)$$

$$R^2 = 0,58$$

$$\begin{aligned} \text{Prob (CE)} = & 2,5 + 2,5 \times \text{PR} - 0,42 \times \text{UM} - 0,42 \times \text{PR} \times \text{UM} + 0,42 \times \text{UM} \times \text{TE} \\ & - 0,63 \times \text{UM} \times \text{CL} + 0,42 \times \text{PR} \times \text{UM} \times \text{TE} + 0,63 \times \text{UM} \times \text{TE} \times \text{CL} \\ & - 0,63 \times \text{PR} \times \text{UM} \times \text{CL} \end{aligned} \quad (4.47)$$

$$R^2 = 0,95$$

$$\text{Prob (AF)} = - 8,75 \times \text{PR} + 3,96 \times \text{PR} \times \text{UM} + 20,13 \times \text{UM}^2 + 11,38 \times \text{CL}^2 \quad (4.48)$$

$$R^2 = 0,98$$

Esta análise permite entender quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Classificador de semi-acabado. Com exceção do tempo, o resto dos fatores controláveis participa nos modelos anteriores, seja como efeito principal ou interagindo entre si.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-14.

4.3.4.3 Classificação de *wet blue* versus Classificação do produto final acabado

$$\begin{aligned} \text{Média} = & 2,33 - 0,45 \times \text{PR} - 0,28 \times \text{UM} - 0,46 \times \text{PR} \times \text{UM} - 1,55 \times \text{UM}^2 \\ & - 0,91 \times \text{CL}^2 \end{aligned} \quad (4.49)$$

$$R^2 = 0,75$$

$$\begin{aligned} \text{Desvio padrão} = & 3,6 - 0,43 \times \text{PR} + 0,15 \times \text{PR} \times \text{UM} + 0,19 \times \text{PR} \times \text{UM} \times \text{CL} \\ & - 0,31 \times \text{UM}^2 \end{aligned} \quad (4.50)$$

$$R^2 = 0,66$$

$$\text{Prob (CE)} = 29,31 - 5,97 \times \text{PR} - 12,71 \times \text{UM}^2 - 5,21 \times \text{CL}^2 \quad (4.51)$$

$$R^2 = 0,69$$

$$\text{Prob (AF)} = - 1,81 \times \text{PR} + 2,71 \times \text{PR} \times \text{UM} + 6,38 \times \text{UM}^2 + 4,51 \times \text{CL}^2 \quad (4.52)$$

$$R^2 = 1$$

Esta análise permite entender quais são os fatores mais importantes que afetam a diferença de critérios entre os classificadores de *wet blue* e o Classificador de acabado. A condição do couro antes do processo de curtimento e a interação dele com a umidade aparecem em praticamente todas as variáveis de resposta. O mesmo acontece com a umidade e o classificador elevados ao quadrado.

Os gráficos dos efeitos significativos apresentam-se no Apêndice B, Figura B-15.

4.3.4.4 Classificação do produto final acabado versus Classificação em semi-acabado

Concluindo, apresenta-se na Tabela 4.10 o comparativo entre classificar em semi-acabado e não classificar.

Tabela 4.10—Análise do resultado da classificação em acabado com e sem a classificação em semi-acabado

VARIÁVEL DE RESPOSTA	DIVIDIDO		INTEGRAL	
	Y4	Y5	Y4	Y5
MÉDIA	-3,6	-3,1	-0,4	-0,3
DESVIO PADRÃO	4,2	3,7	3,9	1,7
PROBABILIDADE (CE)	25	25	5	5
PROBABILIDADE (AF)	0	0	5	0

Os resultados revelam que para a condição de couro dividido antes do processo de curtimento a classificação em semi é neutra, não detectando erros nem gerando desperdícios, mas talvez seja interessante trabalhar classificando, mas mudando o estágio. Em vez de ser classificado antes do processo de lixamento, classificar após, para ter melhores condições de visualizar aqueles defeitos que ressaltariam após este processo. Para o curtimento “integral”

poderia se pensar na eliminação direta deste processo de classificação porque no estágio *wet blue* os defeitos foram muito bem identificados.

4.3.4.5 Otimização do conjunto de variáveis nos quatro estágios

Considerando os critérios de otimização definidos em 4.2 os melhores resultados se conseguem no estágio rebaixado com os classificadores Valdecir e Adelmir e método indiferente para os couros divididos em tripa antes do curtimento. Entretanto, para o processo de curtimento integral os melhores resultados se alcançam com o *wet blue* molhado. Não existindo uma explicação lógica para esta diferença, deverão ser repetidos os experimentos.

Em relação a escolha do melhor classificador, tanto Valdecir como Adelmir apresentam-se aptos para executar o trabalho com o menor índice de refugos por classificação errada.

Para terminar, o método ficou novamente como um fator indiferente e, portanto, pode ser ignorado partindo para o sistema mais simples e econômico.

A estrutura de análise de cada variável em cada estágio apresenta-se no Apêndice C, Figura C-18.

4.4 CONCLUSÕES SOBRE OS ESTUDOS E PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE CLASSIFICAÇÃO

A análise foi realizada estágio por estágio com cada uma das variáveis isoladas e depois de aplicada a ponderação. Existem algumas dúvidas sobre certos resultados que será necessário confirmar em próximos estudos. Ver Sugestões para próximos estudos na Seção 5.1 do Capítulo 5. De qualquer forma algumas medidas já foram adotadas durante a execução a partir dos resultados alcançados.

Até o presente momento pode-se definir que os resultados da classificação do produto final acabado são independentes do método de classificação no estágio de *wet blue*, estático ou dinâmico e isto é válido para qualquer dos artigos investigados. Para alguns casos o método dinâmico obteve melhores resultados, mas isso está relacionado com menores valores de Probabilidade de alarme falso. Outro ponto importante é a relação entre os classificadores e os diferentes artigos e também a diferença entre o Supervisor de *wet blue* e o critério do produto final. Nota-se em geral uma boa convergência de critérios entre o Supervisor e os classificadores de *wet blue*, mas não existe a mesma convergência nos outros

estágios de classificação, semi-acabado e acabado, ou seja, há um sinal que indica que devem ser trabalhados os critérios tanto do Supervisor de classificação *wet blue* como dos próprios classificadores para alinhar estes aos resultados de classificação no estágio final do couro acabado.

Um ponto que ficou muito claro no trabalho é a busca do equilíbrio durante a operação de classificação. A melhor visualização serve para identificar os defeitos melhor, mas em muitas ocasiões acaba significando um aumento da probabilidade de alarme falso pela dúvida dos próprios classificadores. Entretanto, quando existem mais dificuldades de visualização só as peles mais críticas são identificadas como não aptas.

Considerando todos os experimentos, as melhores condições se obtêm classificando *wet blue* rebaixado, o que era esperado porque é a situação onde os defeitos ficam mais visíveis, principalmente nos artigos mais críticos sobre o ponto de vista de erros de classificação.

Conforme as experiências realizadas existe uma relação entre as procedências e os resultados alcançados em função da umidade e do classificador, ou seja, existe um efeito de visualização, associado a certos defeitos e certas condições de trabalho que deverá ser investigado melhor e confirmado com experimentos futuros e assim poder definir métodos de trabalho adequados a origem da matéria-prima.

A última observação sobre os resultados dos experimentos se refere a classificar ou não em semi-acabado. Uma boa parte dos resultados demonstra que esta classificação não só não agrega valor como chega a definir erros inexistentes o qual acaba causando um custo importante no processo. Entretanto, ainda não foi trabalhado suficientemente o critério do classificador em semi-acabado e, portanto, pode ser prematura a decisão de eliminar este processo. O objetivo é continuar trabalhando, mas prestando muita atenção aos couros refugados.

Estas conclusões permitem redefinir os próximos trabalhos que serão comentados no Capítulo 5.

4.5 VALORIZAÇÃO FINANCEIRA DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Assim como na Figura 3.1 foi apresentado o resultado dos erros de classificação nos produtos semi-acabados e acabados no período correspondente a janeiro de 2003 até abril de

2004, na Figura 4.6 apresentam-se os resultados no período de maio de 2004 até fevereiro de 2005.

O porquê dos dois períodos é para avaliar os ganhos devido aos experimentos realizados. O ganho resultante está associado ao nível de conscientização dos classificadores e a algumas medidas parciais que foram adotadas ao longo desse período. Ditas medidas foram: (i) classificar os artigos mais críticos no estágio rebaixado, umidade seca; e (ii) direcionar os artigos para os classificadores conforme o tipo de artigo a classificar. Essas mudanças surgiram de forma natural à medida que se avaliavam os distintos experimentos.

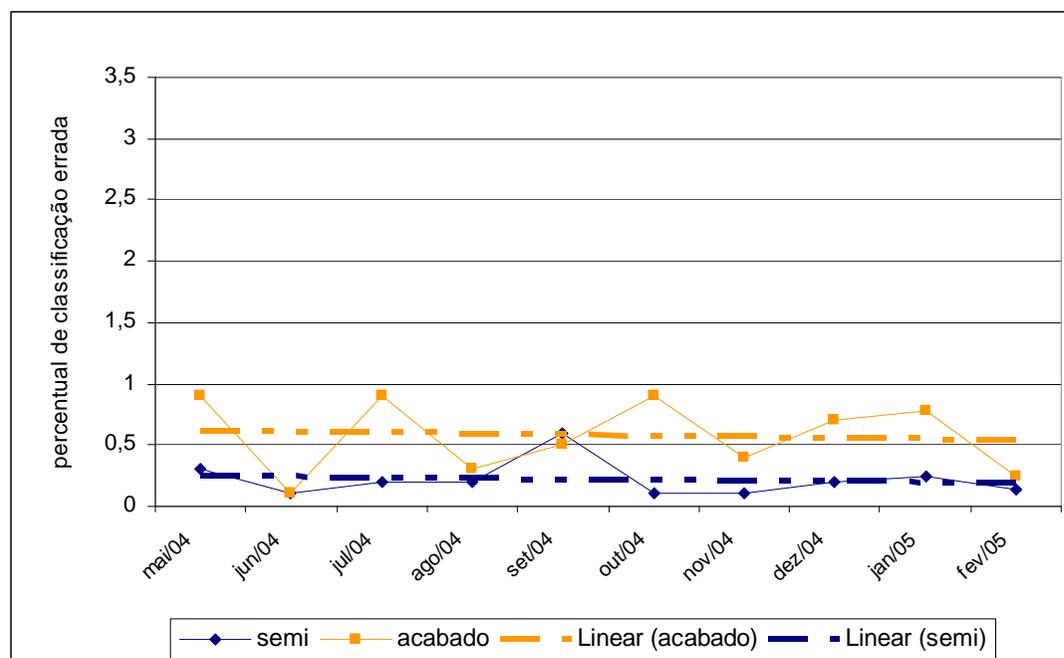


Figura 4.6 – Erros de classificação nos estágios de semi e acabado

Traduzido em valores financeiros, a redução alcançada até o mês de fevereiro de 2005 representou uma economia aproximada de 420.000 reais por ano comparada, ver 4.53, com o nível de erro vigente no período anterior. Esta economia surge de uma redução de 1,96% no período janeiro 2003 até abril 2004 para 0,79 % no período maio 2004 até fevereiro 2005, representado uma redução de 60% no nível de refugos por classificação errada no produto final acabado.

$$\text{Economia} = (\text{Ind ref ant} - \text{Ind ref atual}) \times 12 \text{ meses} \times \text{Prod mensal} \times \text{perda por m}^2 \quad (4.53)$$

$$\text{Economia} = (1,96 \% - 0,79 \%) \times 12 \times 100.000 \text{ m}^2/\text{mês} \times 30 \text{ reais}/\text{m}^2$$

$$\text{Economia} = 421.200 \text{ reais}$$

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

5	CONCLUSÃO.....	119
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	121

CAPITULO 5

5 CONCLUSÃO

O objetivo da dissertação foi otimizar o processo de classificação no estágio *wet blue* a fim de reduzir os refugos por classificação errada no produto final acabado. O estudo foi realizado em uma indústria curtidora denominada Bracol Couros produtora de couro acabado e fornecedora para a indústria calçadista e de artefatos de couro da região do Vale do Sinos.

