FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E GESTÃO INDUSTRIAL

PORTUCEL EMBALAGEM

UNIDADE DE GUILHABREU

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

LICENCIATURA EM GESTÃO E ENGENHARIA INDUSTRIAL

ESTUDO DA CAPACIDADE DO PROCESSO

Nuno José Ribeiro Pereira

Orientadores

Professor Doutor Rui Campos Guimarães
Engenheiro António de Abreu Ferreira
Engenheiro José Alves
Engenheiro Rui Pereira

621(047.3)DEMEGI
GEI513 1999/PERn

Dezembro de 1999

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E GESTÃO INDUSTRIAL

PORTUCEL EMBALAGEM

UNIDADE DE GUILHABREU

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

LICENCIATURA EM GESTÃO E ENGENHARIA INDUSTRIAL

ESTUDO DA CAPACIDADE DO PROCESSO

Nuno José Ribeiro Pereira

Orientadores

Professor Doutor Rui Campos Guimarães
Engenheiro António de Abreu Ferreira
Engenheiro José Alves
Engenheiro Rui Pereira

Dezembro de 1999

AGRADECIMENTOS

Muitas contribuições foram dadas para a realização deste trabalho, tanto a nível profissional, como pessoal. Não queria, no entanto deixar de particularizar alguns agradecimentos.

Ao Engenheiro José Alves, responsável pelo Núcleo da Qualidade da unidade de Guilhabreu, por ter acompanhado diariamente os trabalhos desenvolvidos pelo estagiário, estando sempre disponível para todos os esclarecimentos e apoios orientativos para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Doutor Rui Campos Guimarães, Docente do GEIN, pela orientação que conferiu ao estudo e pelo interesse manifestado ao longo de todo o estágio.

Aos Engenheiros António de Abreu Ferreira e Rui Pereira, responsáveis pelo Serviço da Qualidade, pela boa coordenação e imparcialidade demonstrada em todas as reuniões realizadas.

Ao Professor José Luís Saraiva Ramos, Auditor externo, que orientou centralmente os trabalhos desenvolvidos nas 3 unidades da Portucel Embalagem.

Aos Senhores Bernardino Lisboa e Silvestre Costa, Chefes de turno, que prestaram todas as informações possíveis sobre a caneladora.

Aos Senhores Fernando Ferreira e Henrique Pinho, Analistas do laboratório, por todo o apoio prestado na realização dos ensaios laboratoriais.

Ao Engenheiro João Lopes Farias, Presidente do Conselho de Administração e ao Engenheiro Guilherme Leal da Silva, Director da unidade de Guilhabreu, pela oportunidade que me concederam em estagiar na Portucel Embalagem.

621(047.3)DEMEGI/GEI 513 1999/PERn

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
Nº 68089
CDU 621(047-3)
Data 5/8/2003

ÍNDICE

Página

1. INTRODUÇÃO GERAL 1
2. APRESENTAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO 2
   2.1. Síntese histórica 2
   2.2. Organigrama da Portucel Embalagem e da unidade de Guilhabreu 4
   2.3. Lógica de desenvolvimento actual 5
   2.4. Mercados 5
3. PRODUTOS UTILIZADOS 6
   3.1. Matéria-prima principal: o papel 6
      3.1.1. Tipos de papel 6
      3.1.2. Métodos de ensaio para medição das características físicas 6
         3.1.2.1. RCT 8
         3.1.2.2. Rebentamento 8
         3.1.2.3. CMT_{30} 8
         3.1.2.4. $Cobb_{60}$ 9
      3.1.3. Especificações nominais 9
      3.1.4. Principais defeitos 10
   3.2. Matérias subsidiárias : cola 11
4. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO DO CARTÃO 12
   4.1. Breve introdução 12
   4.2. Caneladora 13
      4.2.1. Unidades funcionais 14
         4.2.1.1. Simples face 14
         4.2.1.2. Coladeira 16
         4.2.1.3. Mesa de secagem 17
         4.2.1.4. Cortadora transversal simples 17
         4.2.1.5. Cortadora vincadora longitudinal 17
         4.2.1.6. Cortadora dupla transversal 17
         4.2.1.7. Transportador e emplilhador de saída 17
      4.2.2. Programas 18
      4.2.3. Regulação dos parâmetros 18

5. CARTÃO CANELADO 20
5.1. Tipos de caneluras 20
5.2. Tipos de cartão 21
5.3. Codificação do cartão 22
5.4. Características físicas 24
5.4.1. Métodos de ensaio para medição das características físicas 25
5.4.1.1. ECT 25
5.4.1.2. FCT 25
5.4.1.3. Rebentamento 25
5.4.1.4. BCT 25
5.4.2. Especificações nominais 28
6. ESTUDO DA CAPACIDADE DO PROCESSO 29
6.1. Sumário da metodologia seguida 29
6.2. Fase I 32
6.2.1. Selecção de variáveis a controlar 32
6.2.2. Selecção de cartões 33
6.3. Fase II – Análise de efeitos 34
6.3.1. Análise do efeito composição 34
6.3.1.1. Comparação de vários tratamentos – Desenho com um factor a vários níveis 36
6.3.1.1.1. Metodologia e modelo matemático de efeitos fixos 36
6.3.1.1.2. Análise de resíduos 37
6.3.1.1.2.1. Normalidade dos resíduos 38
6.3.1.1.2.2. Resíduos em função do tempo 38
6.3.1.1.2.3. Resíduos em função dos valores estimados 39
6.3.1.2. Conclusões sobre ECT das composições 39
6.3.2. Análise do efeito posição 41
6.3.2.1. Blocos Aleatórios Completos 43
6.3.2.2. Metodologia e modelo matemático com dois efeitos fixos 43
6.3.2.2.1. Matriz de resultados do ECT
6.3.2.2.1.1. Análise de resíduos 44
6.3.2.2.1.1.1. Normalidade dos resíduos 44
6.3.2.2.1.1.2. Resíduos em função do tempo 45
6.3.2.2.1.1.3. Resíduos em função dos valores estimados 45
6.3.2.3. Conclusões 46

6.3.2.3.1. Matriz de resultados do FCT 47
6.3.2.3.1.1. Análise de resíduos 48
6.3.2.3.1.1.1. Normalidade dos resíduos 48
6.3.2.3.1.1.2. Resíduos em função do tempo 48
6.3.2.3.1.1.3. Resíduos em função dos valores médios 49
6.3.2.4. Conclusões 49
6.4. Fase III – Estimação de parâmetros 51
6.4.1. Controlo de dados históricos 51
6.4.1.1. Verificação de normalidade 52
6.4.1.1.1. Histograma de frequências 52
6.4.1.1.2. Teste de normalidade 52
6.4.2. Cartas de Valores Individuais e Amplitudes Móveis 53
6.4.2.1. Causas assinaláveis 56
6.4.3. Índices de Capacidade Preliminares 57
6.4.3.1. Índice C_p 57
6.4.3.2. Índice C_{pk} 58
6.5. Fase IV – Controlo Estatístico do Processo 61
6.5.1. Cartas de Controlo Padronizadas para *Short runs* 61
6.5.2. Amostragem para as Cartas de Controlo 62
6.5.2.1. Análise do Efeito Programa 62
6.5.2.1.1. Teste de variância com modelo de efeitos mistos 62
6.5.2.2. Conclusões 63
6.5.3. Representação das Cartas de Controlo 64
6.5.4. Índices de Capacidade do Processo 64
6.5.5. Conclusões 64
7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES 67
REFERÊNCIAS 68
ANEXOS 69

1. INTRODUÇÃO GERAL

O objectivo central do estágio foi a realização de um estudo sobre a capacidade do processo na Portucel Embalagem, uma empresa produtora de embalagens de cartão.

Esta empresa é certificada pela Associação Portuguesa de Certificação para a Qualidade (APCER) segundo a norma ISO 9002, desde Setembro de 1995, sendo anualmente sujeita a uma auditoria de revisão dos procedimentos exigidos pela norma.

No decurso da última auditoria, realizada em Janeiro de 1999, a equipa auditora da APCER detectou uma não conformidade, relacionada com a norma 4.20 – Técnicas estatísticas, imposta pelo Sistema da Qualidade da norma ISO 9002.

Segundo o relatório de auditoria ao Sistema da Qualidade, "[NC 13] – A empresa não tem identificadas as necessidades das técnicas estatísticas, nomeadamente para verificar a capacidade do processo e melhorar as características do produto", acrescentando-se ainda neste mesmo relatório que "foi comunicado à equipa auditora a intenção de iniciar em breve um estudo de capacidade do processo, que se encontra previsto nos objectivos para 1999".

Foi com a intenção de tomar as acções correctivas, relativamente a esta não conformidade, que a empresa criou em Março de 1999, uma equipa de projecto da qual o autor deste relatório fez parte, desenvolvendo o seu estágio na unidade de Guilhabreu, situada no concelho de Vila do Conde.

Este relatório descreve os procedimentos seguidos para controlar e determinar a capacidade do processo, explicitando todas as fases cumpridas até atingir este objectivo, incluindo análises preliminares desenvolvidas com o objectivo de caracterizar factores que poderiam influenciar negativamente as conclusões finais.

O relatório pode ser dividido em três partes. Na primeira, que inclui os capítulos 2 a 5, apresentam-se sucessivamente, o local de estágio, os produtos utilizados, o processo de produção das pranchas de cartão e as propriedades do cartão canelado.

Na segunda parte, que corresponde ao capítulo 6, é apresentada a metodologia seguida para caracterizar o processo de produção de pranchas de cartão na Unidade de Guilhabreu e determinar os índices de capacidade.

Na terceira parte, que inclui o capítulo 7, são indicadas conclusões gerais do estágio e sugestões para o prosseguimento da análise efectuada.

2. APRESENTAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO

2.1. Síntese histórica

Decorriam os anos 50 quando um grupo restrito de grandes produtores de trigo oriundos de Évora teve conhecimento de que em Inglaterra e em França se tinha desenvolvido uma tecnologia avançada que permitia a utilização da palha de trigo para o fabrico de papel, dado o teor de celulose contido naquele cereal. Decidem-se então pela construção de uma fábrica em Mourão, na margem do rio Guadiana, devido ao facto de o fabrico do papel exigir grandes quantidades de água.

Em 1955, os equipamentos são fornecidos e instalados pelas firmas Inglesas Millspaugh Co para fabricação de papel e Thrissell Engineering para produção de cartão e de caixas de cartão canelado, sendo contratados alguns ex-colaboradores da fábrica de papel Matrena para no final deste mesmo ano, dar início à fabricação de papel e caixas de cartão.

Estava então criada uma nova empresa chamada Celuloses do Guadiana SARL.Todavia, a administração sem experiência neste tipo de actividade, foi incapaz de criar um corpo técnico que resolvesse os problemas industriais e também um grupo comercial que conseguisse impor no mercado nacional o produto acabado.

Foi nesta situação de crise que interveio a Companhia União Fabril (CUF) que, após uma auditoria técnica ao equipamento, concluiu pela viabilidade da empresa e a adquiriu. Os novos administradores contrataram um técnico papeleiro austríaco e alargaram os quadros da empresa, com a admissão de pessoal qualificado. Foi criado um departamento comercial a funcionar na sede, em Lisboa, e em pouco tempo a situação mudou radicalmente.

Na fábrica, a qualidade do papel melhorou, ao mesmo tempo que se importavam da Escandinávia bobinas de papel *kraft* de 1ª qualidade, para utilizar como folha exterior do cartão, sendo a folha interior executada com um papel de fabrico próprio a que se chamou *semi-kraft* e que resultou da mistura de palha de trigo e de pasta *kraft* de madeira de pinheiro.

Assim, com um produto final de qualidade e um departamento comercial agressivo, a empresa entrou em expansão e dentro de pouco tempo as caixas do Guadiana eram utilizadas em todo o país, conquistando uma quota maioritária no mercado da embalagem. No entanto, dado que a grande maioria dos clientes se situava acima do vale do Tejo o custo da embalagem era muito afectado pelos elevados custos de transporte.

A empresa optou por construir uma nova fábrica na área de Lisboa, transferindo as máquinas da fábrica de Mourão para a fábrica que viria a designar-se Unidade Fabril de Albarraque, situada no concelho de Sintra.

O negócio começou a expandir-se, e em 1969, iniciou-se a construção de uma nova fábrica, no lugar de Guilhabreu, concelho de Vila do Conde, a cerca de 30 Km da cidade do Porto. Com esta fábrica, cuja designação viria a ser Unidade Fabril de Guilhabreu, ficou assegurado o fornecimento de embalagens Guadiana por todo o país.

Seguiram-se os melhores anos de vida da empresa, que era a mais rentável do grupo CUF. Após o 25 de Abril de 1974, um dos sectores nacionalizados foi o da indústria de celulose, na qual se incluía a empresa Celuloses do Guadiana.

Foi então criada, por decreto lei de 1975, a comissão de reestruturação da indústria de celulose, visando a criação de uma única empresa. Este facto que só viria a ser consumado em 1976, com a fusão das empresas Companhia Portuguesa de Celuloses (Aveiro), Celnorte (Viana do Castelo), Celtejo (Vila Velha de Rodão), Socel (Setúbal) e Celuloses do Guadiana (Mourão e Guilhabreu) deu origem à Portucel, E.P. - Empresa de Celulose e Papel de Portugal.

A Celulose do Guadiana deu origem à direcção embalagem que integrava as fábricas de Mourão, Albarraque e Guilhabreu sendo posteriormente construída uma nova unidade fabril no centro do país, no lugar de Marrazes, situada no concelho de Leiria.
Com esta fusão a Portucel tornou-se auto-suficiente ao nível dos papéis, passando a consumir unicamente papéis do grupo.

Em 1993, a Portucel sofreu novas transformações: a empresa deixou de ser E.P. (Empresa pública) e organizou-se como um grupo, iniciando-se um processo de privatização. Na Figura 2.1 apresenta-se a constituição do grupo, nele se destacando a Gescartão S.F.P.S, na qual se incorporam as fábricas implicadas na produção de embalagens de cartão canelado, em particular a Portucel Embalagem.