A revisão bibliográfica aborda conceitos gerais sobre o processamento do couro e seus tipos de defeitos, de modo a facilitar a interpretação do leitor. Logo, segue com Análises de Sistemas de Medição com ênfase em atributos que é um dos objetivos do estudo, definindo os principais indicadores utilizados para avaliar os resultados tanto do estudo do Sistema de classificação como do próprio Projeto de Experimentos. Indicadores de eficácia, probabilidade de alarme falso e probabilidade de classificação errada foram amplamente utilizados na avaliação dos resultados possibilitando sua comparação antes e depois dos trabalhos realizados. Na seqüência, a revisão aborda Projeto de Experimentos contemplando uma visão geral de seus principais tópicos e, para terminar, são apresentados conceitos sobre Otimização Multivariada.

O método utilizado apresenta como etapas fundamentais o diagnóstico dos erros de classificação, a Análise do Sistema de Medição aplicado ao processo de classificação no estágio de *wet blue* e o Projeto de Experimentos utilizado na otimização do processo. As duas primeiras etapas permitiram identificar os fatores controláveis que foram posteriormente estudados no Projeto de Experimentos. A Análise do Sistema de Medição, base do treinamento aplicado, serviu para alinhar os critérios entre os classificadores e também contribuiu na busca da convergência entre os critérios dos classificadores de *wet blue* e o Supervisor que define o padrão de classificação.

A seguir detalham-se os resultados alcançados para cada um dos objetivos específicos definidos no Capítulo 1 desta dissertação.

A utilização da Análise de Sistema de Medição permitiu **quantificar e reduzir a variabilidade** devida ao processo de classificação e aos classificadores. Partiu-se de um valor de R&R de 40,6% no início do estudo para finalizar com um valor de 27,3% praticamente dentro da meta prevista de 25%.

Foi estabelecido um método de **medição de desempenho e treinamento** dos classificadores que realizam a classificação no estágio *wet blue*, usando para isto os indicadores de Repetitividade, Reprodutibilidade, Eficácia, Probabilidade de alarme falso e Probabilidade de classificação errada.

A **convergência de critérios entre o Supervisor e os classificadores** foi alcançada após os treinamentos realizados sobre a base do Estudo de Sistema de Medição. Os valores de Probabilidade de classificação errada, obtidos no último estudo foram de 2,33% na média, sendo que anteriormente os valores eram de 6,93%.

O objetivo referente a **análise da eficiência da classificação no estágio semi-acabado**, foi realizado através da análise dos experimentos concluindo-se que em diversas oportunidades esta etapa do processo foi pouco efetiva gerando um questionamento sobre sua real utilidade.

Finalmente, o último dos objetivos específicos que era **otimizar o processo de classificação no estágio *wet blue*** foi alcançado aplicando o processo de otimização nas quatro variáveis de resposta e os três estágios de classificação para cada um dos artigos testados no Projeto de Experimentos.

Os resultados da otimização demonstram que não houve uma solução ótima comum a todos os artigos testados, mas sim foi percebida a importância de classificar no estágio rebaixado, umidade seca, para os artigos mais críticos. Outra conclusão importante foi relativa aos métodos estático e dinâmico que não revelaram diferenças, permitindo, assim, partir para o modelo dinâmico que é o mais simples. Para a procedência não houve condições de determinar as melhores alternativas e por isso será necessário repetir novos testes.

O objetivo principal deste trabalho foi **otimizar o processo de classificação no estágio *wet blue* a fim de reduzir os refugos por classificação errada no couro acabado**. Este objetivo foi alcançado através de um Projeto de experimentos que foi conduzido em quatro artigos diferentes para ter resultados mais representativos, desenvolvido a partir da padronização realizada com os classificadores após os Estudos do Sistema de Medição para

que desta forma não existam influências de critérios diferentes entre eles, nos diferentes métodos a testar.

A redução de refugos no produto final acabado e semi-acabado por classificação errada no estágio *wet blue* foi alcançada porque passou-se de um percentual médio de 1,96% de refugos no período janeiro de 2003 até abril de 2004 para um percentual de 0,79% no período de maio de 2004 até fevereiro de 2005 representando uma redução de 60%. Este objetivo foi alcançado sem aumentar o desperdício de matéria-prima *wet blue*.

O trabalho desenvolvido, gerou um expressivo retorno financeiro, estimado em quatrocentos e vinte mil reais/ano, como ficou demonstrado no estudo, servindo como ponto de partida para outros projetos de melhoria.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas recomendações podem ser feitas para trabalhos futuros ou para aprofundar o tema da dissertação.

Este estudo poderá ser estendido para o universo de produtos produzidos na empresa, porque os experimentos realizados representam uma ampla variedade de produtos manufaturados na indústria.

A partir dos resultados alcançados deveriam ser repetidos dois experimentos para confirmar as conclusões. O objetivo é definir se as procedências ou condição do couro antes do processo de curtimento (dividido ou integral) são fatores significativos no erro de classificação no estágio *wet blue*.

Como foi definido em 3.3, os erros de classificação estão fortemente relacionados à falta de critério e a problemas de visualização, ambos tratados no escopo do trabalho, mas existem componentes psicológicos relacionados a falta de concentração e até a própria influência que exerce sobre o classificador o fato de estar realizando um experimento. Ambos fatores poderiam ser testados: no primeiro caso comparando o desempenho do classificador conhecendo ou não que se trata de um experimento e o segundo testando em diferentes horas do dia o mesmo lote. Desta forma, poderia-se analisar se a fadiga e ou a pressão psicológica exercem algum tipo de influência no resultado da classificação.

Os estudos foram realizados sobre artigos que utilizam seleção B e, portanto, podem repetir-se alguns experimentos sobre outras seleções, principalmente, a C que também é

crítica e que possui diferentes defeitos tanto em características como em extensão na própria pele. Assim poderia se verificar se os resultados alcançados são válidos para qualquer seleção.

O aprendizado obtido a partir dos trabalhos de Análise de Sistema de Medição permite que se aplique o modelo de análise e treinamento a outros estágios de classificação, semi-acabado e acabado, com o objetivo de buscar a convergência de critérios tanto entre os distintos classificadores como com os próprios Supervisores que definem os padrões.

Uma sugestão de trabalho futuro também seria estender este trabalho a matriz da empresa onde se realiza a primeira classificação no estágio de *wet blue* com o que se conseguiria, principalmente, trabalhar o problema na origem diminuindo os efeitos dos erros nas etapas seguintes do processo.

Finalmente, aproveitando a estrutura do trabalho, avaliar a possível aplicação a outras etapas de inspeção onde o critério seja subjetivo, existam vários inspetores e alternativas diferentes de fazer o processo de classificação.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATTESINI, M. **Método de análise conjunta com estimulação em duas etapas.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 2002.
- BENEFICIAMENTO DO COURO. **60 % dos defeitos no couro do boi ocorrem na fazenda.** Thea Tavares, www.cnpqg.embrapa.br.
- BOTHE, K.R. **Qualidade de classe mundial.** Rio de Janeiro. Ed Qualitymark. 1996.
- CATEN, C.S., PEDRASSANI, J., RIBEIRO, J.L.D., & BERGMANN, C.P. **Otimização experimental de um processo de moagem: descrição do método e estudo de caso.** PPGEP, PPGEM, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1998.
- CATEN, C.S. & PIZZOLATO, M. **Método de otimização experimental da qualidade e durabilidade de um produto.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, Salvador, 2001, **Cd Rom.**
- CESARONE, J. **The power of Taguchi.** IIE Solutions, nov 2001, Vol 33, Issue 11, 5p.
- CHATTERJEE, S. & PRICE, B. **Regression Analysis by Example.** New York, John Wiley & Sons, 2a Ed., 1991, 278 p.
- COMUNICADO TÉCNICO. **Análise da cadeia produtiva de peles e couros no Brasil.** Embrapa, COT Nro 68, nov 2001, 7 p. www.cnpqg.embrapa.br.
- DA COSTA, Q. & LEE HO, L. **Estimação da proporção de itens conformes quando existe a possibilidade de erros de classificação.** Revista Produto & Produção, jun 1999, pág 10-17.
- DA COSTA, R.A. & BARTOLI, J.R. **A arte de modelar processos e composição de compostos poliméricos, através da linguagem ortogonal.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, Piracicaba, 1996. **Cd Rom.**
- DA LUZ MATOS, J. & CATEN, C.S. **Seis sigma: uma aplicação na indústria petroquímica.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, Ouro Preto, 2003. **Cd Rom.**
- ELSAYED, E.A. & CHEN, A. **Optimal levels of process parameters for products with multiple characteristics.** International Journal of Production Research, 1993, Vol 31, Issue 5, 16 p.
- FLESCH, G. **Aplicação de Projeto de Experimentos com suporte no Projeto e Melhoria de produtos no setor de autopeças.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação

em Engenharia de Produção, Porto Alegre: Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 2002.

FURLANETTO, E.L. **Análise dos defeitos gerados na cadeia produtiva da matéria-prima couro bovino na Paraíba.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, Piracicaba, 1996. **Cd Rom.**

GOH, T.N. **The Role of Statistical Design of Experiments in Six Sigma: Perspectives of a Practitioner.** Quality Engineering, 2002, Vol 14, Issue 4, p 659-671.

HICKS, C.R. & TURNER, K.V. Jr. **Fundamental Concepts in the Design of Experiments.** Oxford University Press, 5 Ed, New York, 1999.

HINES, W.W. & MONTGOMERY, D.C. **Probabilidade y estadística para ingeniería y administración,** Ed Cecsca, México, 1986.

HOINACKI, E. **Peles e couros, Senai.** p 33-36, Porto Alegre, 1989.

HOWELL, D. **The variable merits of Taguchi.** Professional Engineering, 2000, Vol 13 Issue 21, 2p.

JIJU, A., KNOWLES, G. & TANER, T. **Ten steps to optimal production.** Quality Software and Analysis, sept 2001, Vol 40, Issue 9, 5 p.

KIM, Y.J. & CHO, B.R. **Development of Priority-Based Robust Design,** Quality Engineering, mar 2002, Vol 14, Issue 3, 9 p.

KÖNCZÖL, G.T. **Teoria e prática da fabricação de couros.** p 18-21 e 27-28, Porto Alegre, 1963.

KOTLER, P. **Administração de Marketing.** Ed Prentice Hall. São Paulo, 2000, 751 p.

KUHN, A.M. **Optimizing response surface experiments with noise factors using confidence regions.** Quality engineering, 2003, vol 15 No 3, 7p.

KUHNT, S. & ERDBRÜGGE, M. **A strategy of robust parameter design for multiple responses.** Statistical Modelling an International Journal, aug 2004, Vol 4, Issue 4, 16 p.

LORIGGIO, A. **De onde vêm os problemas?** Ed Negócio, São Paulo, 2002.

MAK, T. & NEBEBE, F. **Efficiency measure, modelling and estimation in combined array designs.** Applied Stochastic Models in Business and Industry, out-dez 2003, Vol 19, Issue 4, 12 p.

MASEDA, A.P. **Gestion de la calidad,** Ed. Marcondo, Barcelona, 1988.

MELNICK, E. L. & SHOAF, R. **Multiple Regression equals Analysis of Variance.** Journal of Advertising Research, jun 1977, Vol 17, issue 3, 5p.

MONTGOMERY, D.C. **Design and Analysis of Experiments,** New York: John Wiley & Sons, 5a Ed., 1997, 684 p.

MONTGOMERY, D.C. & RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** Ed LTC, 2003, 463 p.

- MONTGOMERY, D.C. & MYERS, R.H. **Response Surface Methodology**. John Wiley & Sons, Inc, New York, 1995, 688 p.
- PARK, S. H. **Robust design and analyses for quality engineering**. Ed Chapman & Hall, London, 1996, 329 p.
- PEREIRA MEDEIROS, G. & BRUNSTEIN, I. **A influência das competências gerenciais no tempo de desenvolvimento de novos produtos calçadistas**. 4º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, CBGDP, Gramado, 2003, **Cd Rom**.
- PIZZOLATO, M. **Método de otimização experimental da qualidade e durabilidade de produtos: um estudo de caso em produto fabricado por injeção de plástico**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- REVISTA COURO BUSINESS. **Evolução das exportações, janeiro a maio de 2004**. www.courobusiness.com.br.
- RIBEIRO, J.L.D. & CATEN, C.S. **Estatística industrial, Serie monográfica Qualidade**. UFRGS, Escola de Engenharia, PPGE, Porto Alegre, 2003.
- RIBEIRO, J.L.D. & CATEN, C.S. **Controle estatístico de processo, Serie monográfica Qualidade**. UFRGS, Escola de Engenharia, PPGE, Porto Alegre, 2003.
- RIBEIRO, J.L.D. & CATEN, C.S. **Projeto de experimentos, Serie monográfica Qualidade**. UFRGS, Escola de Engenharia, PPGE, Porto Alegre, 2003.
- RIBEIRO J.L & ELSAYED E.A. **A case study on process optimization using the gradient loss function**. International Journal Production Research, 1995, vol 33, no 12, p 3233-3248.
- ROESCH, S.M.A. **Projetos de estágio do curso de administração, Guia para pesquisas, projetos, estágios e trabalho de conclusão de curso**. Ed Atlas, São Paulo, 1996, 189 p.
- SETOR DE COURO E DERIVADOS**. www.cna.org.br.
- SETOR EM NOTÍCIAS, Notícias gerais** – Fórum Fenac do Couro discute o valor do couro brasileiro e sua qualidade, junho de 2003, 1 página, www.portal.couro.net.com.br.
- SHORE, H. & ARAD, R. **Product Robust Design and Process Robust Design: Are they the same? (No)**. Quality Engineering, 2003, Vol 16, Issue 2, 15 p.
- SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura**. Ed Atlas, São Paulo, 1993.
- WERKEMA, M.C.C. & AGUIAR, S. **Planejamento e análise de experimentos: como identificar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte, Ed UFMG, 1996, 294 p.
- WERKEMA, M.C.C. & AGUIAR, S. **Análise de Regressão: Como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Belo Horizonte, Ed UFMG, 1996, 311p
- WERKEMA, M.C.C. **Avaliação da qualidade de medidas**. Belo Horizonte, Ed UFMG, 1996.

WHEELWRIGHT, S.C. & HAYES, R.H. **Competindo através da fabricação.** Harvard Business Review, jan-fev 1995.

WORLD CLASS LEATHER. **Tamanho do rebanho bovino Brasileiro.** Brasil Exportador, abril 2004, www.brazilianleather.com.br.

WU, Y. & WU, A. **Diseño robusto utilizando los métodos Taguchi.** Ed Dias de Santos S.A., Madrid, 1997, 293 p.

XU, D. & ALBIN, S.L. **Robust optimization of experimentally derived objective functions.** IIE Transactions, set 2003, Vol 35, Issue 9, 10 p.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

APÊNDICE A

Este anexo apresenta os resultados dos exercícios de treinamento com os classificadores de *wet blue* e os resultados da Avaliação do Sistema de Medição no detalhe.

CLASSIFICADOR = VALDECIR											
PELES	SELEÇÃO ADEMIR	1a	2a	3a	4a	SELEÇÃO CLASSIF.	CAUSA	5a	6a	CAUSA	COMENTÁRIO SOBRE A PELE
3	B2	C	C	C	C	B	MÉTODO	C	C	MÉTODO	Pele no limite B/C só defeitos localizados, sem carrapatos
4	B3	D	C	D	D	D	CRITÉRIO	C	D	REPETIBILIDADE	Pele no limite C/D defeitos concentrados no grupon
5	C1	C	C	D	D	C	MUDANÇA DE CRIT	C	C	OK	
7	C2	B	B	D	C	C	MUDANÇA DE CRIT	C	C	OK	
11	B1	B	B	C	B	B	REPETIBILIDADE	B	B	OK	
12	B2	C	C	C	C	B	MÉTODO	B	B	OK	
23	A1	A	A	B	B	A	MUDANÇA DE CRIT	A	A	OK	
31	B1	C	B	C	B	B	REPETIBILIDADE	B	B	OK	
33	D3	C	C	C	C	D	MÉTODO	C	C	MÉTODO	
34	C2	C	C	D	C	C	REPETIBILIDADE	C	C	OK	
36	D2	C	C	C	C	C	CRITÉRIO	C	C	CRITÉRIO	Pele no limite C/d só defeitos fechados
15	C2							B	C	REPETIBILIDADE	Pele no limite B/C.
28	A1							A	B	REPETIBILIDADE	
CLASSIFICADOR = GERALDO											
PELES	CLASSE ADEMIR	1a	2a	3a	4a	CLASSE CLASSIF.	CAUSA	5a	6a	CAUSA	COMENTÁRIO SOBRE A PELE
3	B2	B	C	C	B	B	REPETIBILIDADE	C	C	CRITÉRIO	
4	B3	C	C	D	D	D	CRITÉRIO	C	C	CRITÉRIO	Pele no limite C/D defeitos concentrados no grupon
5	C1	C	C	D	C	C	REPETIBILIDADE	C	C	OK	
7	C2	C	B	D	C	B	CRITÉRIO	C	D	CRITÉRIO	Concordou que é C, a umidade pode ter influenciado na 1a classificação
9	C2	C	C	D	C	C	REPETIBILIDADE	C	C	OK	
13	A1	B	A	B	A	B	CRITÉRIO	B	A	CRITÉRIO	Pele com muita veia
18	E2	E	D	D	D	D	MÉTODO	D	E	REPETIBILIDADE	Excesso de bernas fechados, mudando a luz concordou que é "E"
23	A1	B	A	B	A	A	REPETIBILIDADE	A	A	OK	
24	C2	C	B	C	B	B	REPETIBILIDADE	B	B	OK	Eu olhando de novo concordo que é uma "B"
28	A1	A	A	B	A	A	REPETIBILIDADE	A	A	OK	
31	B1	B	C	C	C	B	MÉTODO	C	C	MÉTODO	
33	D3	D	D	C	C	C	MUDANÇA DE CRIT	D	D	MUDANÇA DE CRIT	Muito defeito fechado, que não se encherá por causa da umidade
34	C2	C	C	B	B	C	MUDANÇA DE CRIT	B	B	MÉTODO	
36	D2	C	C	C	C	C	CRITÉRIO	D	D	CRITÉRIO	Pele no limite C/d só defeitos fechados
15	C2							B	C	REPETIBILIDADE	Pele no limite B/C.
25	C1							B	A	REPETIBILIDADE	Pele no limite B/C. Só carrapatos na barriga
CLASSIFICADOR = ADELMIR											
PELES	CLASSE ADEMIR	1a	2a	3a	4a	CLASSE CLASSIF.	CAUSA	5a	6a	CAUSA	COMENTÁRIO SOBRE A PELE
3	B2	C	C	C	B	C	CRITÉRIO	C	D	CRITÉRIO	Conciderou "C" pelos defeitos abertos, pele no limite das classes B/C
5	C1	C	C	D	D	C	MUDANÇA DE CRIT	C	C	OK	
9	C2	D	C	D	D	C	MÉTODO	C	C	OK	
12	B2	B	B	C	C	C	MUDANÇA DE CRIT	A	B	REPETIBILIDADE	Concordou que é "B"
13	A1	B	B	B	A	B	CRITÉRIO	B	B	CRITÉRIO	Concordou que é "A"
15	C2			B	B	B	CRITÉRIO	A	B	CRITÉRIO	Pele no limite B/C, mas concordou que é "C"
18	E2	E	E	D	E	D	MÉTODO	E	E	OK	Excesso de bernas fechados, mudando a luz concordou que é "E"
23	A1	A	A	B	B	A	MUDANÇA DE CRIT	B	A	REPETIBILIDADE	
25	C1			A	B	B	MÉTODO	B	B	OK	Pele no limite B/C fiquei na dúvida, somente carrapatos na barriga
28	A1	A	A	C	B	B	CRITÉRIO	A	A	OK	Concordou que é "A"
30	D2	D	C	C	D	D	REPETIBILIDADE	B	C	MUDANÇA DE CRIT	
33	D3			C	D	C	MÉTODO	C	C	CRITÉRIO	Concordou que é "D"
34	C2			C	D	C	REPETIBILIDADE	B	C	REPETIBILIDADE	
35	C2			D	C	C	REPETIBILIDADE	C	D	REPETIBILIDADE	
4	B3							B	C	REPETIBILIDADE	
7	C2							B	C	REPETIBILIDADE	

Figura A-1 Resultados da Análise do Sistema de Medição após a aplicação do treinamento

A figura A-1 apresenta as mudanças que aconteceram na interpretação das peles críticas após realizado o treinamento indicando também as causas dos erros de seleção em cada um dos casos e as observações sobre cada uma das peles analisadas.

VARIÁVEIS		TOTAL DAS PELES			SEM AS PELES LÍMITES			TOTAL					SELEÇÃO B					SELEÇÃO C					SELEÇÃO D				
		REPE	REPRO	R&R	REPE	REPRO	R&R	DESVP	EFICAC	P(CE)	P(AF)	TEND	DESVP	EFICAC	P(CE)	P(AF)	TEND	DESVP	EFICAC	P(CE)	P(AF)	TEND	DESVP	EFICAC	P(CE)	P(AF)	TEND
DATA	META	15	20	25	12	16	20	0,25	90	4	6		0,3	85	5	10		0,25	90	5	5		0,2	95	2,5	2,5	
4ta sem ABRIL	TOTAL	29,63	27,78	40,61	19,44	14,58	24,31																				
	ADELMIR/HERTON	47,22			33,33			0,44	73,6	5,6	20,8	2,4	0,48	50	0	50		0,43	75	12,5	12,5	1	0,14	95,83	4,17	0	0
	GERALDO	27,77			19,44			0,29	86,1	6,9	6,9	1	0,29	83,33	4,17	12,5	2,44	0,4	79,17	12,5	8,33	0,71	0,14	95,83	4,17	0	0
	VALDECIR	13,89			5,55			0,4	83,3	8,3	8,3	1	0,43	83,33	8,33	8,33	1	0,47	75	8,33	16,67	1,7	0,29	91,67	8,33	0	0
	SELEÇÃO B	33,33	37,5	50,17	25	27,08	36,86																				
	SELEÇÃO C	38,89	25	46,23	27,78	10,42	29,67																				
	SELEÇÃO D	16,67	20,83	26,68	5,56	6,25	8,36																				
2da sem MAIO	TOTAL	23,15	30,56	38,33	14,81	15,97	21,79																				
	ADELMIR	27,7			25			0,48	73,6	15,3	11,1	0,81	0,58	66,7	4,2	29,2	3,97	0,51	66,7	20,8	12,5	0,73	0,26	87,5	8,3	4,2	0,58
	GERALDO	27,7			13,9			0,39	81,9	9,7	8,3	0,85	0,26	79,2	0	20,8		0,43	83,3	8,3	8,3		0,39	83,3	16,7	0	0
	VALDECIR	13,9			5,5			0,35	84,7	12,5	2,8	0,32	0,4	79,2	0	20,8		0,33	83,3	0	16,7	1	0,29	91,7	8,3	0	0
	SELEÇÃO B	33,33	27,08	42,95	22,22	14,58	26,58																				
	SELEÇÃO C	22,22	41,67	47,22	13,89	29,17	32,3																				
	SELEÇÃO D	13,89	22,92	26,8	8,33	8,33	11,79																				
1a sem JUNHO	TOTAL	25	24,31	34,87	15,74	16,67	22,92																				
	ADELMIR	47,2			27,7			0,41	77,8	13,9	8,3	0,67	0,38	79,2	4,2	16,7	2,94	0,4	70,8	29,2	0	0	0,37	83,3	8,3	8,3	1
	GERALDO	19,4			13,89			0,3	87,5	5,6	6,9	1,11	0,19	91,7	0	8,3		0,48	75	12,5	12,5	1	0,14	95,8	4,2	0	0
	VALDECIR	8,33			5,5			0,21	94,4	4,2	1,4	0,57	0,14	95,8	0	4,2		0,14	95,8	4,2	0	0	0,29	91,7	8,3	0	0
	SELEÇÃO B	27,78	18,75	33,51	16,67	14,58	22,15																				
	SELEÇÃO C	38,89	37,5	54,02	22,22	22,92	31,92																				
	SELEÇÃO D	8,33	14,58	16,8	8,33	10,42	13,34																				
1a sem OUTUBRO	TOTAL	23,15	22,22	32,09	12,04	15,28	19,45																				
	ADELMIR	25			8,33			0,48	79,2	2,8	18,1	3,84	0,64	62,5	0	37,5	0,64	0,29	91,7	0	8,3	0,29	0,37	83,3	8,3	8,3	1
	GERALDO	27,78			22,22			0,47	75	2,8	22,2	4,35	0,36	58,3	0	41,7	0,36	0,58	83,3	0	16,7	0,58	0,29	91,7	8,3	0	0
	VALDECIR	16,67			5,55			0,31	88,9	2,8	8,3	2,2	0,33	83,3	0	16,7	0,33	0,29	91,7	0	8,3	0,29	0,29	91,7	8,3	0	0
	SELEÇÃO B	38,89	27,08	47,39	25	20,83	32,54																				
	SELEÇÃO C	19,44	14,58	24,31	5,56	8,33	10,02																				
	SELEÇÃO D	11,11	25	27,36	5,56	16,67	17,57																				
1a sem OUTUBRO estático	TOTAL	14,81	22,92	27,29	8,33	13,89	17,22																				
	ADELMIR	27,77			16,67			0,62	55,6	5,6	38,9	3,2	0,66	20,8	0	79,2		0,4	70,8	0	29,2		0,47	75	16,7	8,3	0,59
	GERALDO	2,77			2,77			0,45	70,8	0	29,2		0,48	37,5	0	62,5		0,45	75	0	25		0	100	0	0	1
	VALDECIR	13,89			11,11			0,38	80,6	1,4	18,1	9,9	0,43	62,5	0	37,5		0,39	83,3	0	16,7		0,14	95,8	4,2	0	0
	SELEÇÃO B	22,22	29,17	36,67	13,89	20,83	25,04																				
	SELEÇÃO C	13,89	18,75	23,33	8,33	8,33	11,79																				
	SELEÇÃO D	8,33	20,83	22,44	5,56	12,5	13,68																				