2.2. Organograma geral da Portucel Embalagem e da unidade de Guilhabreu

Na Figura 2.2 apresenta-se o organograma geral da Portucel Embalagem. O organograma da unidade de Guilhabreu inclui-se na Figura 2.3.

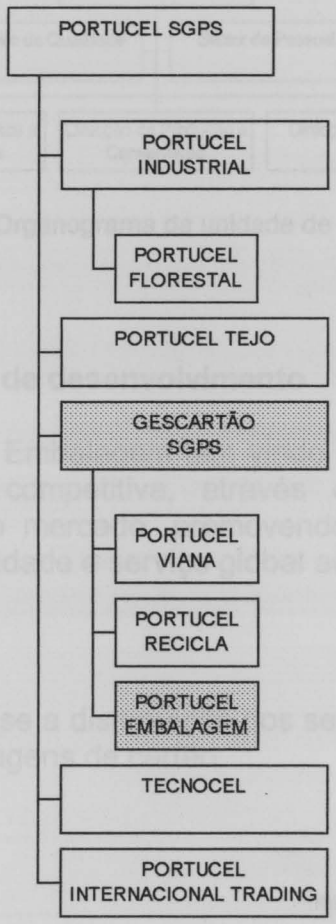

Figura 2.1 – Constituição do Grupo Portucel

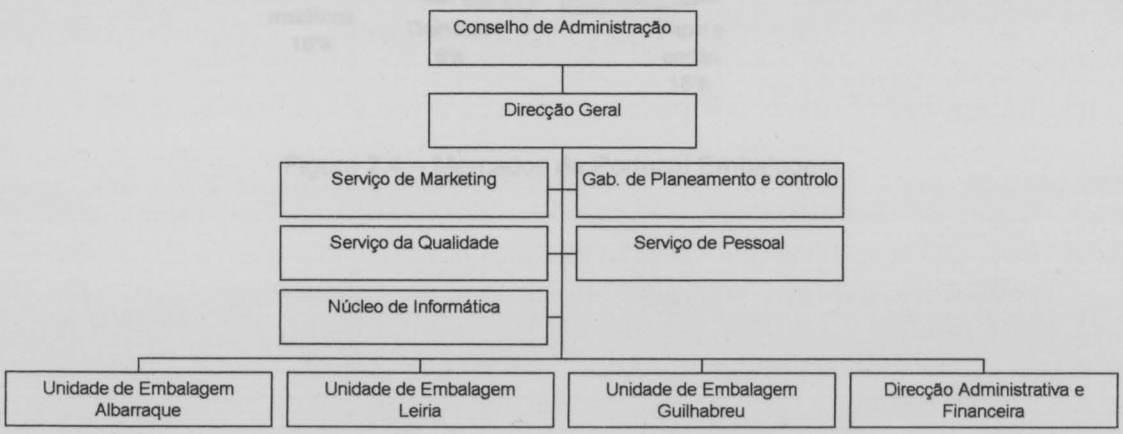

Figura 2.2. – Organograma da Portucel Embalagem

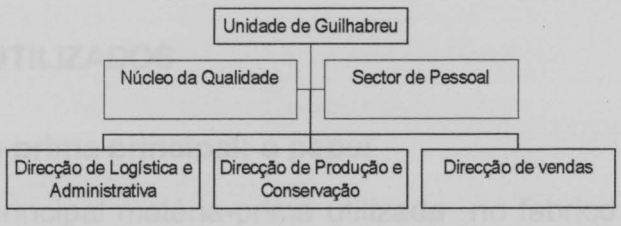

Figura 2.3 – Organograma da unidade de Guilhabreu

2.3. Estratégia actual de desenvolvimento

A estratégia da Portucel Embalagem tem vindo a ser orientada no sentido de reforçar sua posição competitiva, através da consolidação do seu posicionamento de líder do mercado, promovendo factores diferenciadores respeitantes à imagem, qualidade e serviço global ao cliente.

2.4. Mercados

Na Figura 2.4 apresenta-se a distribuição dos sectores de mercado para os quais se destinam as embalagens de cartão.

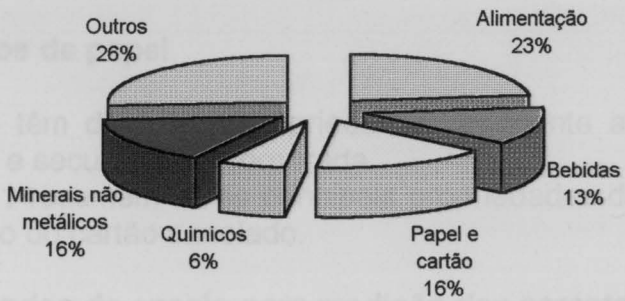

Figura 2.4 – Mercados da Portucel Embalagem

3. PRODUTOS UTILIZADOS

3.1. Matéria-prima principal: o papel

O papel é a principal matéria-prima utilizada no fabrico do cartão, sendo por este motivo objecto deste capítulo, que precede à descrição do processo.

O papel é fornecido na forma de bobinas, com peso médio de 2.5 toneladas, larguras que vão desde os 1.60 aos 2.45 metros e comprimento total de papel que ronda os 8500 metros.

Salientem-se, desde já, os tipos de papéis utilizados pela empresa:

- Papéis de cobertura (as coberturas são duas, uma da face interior e outra da face exterior) - *Liner*: *Kraftliners* e *Testliners*.
- Papéis para ondular - *Fluting*: Ondulados (ODC,ODE), Semi-Químico (SQ) e Semi-Químico Reciclado (SQR).

Os principais fornecedores são as empresas do grupo, nomeadamente a Portucel Recicla, para papéis de cobertura e de ondular reciclados, e a Portucel Viana, para papéis de cobertura *Kraft*. Há também fornecedores estrangeiros como a Finboard (da Finlândia), donde provêm papéis de cobertura branca (*White*-Top Krafliner).

3.1.1. Tipos de papel

Os papéis têm diferentes propriedades consoante a percentagem de fibra primária e secundária incorporada.

Na Tabela 3.1 resumem-se as principais propriedades dos papéis usados para produção do cartão canelado.

3.1.2. Métodos de ensaio para medição das características físicas

As características físicas dos papéis são determinadas através da realização de ensaios laboratoriais e os procedimentos de ensaio são efectuados de acordo com normas internacionais. É de salientar que todas as características físicas ensaiadas tomam o nome do ensaio realizado.

A Portucel Embalagem possui um laboratório central acreditado, onde são ensaiadas e conferidas as características dos papéis. Em cada unidade fabril existe ainda um laboratório que permite apenas controlar as principais características, já que não possui todo o equipamento de que o laboratório central está dotado.

Nas secções seguintes apresentam-se os métodos de ensaio utilizados para determinar as principais características físicas.

Tabela 3.1 - Propriedades do papel

	Coberturas
Kraftliner	Os papéis *Kraft* podem ser de dois tipos. Os da face exterior e interior castanha, com incorporação de fibra secundária – KLB (*Krafliner Board*) e os papéis de face exterior branca e interior castanha constituídos na sua generalidade por fibra primária – WT (*White Top Kraftliner*).
Testliner	Tal como os papéis *Kraft*, estes papéis podem ser castanhos nas faces interior e exterior, ou castanhos na face interior, com face exterior branca. Estes papéis são integralmente constituídos com fibra secundária. Os *Testliners*, independentemente das suas gramagens, podem ter ainda vários níveis de qualidade, consoante a qualidade da fibra secundária que incorporam. Algumas designações utilizadas para os *Testliners* são: TL, TLB e DBE.
	Ondulados
Semi-Químico	Designados por SQ (*Semi-Chemical Fluting*), poderão ou não ser integralmente constituídos por fibra primária. Os papéis Semi-Químicos com incorporação de fibra secundária são designados de SQR (*Semi-Chemical Recicled*).
Reciclados	Os papéis para ondular, integralmente constituídos por fibra secundária, podem ter diferentes características físicas, consoante a qualidade da fibra secundária que incorporam. Algumas designações mais usuais são ODC e ODE.

Na Figura 3.1 apresenta-se um esquema de síntese dos papéis disponíveis

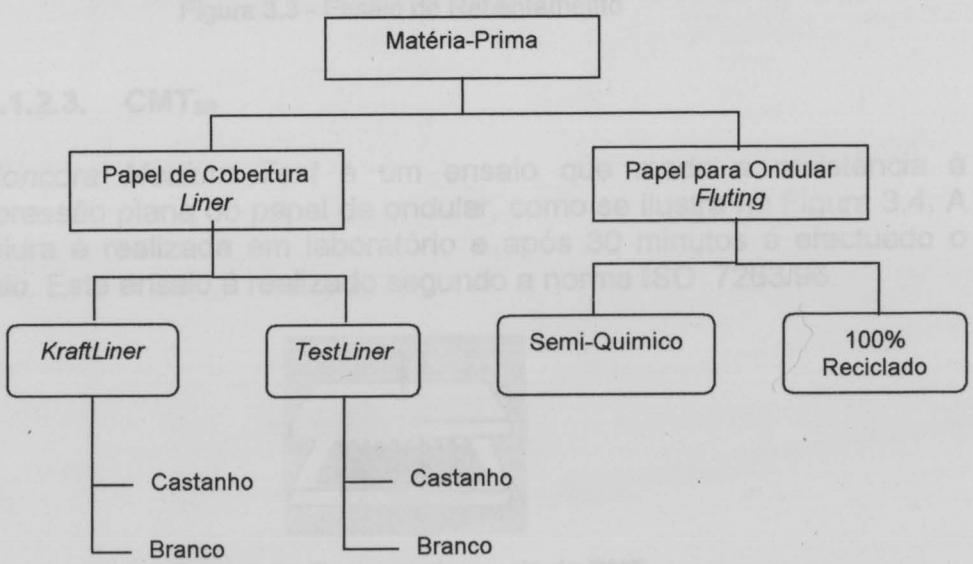

Figura 3.1 - Esquema de síntese dos papéis usados pela empresa

3.1.2.1. RCT

Ring Crush Test é um ensaio que mede a resistência à compressão vertical de um provete de papel disposto sob a forma de anel, como se ilustra na Figura 3.2. Aplica-se a papéis de cobertura e de ondular. Através deste ensaio, é possível estimar os valores para o ECT do cartão (resistência à compressão vertical do cartão).
Este ensaio é realizado segundo a norma SCAN – P34:71.

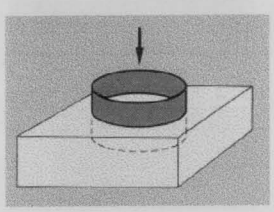

Figura 3.2. - Esquema do ensaio do RCT

3.1.2.2. Rebentamento

O Rebentamento é um ensaio no qual se mede a pressão máxima suportada por um provete de papel, à sua perfuração por intermédio de uma calote esférica . Aplica-se apenas aos papéis de cobertura sendo realizado segundo a norma NP – 687789. O aparelho usado para realização deste ensaio pode ser observado na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Ensaio de Rebentamento

3.1.2.3. CMT_{30}

Concora Medium Test é um ensaio que mede a resistência à compressão plana do papel de ondular, como se ilustra na Figura 3.4. A canelura é realizada em laboratório e após 30 minutos é efectuado o ensaio. Este ensaio é realizado segundo a norma ISO 7263/96.

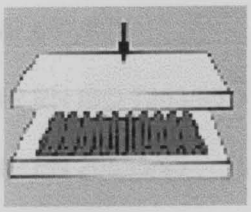

Figura 3.4 - Esquema do ensaio do CMT

3.1.2.4. $Cobb_{60}$

Ensaio de absorção de água, no qual se determina a massa de água absorvida por um provete de papel num período de 60 segundos. Este ensaio é realizado de acordo com a norma NP EN – 20535/95. Na Figura 3.5 apresenta-se o recipiente utilizado para a realização deste ensaio.

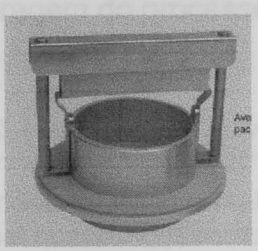

Figura 3.5 - Recipiente utilizado para ensaio do cobb

3.1.3. Especificações nominais

Na Tabela 3.2 apresentam-se as especificações nominais das características físicas para alguns dos papéis mais utilizados. Os valores apresentados são fornecidos pelo fabricante de papel e determinados através de ensaios laboratoriais. Estes valores são periodicamente conferidos em laboratório fabril após a recepção de bobinas.
A periodicidade de verificação, depende do nível a que o fornecedor pertence, no âmbito do sistema de avaliação a fornecedores que está definido no plano de inspecção e ensaio.

Tabela 3.2 - Características do papel

	Unidades	Norma (Test Method)	Desigação		
			WT (Cobertura)	ODE (Canelura)	KLB (Cobertura)
Gramagem	g/m^2	NP 796/88	125	130	125
Humidade	%	NP EN 2028/95	8	9	7.5
RCT	KN/m	T 822 om-87	1.3	0.8	1.15
Rebentamento	KPa	NP 687/89	670	-	520
CMT_{30}	N	NP EN ISO 7263/96	-	170	-
$COBB_{60}$	g/m^2	NP EN 20535/95	25-35	-	20-32
Brancura	%	ISO 2470/77	74	-	-

3.1.4. Principais defeitos do papel

Algumas bobinas apresentam defeitos que só são detectados depois de serem desenroladas, durante o processo de fabrico do cartão.
Estes defeitos podem ser tão graves que provoquem mesmo a paragem do processo de fabrico, originando uma grande quantidade de desperdício, implicando perdas de tempo na remoção de cartão estragado e no reencaminhamento das bobinas. Na Tabela 3.3. descrevem-se alguns dos defeitos que provocam a paragem do processo de fabrico.