Figura A-2 Resultados gerais dos 5 estudos do Sistema de Medição analisados por seleção e por classificador em todas suas variáveis, Repetitividade, Reprodutibilidade, Eficácia, Probabilidade de AF, Probabilidade de CE, Desvio Padrão e Tendência.

APÊNDICE B

Este anexo contém o modelo da planilha de coleta de dados para a realização do Projeto de Experimentos e os gráficos dos efeitos principais e das interações das variáveis de resposta dos quatro artigos testados. É um complemento do que aparece no corpo principal da dissertação.

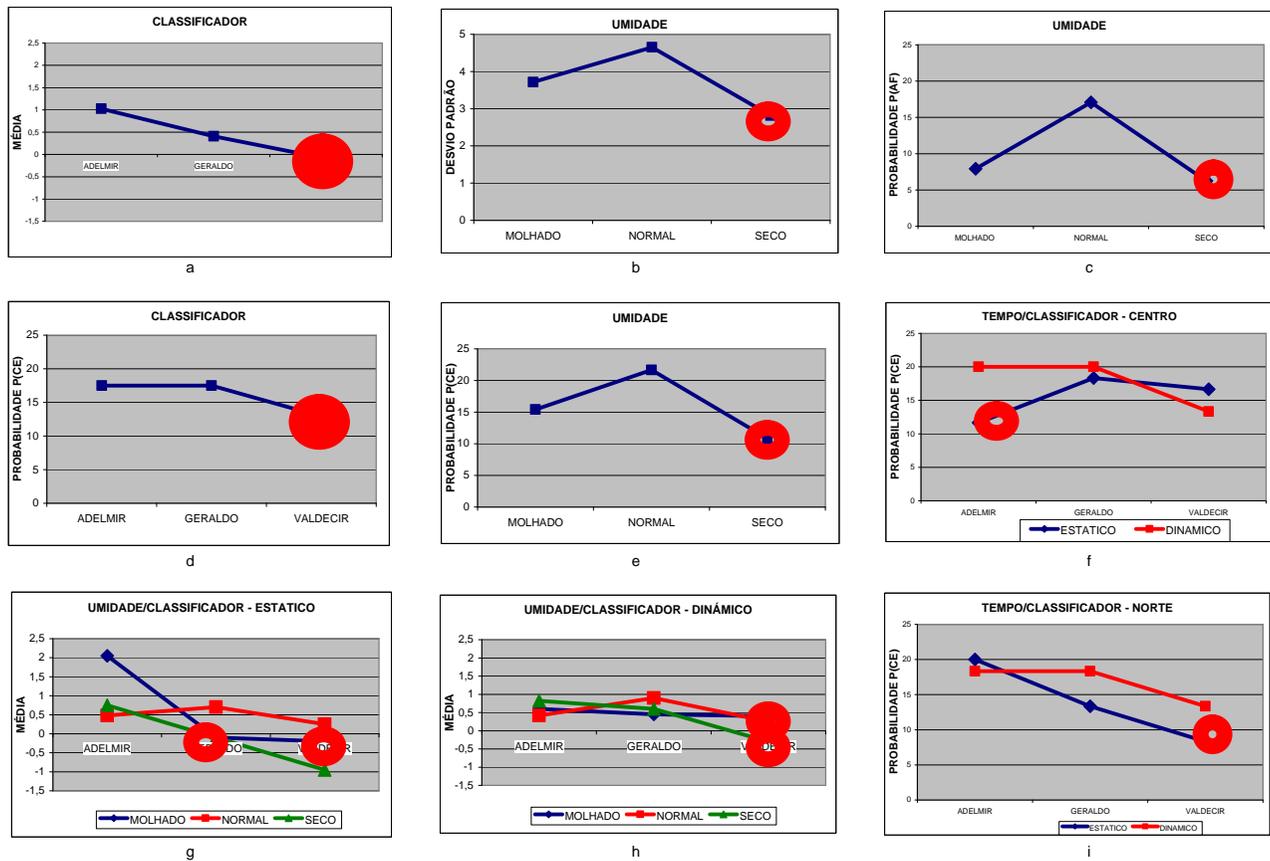


Figura B-4 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NUBUCK CHOCOLATE na sua relação *wet blue versus wet blue*.

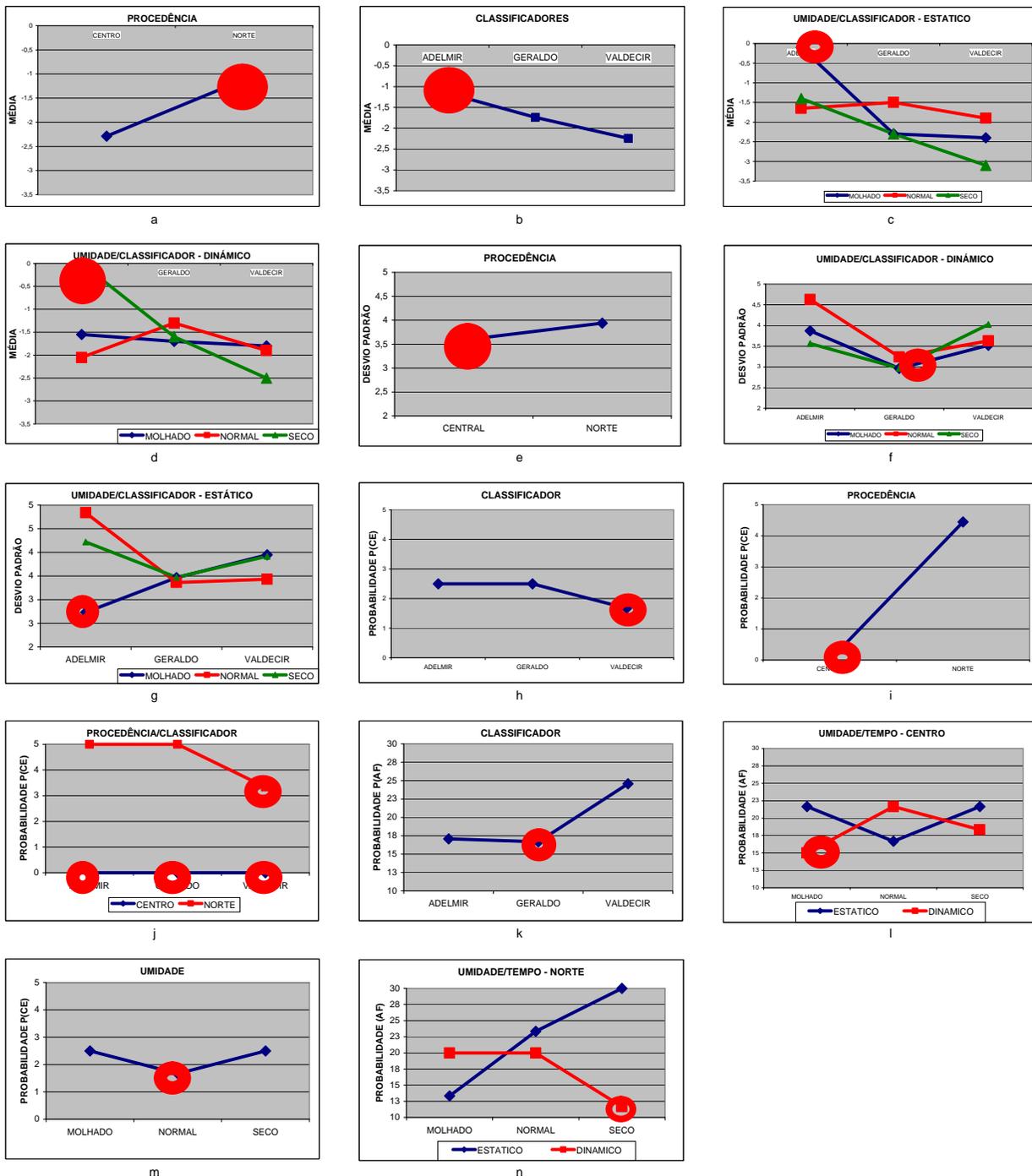


Figura B-5 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NUBUCK CHOCOLATE na sua relação semi-acabado versus wet blue.

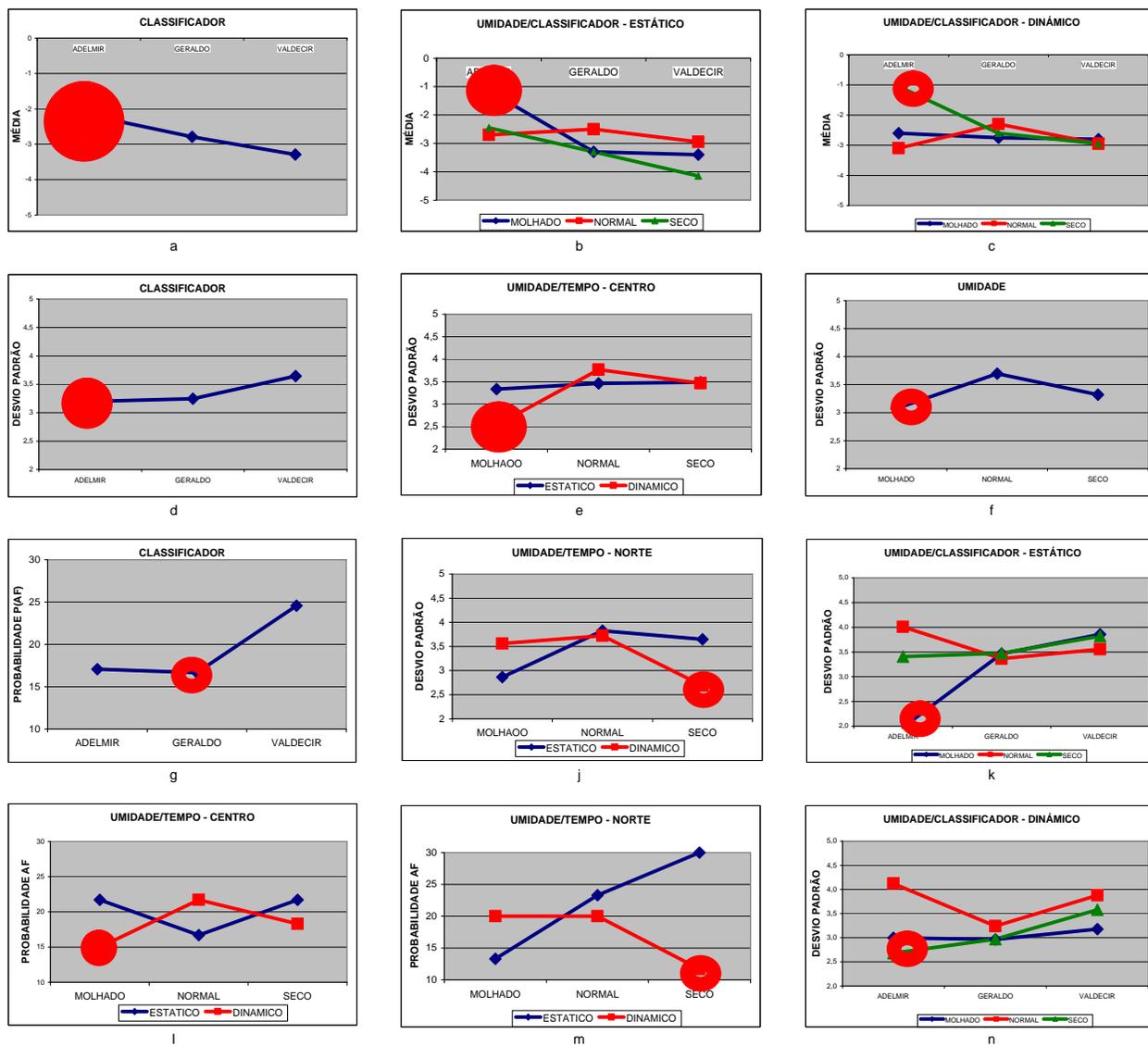


Figura B-6 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NUBUCK CHOCOLATE na sua relação acabado *versus* wet blue.