Tabela 3.3 – Defeitos mais graves do papel

Emendas mal feitas	Algumas emendas aparecem mal feitas de origem, originando a quebra do papel quando desenrolado.
Aperto nos topos	A Portucel Recicla têm algumas dificuldades de secagem nas extremidades das bobinas, que é efectuada de forma irregular.
Humidade excessiva	A humidade das bobinas de papel deve situar-se entre os 6 a 9 %. As bobinas mal acondicionadas podem apresentar valores superiores a estes, originando a rotura quando traccionadas pelo desenrolador. Por vezes surgem bobinas que apresentam zonas mais húmidas que podem ficar agarradas aos rolos de canelar.
Pasta mal distribuída	A má distribuição da pasta de papel durante a sua produção origina ruptura do papel a partir da zona onde existe menos pasta.

Estes defeitos surgem mais frequentemente nos papéis reciclados, nomeadamente nos ondulados, por serem papéis essencialmente constituídos por fibras secundárias, que possuem normalmente uma resistência física reduzida e uma menor homogeneidade, quando comparados com os papéis *kraft*.

Conforme foi referido na Tabela 3.3, a humidade pode provocar paragem do processo produtivo. Esta situação ocorre mais frequentemente em situações em que a humidade é , de facto, muito elevada.
A humidade nas bobinas provoca ainda outro efeito prejudicial que consiste no empeno da prancha de cartão, problema com que os operadores se debatem diariamente.

As causas que estão na origem deste empeno estão relacionadas com a diferença de humidade entre os papéis de cobertura. A cobertura com menos humidade tem tendência para encolher, fazendo com que a prancha fique com uma curvatura bastante pronunciada. Na Figura 3.6 representa-se este tipo de situação.

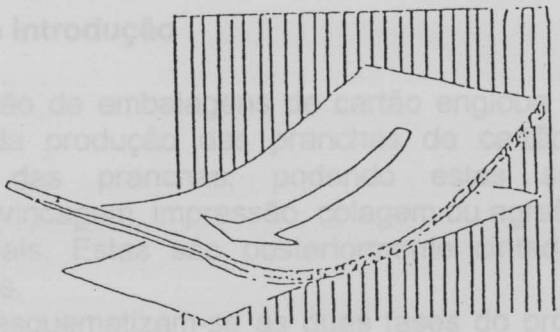

Figura 3.6. - Prancha de cartão com empeno

Os processos usados para redução do empeno serão mencionados na secção 4.2.3, depois de descrito o processo de produção do cartão, uma vez que implicam o conhecimento prévio das diferentes unidades funcionais do processo de produção.

Antes de se descrever o processo, apresenta-se ainda, na secção seguinte, a cola usada para colar os diferentes tipos de papéis.

3.2. Matérias subsidiárias : cola

A cola utilizada na caneladora é produzida com base em amido.
A cola deve ser preparada, dotando-a de uma viscosidade que depende dos papéis que vão ser colados.
A viscosidade é medida através de um viscosímetro denominado Stern Hall, a partir do tempo que leva a esvaziar um determinado volume de cola através de um orifício calibrado.

O Amido é dissolvido num volume determinado de água fria, com agitação durante algum tempo. As proporções de amido e de água variam com as características dos papéis e a viscosidade pretendida.
Na preparação da cola, misturam-se ainda alguns produtos químicos como a soda cáustica, que acelera a preparação da cola e contribui para a regulação da sua viscosidade e o Borax que estabiliza a viscosidade.

4. O PROCESSO DE FABRICO DAS PRANCHAS DE CARTÃO

4.1. Breve introdução

A produção de embalagens de cartão engloba duas fases distintas. A primeira é a da produção das pranchas de cartão. A segunda é a da transformação das pranchas, podendo estas ser sujeitas a corte, escatelamento, vincagem, impressão, colagem ou agrafagem, dando origem às embalagens finais. Estas são posteriormente cintadas e paletizadas para serem expedidas.
Na Figura 4.1 esquematizam-se as duas fases do processo de produção da embalagem de cartão.

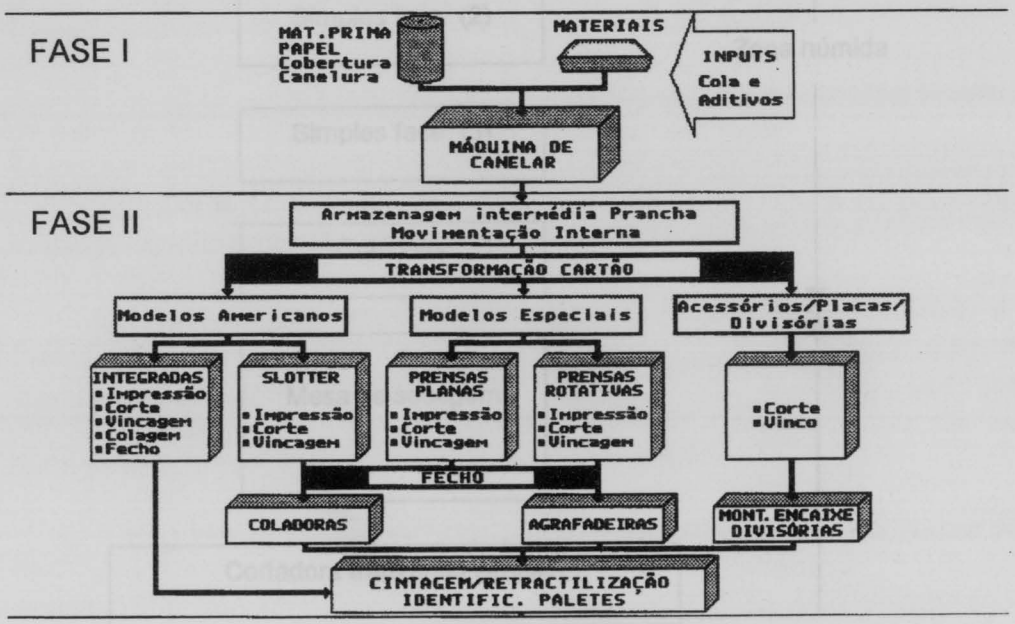

Figura 4.1 - Fases do processo de produção das embalagens

Por motivos relacionados com a variável escolhida para caracterizar o processo, todas as análises foram efectuadas às pranchas de cartão (fase I), pelo que neste relatório apenas será descrito o processo de produção destas pranchas.

As operações de produção das pranchas de cartão são efectuadas na máquina de canelar, também denominada por caneladora. Na secção seguinte apresenta-se esta máquina e são descritas as suas operações.

4.2. Caneladora

A caneladora é constituída por unidades funcionais, que operam sincronamente desde o desenrolar das bobines, até à paletização das pranchas de cartão.
Todas as operações são efectuadas sem paragem da máquina a uma velocidade que, em média, ronda os 150 metros lineares por minuto e, no máximo, a sua velocidade atinge os 250 m por minuto. Na Figura 4.2 apresenta-se um esquema com a disposição das várias unidades que integram a caneladora.

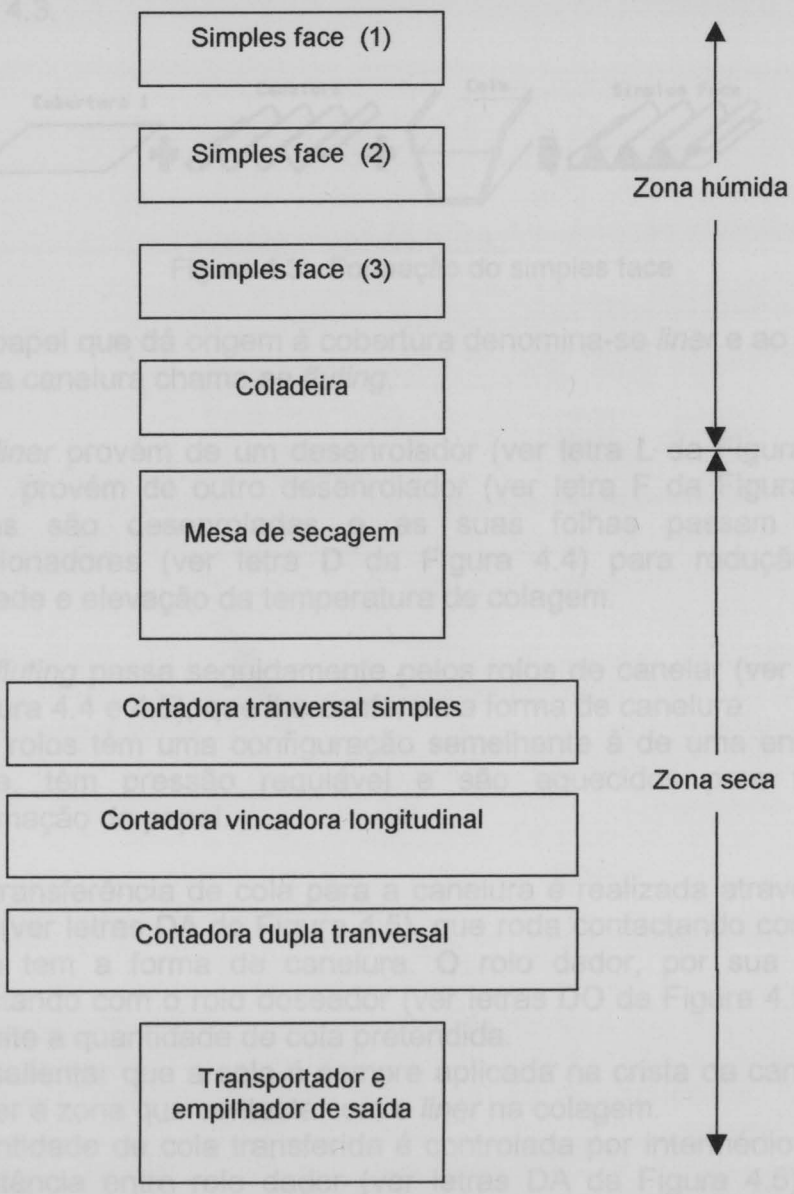

Figura 4.2 - Esquema da caneladora

Na Figura A1.1 do Anexo 1 apresenta-se uma vista lateral da caneladora, com todas estas unidades.

Nas secções seguintes, encontram-se descritas as operações que nelas são efectuadas.

4.2.1. Unidades funcionais

4.2.1.1. Simples face

Nesta unidade produz-se a colagem de uma face plana de cobertura à folha ondulada (canelura). O nome simples face surge pelo facto de o produto desta operação conter apenas uma face, conforme se ilustra na Figura 4.3.



Figura 4.3 - Formação do simples face

O papel que dá origem à cobertura denomina-se *liner* e ao papel que forma a canelura chama-se *fluting*.

O *liner* provém de um desenrolador (ver letra L da Figura 4.4) e o *fluting* provém de outro desenrolador (ver letra F da Figura 4.4). As bobinas são desenroladas e as suas folhas passam por pré-condicionadores (ver letra D da Figura 4.4) para redução da sua humidade e elevação da temperatura de colagem.

O *fluting* passa seguidamente pelos rolos de canelar (ver letras RC da Figura 4.4 e 4.5), que lhe conferem a forma de canelura.
Estes rolos têm uma configuração semelhante à de uma engrenagem gigante, têm pressão regulável e são aquecidos para facilitar a conformação do papel.

A transferência de cola para a canelura é realizada através do rolo dador (ver letras DA da Figura 4.5), que roda contactando com o *fluting* que já tem a forma de canelura. O rolo dador, por sua vez, roda contactando com o rolo doseador (ver letras DO da Figura 4.5) que lhe transmite a quantidade de cola pretendida.
É de salientar que a cola é sempre aplicada na crista da canelura, por esta ser a zona que contacta com o *liner* na colagem.
A quantidade de cola transferida é controlada por intermédio do ajuste da distância entre rolo dador (ver letras DA da Figura 4.5) e o rolo doseador (ver letras DO da Figura 4.5).

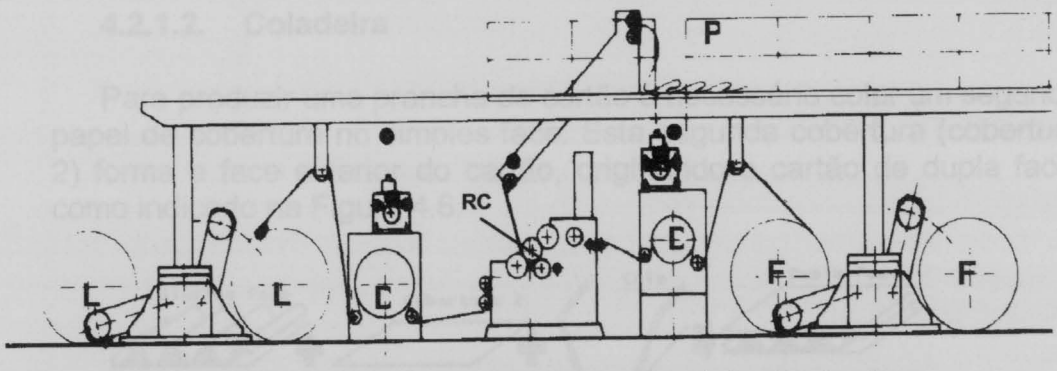

Figura 4.4 - Vista lateral da unidade funcional de simples face

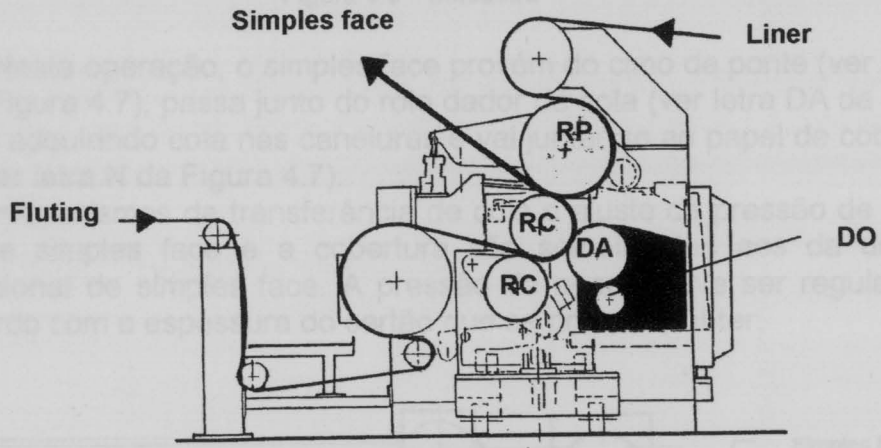

Figura 4.5 - Vista lateral da cassete

É no ponto de contacto entre o rolo de canelar (ver letras RC da Figura 4.5) e o rolo de pressão (ver letras RP da Figura 4.5) que se dá a colagem dos papéis, dando origem ao simples face, que segue para a ponte (ver letras P da Figura 4.4), onde é transportado para a unidade funcional seguinte denominada por coladeira. A pressão de aperto no contacto entre *liner* e *fluting* é regulada por intermédio da variação da distância entre o rolo de pressão e o rolo de canelar.