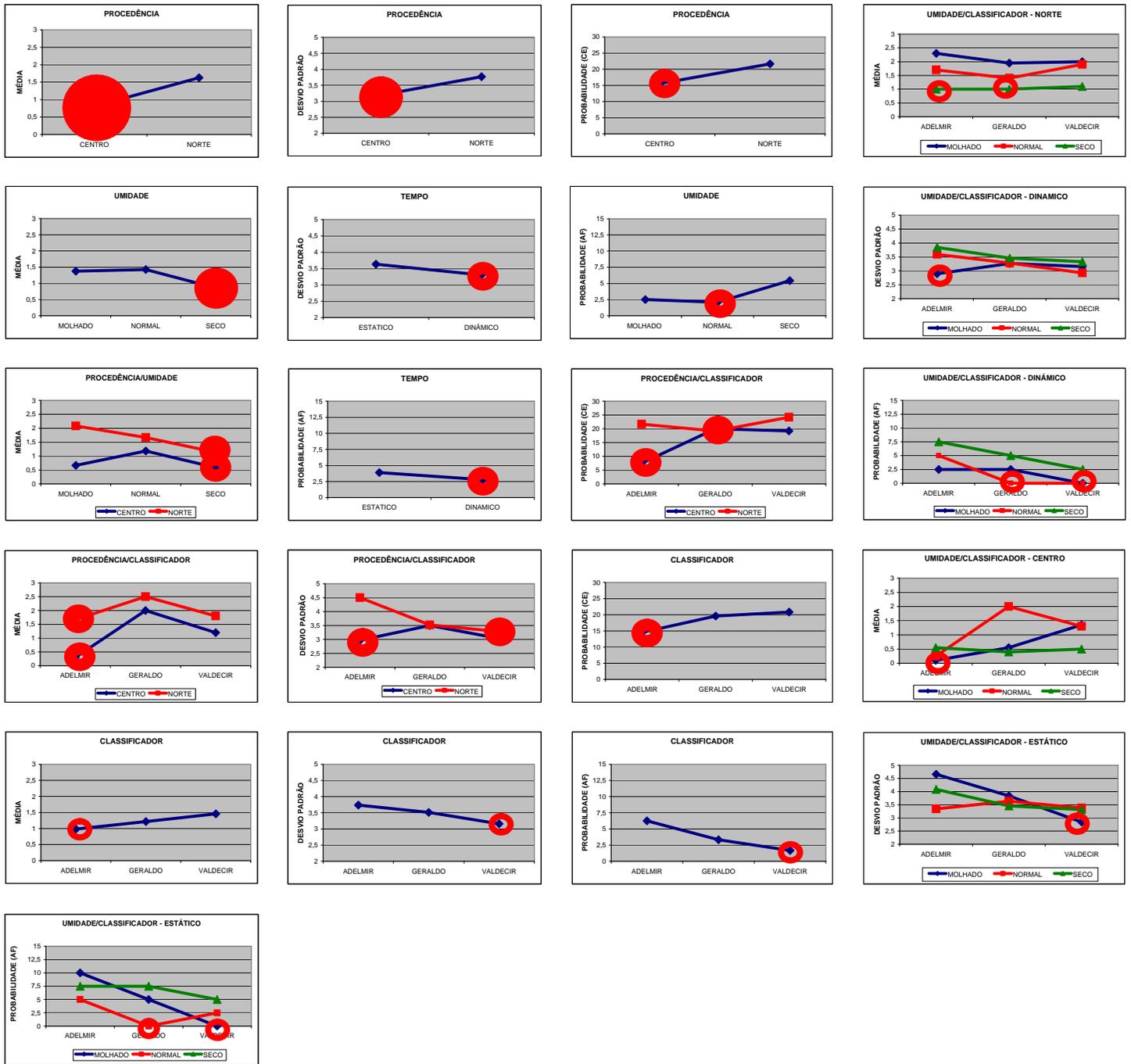


Figura B-7 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NAPLEX PRETO na sua relação *wet blue versus wet blue*.

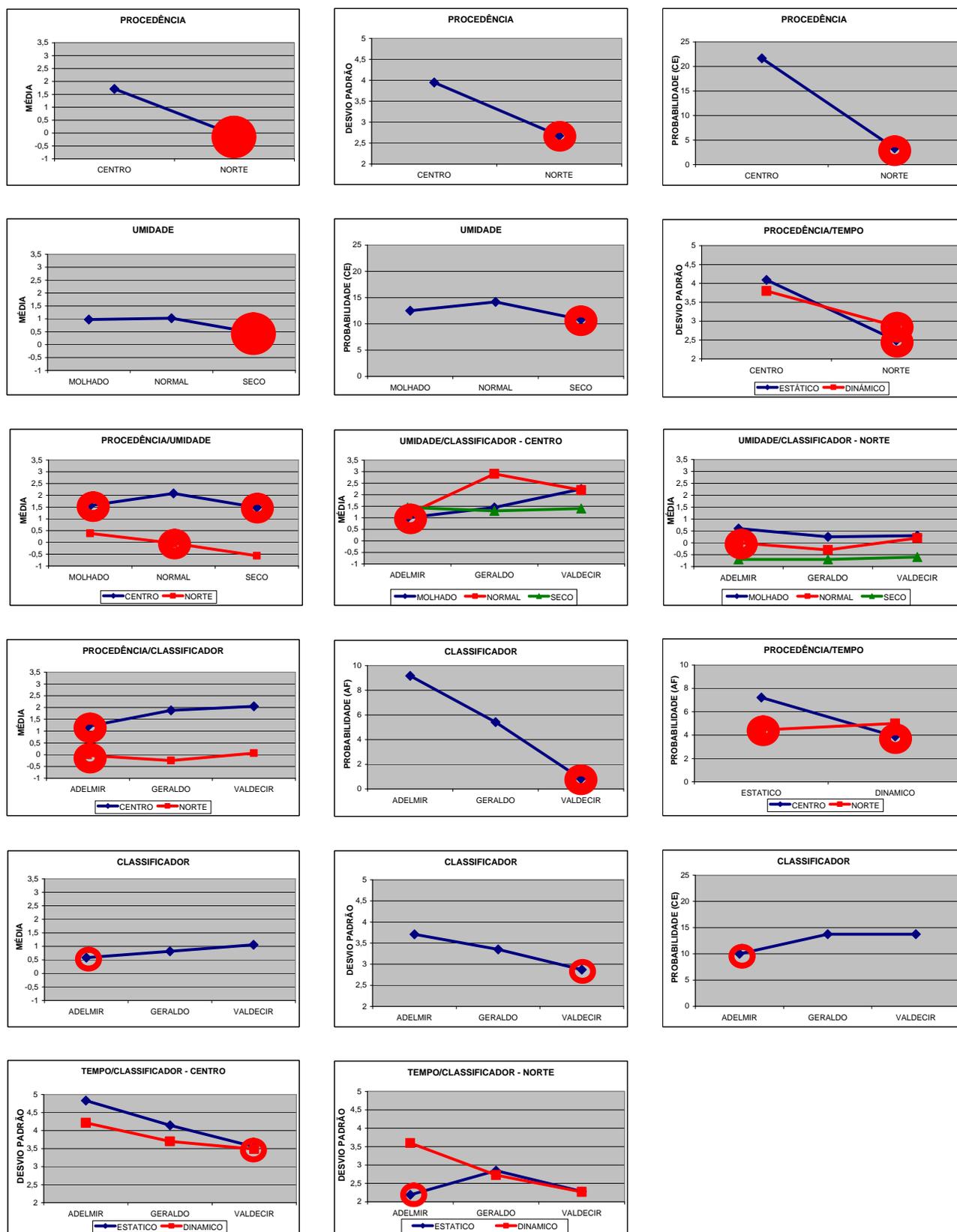


Figura B-8 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NAPLEX PRETO na sua relação semi-acabado *versus wet blue*.

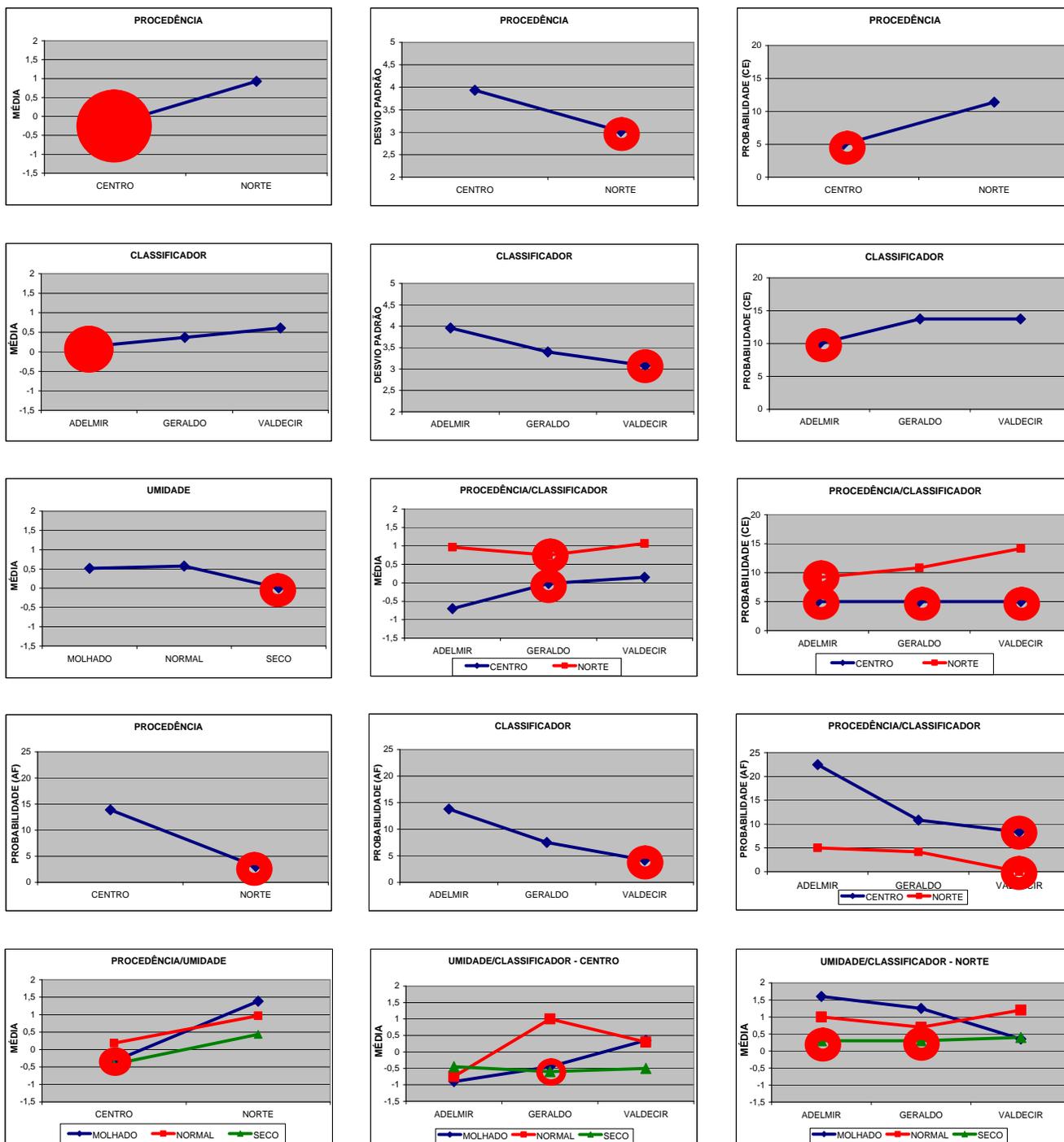


Figura B-9 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NAPLEX PRETO na sua relação acabado *versus wet blue*.