Na Figura 4.2 indicou-se que existem várias unidades funcionais de simples face numeradas de 1 a 3. Na Figura A1.1 do Anexo 1 representam-se apenas as unidades funcionais 2 e 3.
Importa aqui salientar que nem sempre estas unidades funcionam em simultâneo, dado que essa operação só é necessária quando se pretende produzir um cartão com mais do que uma canelura.
É possível realizar e conjugar diferentes tipos de canelura no mesmo cartão. Estas podem ser do tipo grande (A), largo (C), fino (B), micro (E) e micro (F), tendo cada uma delas altura e passo diferentes.
Cada conjunto de rolos de canelar realiza apenas um tipo de canelura. Estes rolos estão integrados num módulo denominado cassete (ver Figura 4.5), que permite a substituição dos mesmos no interior da unidade funcional de simples face.

4.2.1.2. Coladeira

Para produzir uma prancha de cartão é necessário colar um segundo papel de cobertura no simples face. Esta segunda cobertura (cobertura 2) forma a face exterior do cartão, originando o cartão de dupla face, como indicado na Figura 4.6.

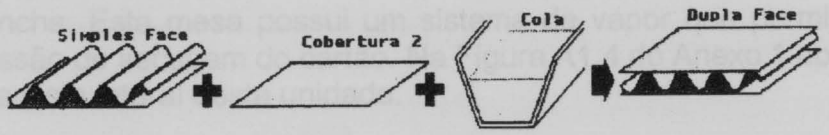

Figura 4.6 - Coladeira

Nesta operação, o simples face provém do cimo da ponte (ver letra P da Figura 4.7), passa junto do rolo dador de cola (ver letra DA da Figura 4.7) adquirindo cola nas caneluras e vai juntar-se ao papel de cobertura 2 (ver letra N da Figura 4.7).
Os mecanismos de transferência de cola e ajuste da pressão de aperto entre simples face e a cobertura são semelhantes aos da unidade funcional de simples face. A pressão de aperto deve ser regulada de acordo com a espessura do cartão que se pretende obter.

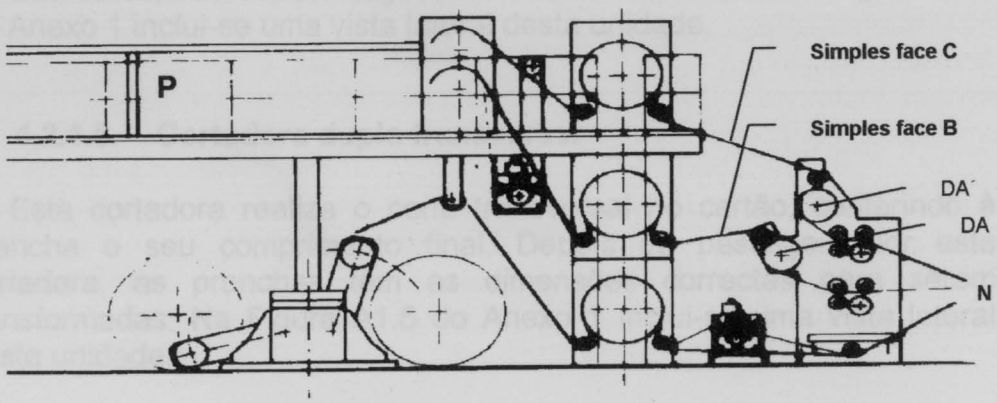

Figura 4.7 - Vista lateral da coladeira

A obtenção dos diferentes tipos de cartões é realizada através da junção na coladeira dos diferentes simples face que provêm da ponte de transporte (ver letra P da Figura 4.7) e que foram produzidos nas unidades de simples face.
Na Figura 4.7 pode observar-se que a ponte transporta dois simples face (C e B) para a coladeira, originando a formação de cartão duplo.
A unidade de Guilhabreu é a única fábrica no País que produz cartão triplo, dado que possui 3 unidades funcionais de simples face e uma coladeira preparada para juntar estes 3 simples face. Esta operação é delicada e exige andamentos muito lentos da caneladora, a cerca de 70 metros por minuto.

4.2.1.3. Mesa de secagem

Esta unidade funcional situa-se a jusante da coladeira e tem como objectivo secar a folha de cartão contínuo, por forma a que seja possível realizar as operações seguintes de corte e vincagem.
Outra das funções deste mesa é a de permitir uma secagem homogénea das duas coberturas do cartão, evitando deste modo o empeno da prancha. Esta mesa possui um sistema de vapor que permite variar a pressão de secagem do cartão. Na Figura A1.4 do Anexo 1 apresenta-se uma vista lateral desta unidade.

4.2.1.4. Cortadora transversal simples

Esta cortadora realiza o corte transversal na folha contínua de cartão sempre que há mudança de programa. Na Figura A1.4 do Anexo 1 inclui-se uma vista lateral desta unidade.

4.2.1.5. Cortadora vincadora longitudinal

Esta cortadora executa os cortes e os vincos longitudinais no cartão, de acordo com as especificações de cada encomenda. Na Figura A1.5 do Anexo 1 inclui-se uma vista lateral desta unidade.

4.2.1.6. Cortadora dupla transversal

Esta cortadora realiza o corte transversal no cartão, conferindo à prancha o seu comprimento final. Depois da passagem por esta cortadora, as pranchas têm as dimensões correctas para serem transformadas. Na Figura A1.5 do Anexo 1 inclui-se uma vista lateral desta unidade.

4.2.1.7. Transportador e empihador de saída

Depois de cortadas e vincadas, as pranchas são transportadas por intermédio de um tapete rolante para o empilhador de saída, que controla a altura da pilha de acordo com a especificação do programa. Nas Figuras A1.5 e A1.6 do Anexo 1 incluem-se as vistas laterais destas unidades.

4.2.2. Programas

A programação da caneladora é realizada através de meios informáticos por intermédio de *software* denominado *K+S OPTIMIZATION*. Este *software* determina a melhor sequência de fabrico por forma a minimizar o desperdício de cartão e os tempos de produção das encomendas existentes. O algoritmo de programação tem os seguintes critérios de ordenação:

(i) Prazos de entrega
(ii) Tipo de cartão
(iii) Largura/formato das pranchas.