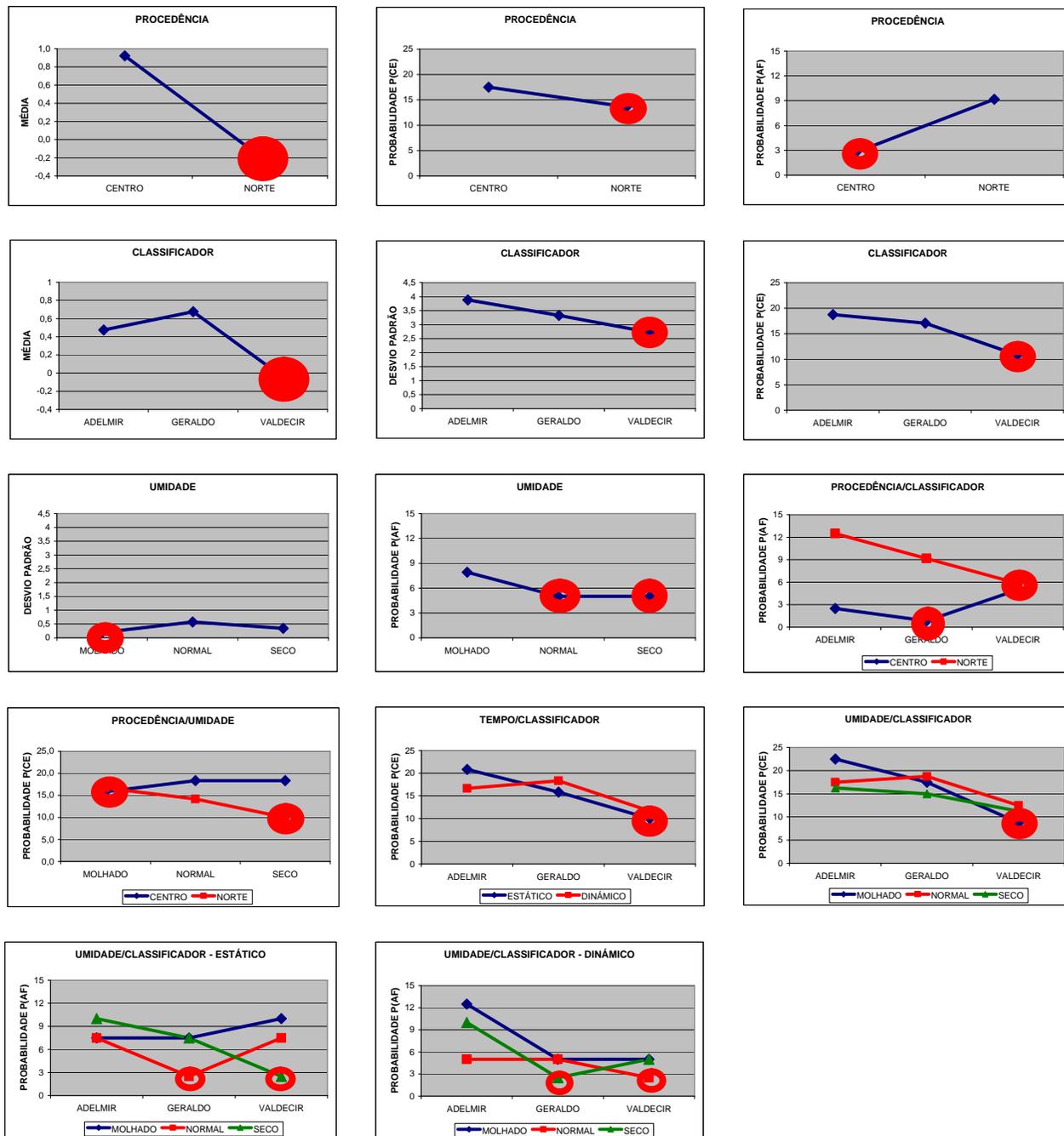


Figura B-10 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo DIAMOND PRETO na sua relação *wet blue versus wet blue*.

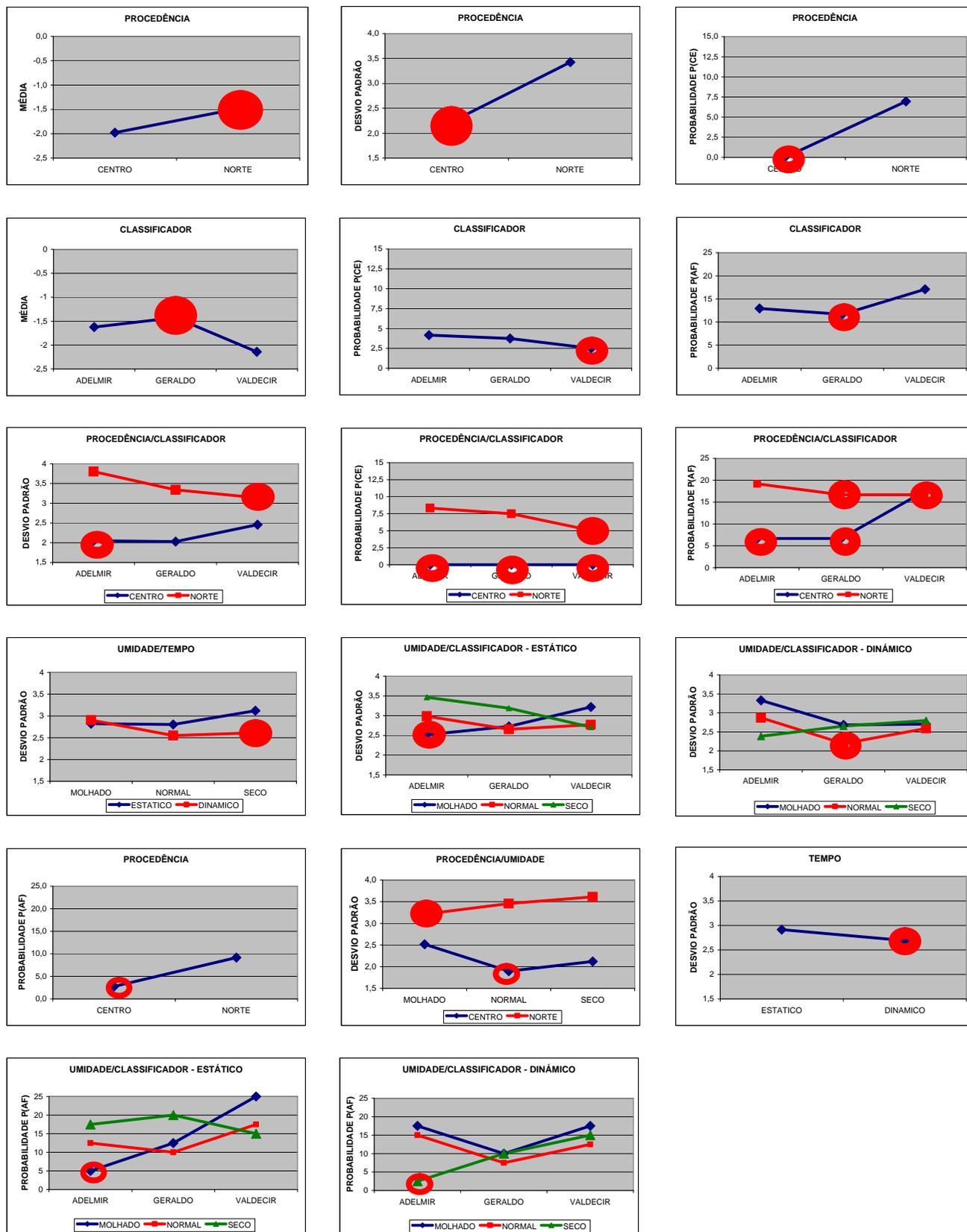


Figura B-11 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo DIAMOND PRETO sua relação semi-acabado versus wet blue.

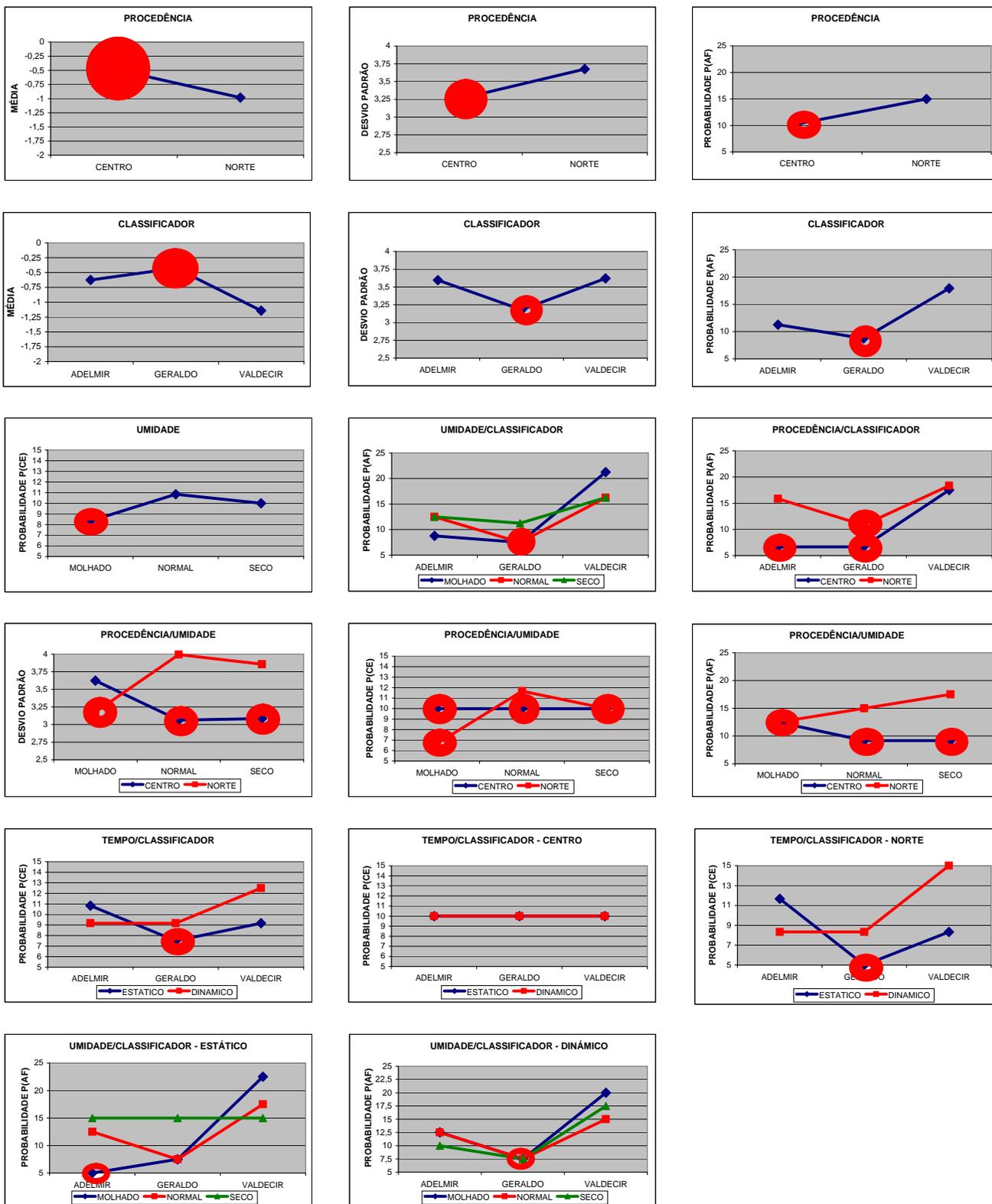


Figura B-12 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo DIAMOND PRETO na sua relação acabado versus wet blue.

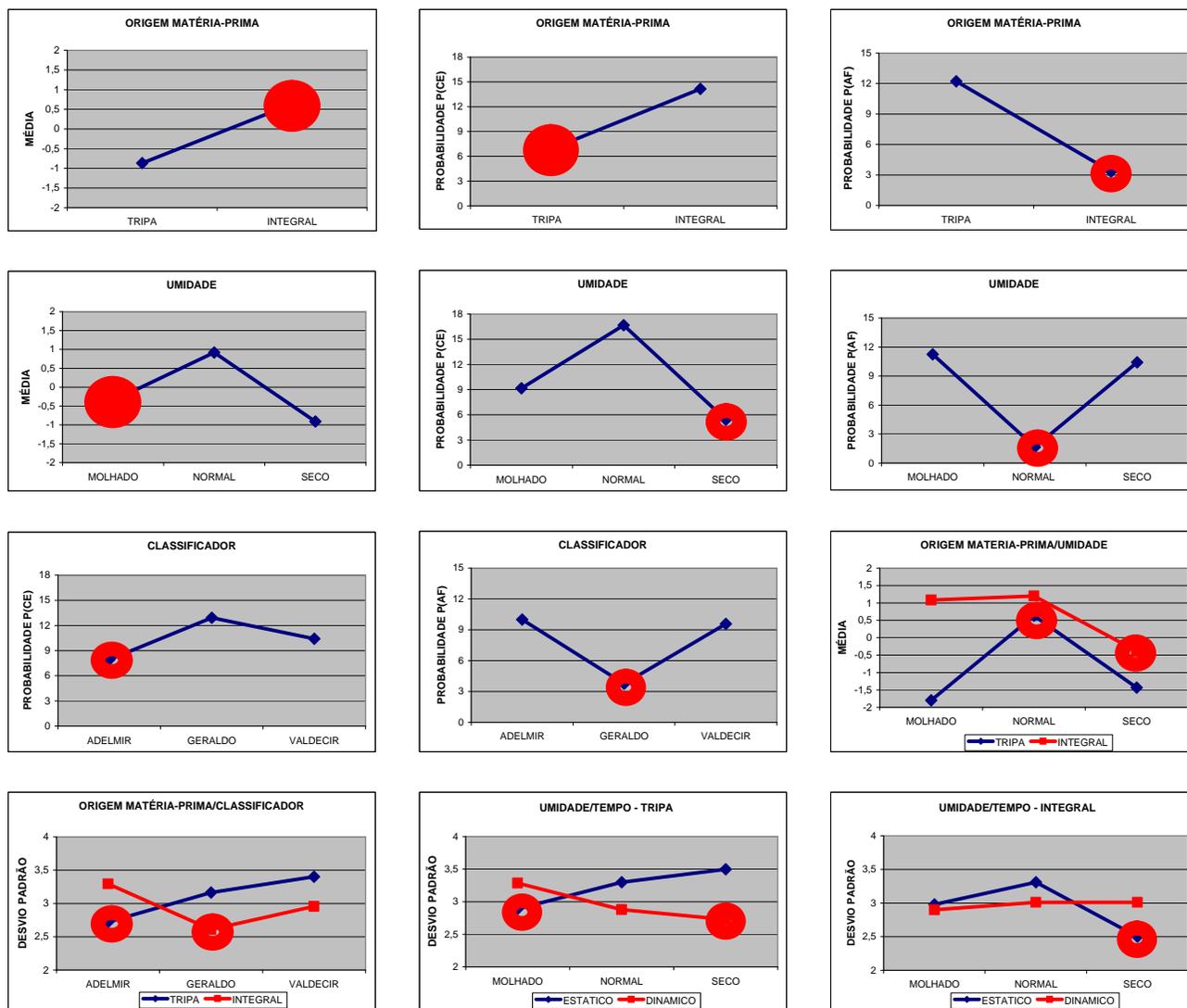


Figura B-13 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NUBUCK BEGE na sua relação *wet blue versus wet blue*.

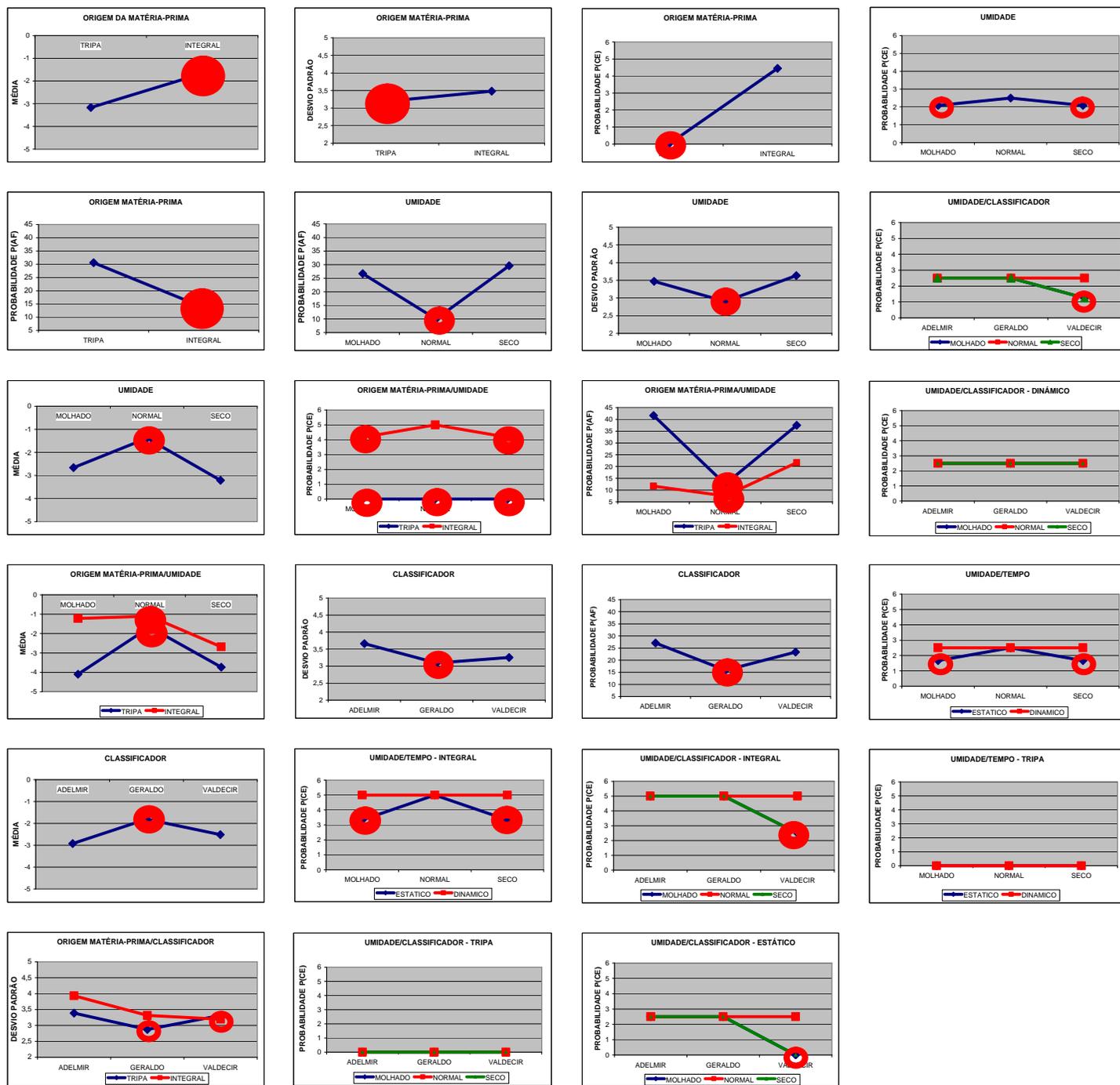


Figura B-14 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NUBUCK BEGE na sua relação semi-acabado *versus wet blue*.

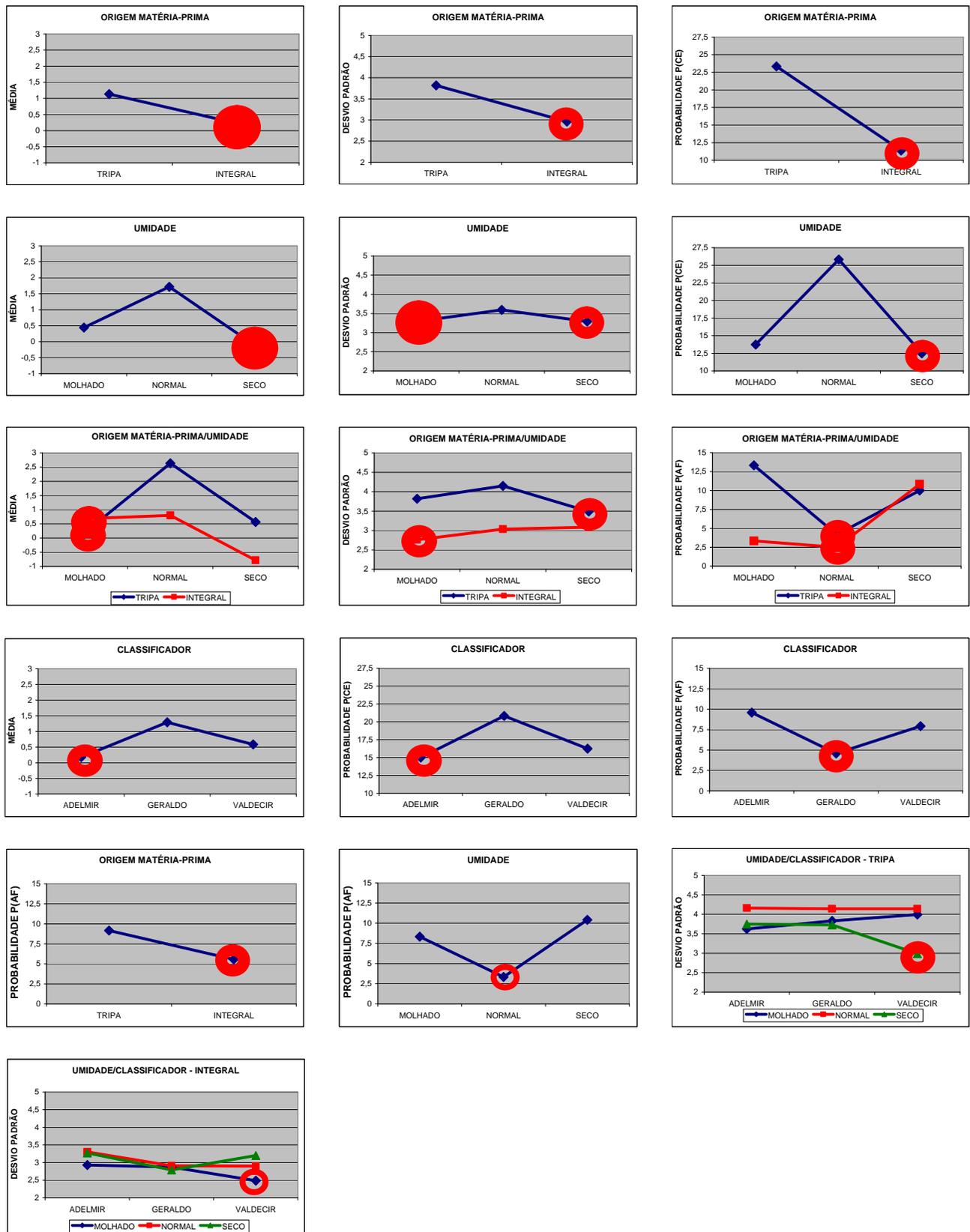


Figura B-15 Representação gráfica dos distintos efeitos principais e interações sobre as variáveis de resposta: Média, Desvio Padrão, Probabilidade de Alarme Falso e Probabilidade de Classificação Errada para o artigo NUBUCK BEGE na sua relação acabado *versus wet blue*.

APÊNDICE C

Este anexo contém os diagramas de árvore que foram utilizados para a análise de otimização de cada um dos artigos testados.

			UMIDADE	TEMPO	CLASSIFICADOR	CENTRO	NORTE	
NAPLEX	Y1 WET BLUE - WET BLUE	MÉDIA	CENTRO	SECO/MOLHADO	INDIFERENTE	ADELMIR	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM ADELMIR, CLASSIFICANDO DINÂMICO E COM BLUE MOLHADO SEGUIDO DE PERTO PELO NORMAL. NESTE TIPO DE PROCED	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, CLASSIFICANDO DINÂMICO E BLUE NORMAL.
			NORTE	SECO	INDIFERENTE	ADELMIR/VALDECIR		
		DESVIO PAD	CENTRO	MOLHADO	DINÂMICO	ADELMIR		
			NORTE	INDIFERENTE	DINÂMICO	VALDECIR		
		PROB (CE)	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	ADELMIR		
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	GERALDO		
		PROB (AF)	CENTRO	MOLHADO	DINÂMICO	VALDECIR		
			NORTE	INDIFERENTE	DINÂMICO	VALDECIR		
	Y2 WET BLUE - SEMI	MÉDIA	CENTRO	MOLHADO/SECO	INDIFERENTE	ADELMIR	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, MÉTODO DINÂMICO (LEVEMENTE MELHOR) E CLASSIFICANDO SECO	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, MÉTODO DINÂMICO E BLUE SECO. NESTA PROCEDÊNCIA SE CONCENTRAM OS MELHORES RESULTADOS
			NORTE	NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO		
		DESVIO PAD	CENTRO	INDIFERENTE	ESTÁTICO	VALDECIR		
			NORTE	INDIFERENTE	ESTÁTICO	ADELMIR		
		PROB (CE)	CENTRO	SECO	INDIFERENTE	ADELMIR		
			NORTE	SECO	INDIFERENTE	ADELMIR		
		PROB (AF)	CENTRO	INDIFERENTE	DINÂMICO	VALDECIR		
			NORTE	INDIFERENTE	ESTÁTICO	VALDECIR		
	Y3 WET BLUE - ACAB	MÉDIA	CENTRO	SECO/MOLHADO	INDIFERENTE	GERALDO/VALDECIR	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, MÉTODO INDIFERENTE E CLASSIFICANDO SECO (MAIS ROBUSTO COM O MOLHADO SE CONSEGUE OTIMIZAR). COM O	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, O MÉTODO E INDIFERENTE E O MELHOR ESTÁGIO É SECO.
			NORTE	SECO	INDIFERENTE	GERALDO		
		DESVIO PAD	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
		PROB (CE)	CENTRO	UMIDADE	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
			NORTE	UMIDADE	INDIFERENTE	ADELMIR		
		PROB (AF)	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
	Y4 ACAB - SEMI	MÉDIA	CENTRO	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE PIOR QUE ACABADO E PIOR QUE EM BLUE				
			NORTE	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE MELHOR QUE ACABADO E MELHOR QUE EM BLUE				
		DESVIO PAD	CENTRO	O DESVIO FOI MAIOR CLASSIFICANDO EM SEMI QUE NÃO CLASSIFICANDO				
			NORTE	O DESVIO FOI MENOR CLASSIFICANDO EM SEMI QUE NÃO CLASSIFICANDO				
PROB (CE)		CENTRO	A CLASSIF. SEMI NÃO DETECTOU DEFEITOS. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 5 %					
		NORTE	A CLASSIF. SEMI DETECTOU UM DEFEITO. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 0 % E 5 % (SEM CLASSIFICAR)					
PROB (AF)		CENTRO	A CLASSIFICAÇÃO EM SEMI CLASSIFICOU 3 PELES BOAS COMO RUINS. P(AF) = 15 %					
		NORTE	A CLASSIFICAÇÃO EM SEMI NÃO CLASSIFICOU PELES BOAS COMO RUINS					

Figura C-16 Representação dos melhores resultados para cada uma das variáveis de resposta e fatores controláveis para o artigo NAPLEX PRETO

			UMIDADE	TEMPO	CLASSIFICADOR	CENTRO	NORTE	
DIAMOND	Y1 WET BLUE - WET BLUE	MÉDIA	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, CLASSIFICANDO ESTÁTICO E BLUE SECO.	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, CLASSIFICANDO ESTÁTICO E BLUE SECO.
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
		DESVIO PAD	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
		PROB (CE)	CENTRO	MOLHADO	INDIFERENTE	VALDECIR		
			NORTE	SECO	ESTÁTICO	VALDECIR		
		PROB (AF)	CENTRO	SECO/NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO		
			NORTE	SECO	INDIFERENTE	VALDECIR		
	Y2 WET BLUE - SEMI	MÉDIA	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	GERALDO	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM ADELMIR, MÉTODO INDIFERENTE E CLASSIFICANDO SECO SEGUIDO POR NORMAL. OS COUROS DO CENTRO FICAM ALINHADOS COM	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM VALDECIR, O MÉTODO E UMIDADE SÃO INDIFERENTES
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	GERALDO		
		DESVIO PAD	CENTRO	NORMAL	DINÂMICO	GERALDO		
			NORTE	INDIFERENTE	DINÂMICO	VALDECIR		
		PROB (CE)	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	VALDECIR		
		PROB (AF)	CENTRO	SECO/MOLHADO	DINAM/ESTÁT	ADELMIR		
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	GERALDO/VALDECIR		
	Y3 WET BLUE - ACAB	MÉDIA	CENTRO	INDIFERENTE	INDIFERENTE	GERALDO	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM GERALDO, MÉTODO INDIFERENTE E CLASSIFICANDO SECO.. OS COUROS DO CENTRO FICAM ALINHADOS COM A CLASSIF. ACAB (TANTO	O MELHOR RESULTADO SE ALCANÇA COM GERALDO, O MÉTODO E INDIFERENTE E O MELHOR ESTÁGIO É MOLHADO
			NORTE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	GERALDO		
		DESVIO PAD	CENTRO	NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO		
			NORTE	MOLHADO	INDIFERENTE	GERALDO		
		PROB (CE)	CENTRO	NORMAL/SECO	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
			NORTE	MOLHADO	ESTÁTICO	GERALDO		
		PROB (AF)	CENTRO	NORMAL/SECO	INDIFERENTE	GERALDO/ADELMIR		
			NORTE	MOLHADO	DINAMICO	GERALDO		
	Y4 ACAB - SEMI	MÉDIA	CENTRO	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE MELHOR QUE ACABADO E PIOR QUE EM BLUE				
			NORTE	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE MELHOR QUE ACABADO E MELHOR QUE EM BLUE				
		DESVIO PAD	CENTRO	O DESVIO FOI MAIOR CLASSIFICANDO EM SEMI QUE NÃO CLASSIFICANDO				
			NORTE	O DESVIO FOI MENOR CLASSIFICANDO EM SEMI QUE NÃO CLASSIFICANDO				
PROB (CE)		CENTRO	A CLASSIF. SEMI NÃO DETECTOU DEFEITOS. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 5 %					
		NORTE	A CLASSIF. SEMI DETECTOU UM DEFEITO. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 5 % E 10 % (SEM CLASSIFICAR)					
PROB (AF)		CENTRO	A CLASSIFICAÇÃO EM SEMI NÃO CLASSIFICOU PELES BOAS COMO RUINS					
		NORTE	A CLASSIFICAÇÃO EM SEMI NÃO CLASSIFICOU PELES BOAS COMO RUINS					

Figura C-17 Representação dos melhores resultados para cada uma das variáveis de resposta e fatores controláveis para o artigo DIAMOND PRETO

			UMIDADE	TEMPO	CLASSIFICADOR	TRIPA	INTEGRAL	
NUBUCK BEGE	Y1 WET BLUE - WET BLUE	MÉDIA	TRIPA	NORMAL	INDIFERENTE	INDIFERENTE	BLUE SECO SEGUIDO POR NORMAL E CLASSIFICADOR GERALDO. MELHORA A P(CE) SOBRE O INTEGRAL	BLUE SECO SEGUIDO POR NORMAL E CLASSIFICADOR GERALDO. MELHORA A P(AF) SOBRE TRIPA
			INTEGRAL	SECO	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
		DESVIO PAD	TRIPA	INDIFERENTE	INDIFERENTE	ADELMIR		
			INTEGRAL	SECO	ESTÁTICO	INDIFERENTE		
		PROB (CE)	TRIPA	SECO	INDIFERENTE	ADELMIR/GERALDO		
			INTEGRAL	SECO	INDIFERENTE	ADELMIR/GERALDO		
		PROB (AF)	TRIPA	NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO		
			INTEGRAL	NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO		
	TANTO PARA TRIPA COMO PARA INTEGRAL O BLUE SECO É A MELHOR OPÇÃO DEIXANDO O SIST.							
	Y2 WET BLUE - SEMI	MÉDIA	TRIPA	NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO	BLUE NORMAL E CLASSIFICADOR GERALDO. MELHORA A P(CE) SOBRE O TRIPA	BLUE SECO, MÉTODO DINÂMICO E CLASSIFICADOR VALDECIR. MELHORA A P(AF) SOBRE O INTEGRAL
			INTEGRAL	NORMAL	INDIFERENTE	INDIFERENTE		
		DESVIO PAD	TRIPA	NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO		
			INTEGRAL	NORMAL	INDIFERENTE	VALDECIR		
		PROB (CE)	TRIPA	INDIFERENTE	DINÂMICO	INDIFERENTE		
			INTEGRAL	MOLHADO/SECO	INDIFERENTE	VALDECIR		
		PROB (AF)	TRIPA	NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO		
			INTEGRAL	NORMAL	INDIFERENTE	VALDECIR		
	Y3 WET BLUE - ACAB	MÉDIA	TRIPA	MOLHADO	INDIFERENTE	VALDECIR	BLUE SECO, MÉTODO INDISTINTO E CLASSIFICADOR VALDECIR E ADELMIR. TODAS AS VARIÁVEIS PIORAM COM O TRIPA	BLUE MOLHADO, MÉTODO INDISTINTO E CLASSIFICADOR VALDECIR E ADELMIR. NO INTEGRAL MELHORAM A P(CE) E P(AF)
			INTEGRAL	SECO	INDIFERENTE	ADELMIR		
		DESVIO PAD	TRIPA	SECO	INDIFERENTE	VALDECIR		
			INTEGRAL	MOLHADO	INDIFERENTE	VALDECIR		
		PROB (CE)	TRIPA	SECO/MOLHADO	INDIFERENTE	VALDECIR/ADELMIR		
			INTEGRAL	SECO	INDIFERENTE	ADELMIR/VALDECIR		
		PROB (AF)	TRIPA	NORMAL	INDIFERENTE	VALDECIR		
INTEGRAL			NORMAL	INDIFERENTE	GERALDO			
Y4 ACAB - SEMI	MÉDIA	TRIPA	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE MELHOR QUE EM BLUE E ACABADO					
		INTEGRAL	EXCLUINDO AS PELES NÃO APTAS EM BLUE O LOTE APRESENTOU-SE IGUAL A CLASSIF BLUE E ACABADO					
	DESVIO PAD	TRIPA	OS DESVIOS FORAM PRÓXIMOS CLASSIFICANDO EM SEMI OU NÃO CLASSIFICANDO					
		INTEGRAL	O DESVIO DO ACABADO-BLUE FOI BEM MENOR QUE O DE ACABADO-SEMI					
	PROB (CE)	TRIPA	A CLASSIF. SEMI NÃO DETECTOU DEFEITOS. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 25 %					
		INTEGRAL	A CLASSIF. SEMI NÃO DETECTOU DEFEITOS. O VALOR PARA AMBOS CASOS FOI P(CE) = 5 %					
	PROB (AF)	TRIPA	A CLASSIFICAÇÃO EM SEMI NÃO CLASSIFICOU PELES BOAS COMO RUINS					
		INTEGRAL	NA CLASSIFICAÇÃO EM SEMI HOUVE UMA PELE BOA REFUGADA. O VALOR DE P (AF) = 5 %					

Figura C-18 Representação dos melhores resultados para cada uma das variáveis de resposta e fatores controláveis para o artigo NUBUCK BEGE

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.