É de salientar que cada programa tem várias execuções e que, em cada uma delas, são executadas diferentes encomendas, tentando sempre conjugar os tamanhos das pranchas a produzir com a largura das bobinas de papel usadas, por forma a minimizar o *trim*, isto é, a largura de bobina desperdiçada. Cada programa executa sempre o mesmo tipo de cartão.

Os programas contêm ainda a informação relativa ao comprimento de bobina necessário e transmitem essa informação para os desenroladores, que se encarregam de reencaminhar as bobinas sempre que há mudança de programa. No início do desenrolamento de cada bobina, é reduzida a velocidade de andamento da caneladora, para evitar a quebra do papel.

A informação sobre os cortes e a altura de pilha das encomendas também é controlada pelo programa.
Há outras instruções que são dadas pelos operadores. Estas instruções serão abordadas na secção seguinte deste relatório.

4.2.3. Regulação de parâmetros

As principais afinações efectuadas na caneladora são realizadas no início de cada programa e os parâmetros são regulados de acordo com o tipo de cartão e de papéis que são produzidos.

Estas afinações iniciais são efectuadas pelos operadores, que variam a pressão de aperto na colagem das unidades de simples face e coladeira e a pressão de secagem na mesa, de acordo com o tipo de cartão que pretendem produzir.

Com o decorrer do programa, pode surgir a necessidade de efectuar afinações provocadas pelo aparecimento de problemas de empeno, colagem deficiente, bolhas, esmagamento, etc...

O empeno é provocado pela diferença de humidade existente nas duas coberturas do cartão, originado por problemas ligados ao mau acondicionamento das bobinas utilizadas ou utilização de excesso de cola numa das coberturas. Este problema pode ser controlado através da variação do abraçamento nos pré-condicionadores, ou seja, da modificação da área total de papel que é envolvida pelo cilindro pré-condicionador.
A variação da pressão de secagem na mesa e a diminuição da quantidade de cola utilizada na face que apresenta maior humidade são outras alternativas utilizadas para redução do empeno.

A colagem deficiente é detectada através de uma verificação manual à prancha antes de esta ser enviada para o empilhador de saída.
O operador recolhe uma prancha do transportador e procede manualmente à descolagem das coberturas verificando a dificuldade oferecida à separação entre estas e a canelura.
As deficiências de colagem são provocadas pela falta de cola ou por viscosidade deficiente da mesma e são muito influenciadas pelo tipo de papel utilizado.
Os papéis constituídos essencialmente por fibras primárias (*Kraft,* Semi-Químicos) apresentam maiores dificuldades de colagem, já que possuem uma capacidade de absorção de água ($cobb_{60}$) inferior.

As bolhas aparecem quando a viscosidade da cola é insuficiente, causando inaderência da cola ao topo das caneluras. A cola espalha-se assim por toda a cobertura provocando o aparecimento de bolhas resultantes de o papel conter alguma humidade.

O esmagamento surge sempre que a pressão de aperto na colagem das unidades de simples face e coladeira é demasiado elevada para o tipo de cartão utilizado.

5. CARTÃO CANELADO

A embalagem de cartão é construída a partir de uma prancha rígida, tendo como base os papéis referidos no capítulo 3 deste relatório. A sua forma e *performance* são adequadas ao produto a embalar e o tipo de cartão deve ser escolhido em função das solicitações a que vai estar sujeito.

5.1. Tipos de caneluras

Os tipos de canelura existentes dependem da altura dos dentes dos rolos de canelar que os formam. Conforme foi referido na secção 4.2.1.1., é possível conjugar no máximo três tipos de caneluras diferentes, dado que apenas se dispõe de três unidades funcionais de simples face. Também não é possível produzir um cartão com duas caneluras iguais, dado que a empresa possui apenas um par de rolos de canelar por cada tipo canelura.

A conjugação dos diferentes tipos de caneluras depende do tipo de utilização que se pretende dar à caixa. Saliente-se apenas que as caneluras A, C e B estão mais indicadas para situações em que se pretende uma boa resistência ao empilhamento e esmagamento, enquanto que as caneluras dos tipos E e F são mais utilizadas quando se pretende uma boa qualidade de impressão.

As caneluras conferem uma espessura constante ao cartão canelado, mantendo-a ao longo do tempo de vida da embalagem.

Tabela 5.1 - Espessuras das caneluras

Canelura	Espessura (mm)
A	$e \geq 4.5$
C	$3.5 \leq e < 4.5$
B	$2.5 \leq e < 3.5$
E	$1.5 \leq e \leq 2$
F	$e < 1.5$

5.2. Tipos de cartão

Da combinação dos diferentes tipos de caneluras surgem os diferentes tipos de cartão existentes, que são três, tal como sugerido na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Tipos de cartão

Cartão canelado de dupla-face (Simples)	Cartão formado por uma folha de papel canelado intercalada entre duas folhas de papel (caneluras C, B, E, e F)
Cartão canelado de dupla-canelura (Duplo)	Cartão formado por duas folhas de papel canelado, intercaladas e coladas entre três folhas de papel (caneluras C+B e E+F)
Cartão canelado de tripla canelura (Triplo)	Cartão formado por três folhas de papel canelado intercaladas e coladas entre quatro folhas de papel (caneluras A+C+B)

5.3. Codificação do cartão

A codificação do cartão permite identificá-lo em todas as fases do processo produtivo. Nesta codificação, o primeiro dígito indica o tipo de cartão, o segundo é livre e o terceiro indica a cor do cartão. Na Tabela 5.3 apresentam-se os códigos de cartões existentes.

Tabela 5.3 - Códigos dos cartões

1ºdígito	**Designação**	**Caneluras**
0	Dupla-face micro	E
1	Dupla-face fino	B
2	Dupla-face fino	B
3	Dupla-face micro	F
4	Dupla-face largo	C
5	Dupla-face largo	C
6	Dupla canelura com micro	E+B ou F+E
7	Dupla canelura fino+largo	B+C
8	Dupla canelura fino+largo	B+C
9	Tripla canelura fino+largo+grande	B+C+A

2ºdígito	Permite combinar gramagens diferentes (ver exemplo seguinte, Tabela 5.4)

3ºdígito	**Cor**	**Papel da face exterior**
0	Castanho	*Testliner*
1	Castanho	*Kraftliner*
2	Branco	*White-Top* (grau de brancura 73)
3	Branco	*Testliner*
4	Branco	*White-Top* (grau de brancura 65)
5	Branco	*White-Top* (grau de brancura 80)
6	Branco	*Duplex branco* com lacre na face exterior
7	Branco	*Testliner branco* na face exterior e interior
8	Branco	*White-Top* na face exterior e interior
9	Branco	*Testliner branco* na face exterior e interior

As composições também variam dentro do mesmo tipo de cartão, podendo surgir por exemplo dois cartões largos com a cor castanha, mas em que a faces exterior e interior sejam constituídos por *Kraftliners* com gramagens diferentes, resultando também características diferenciadas para ambos os cartões.

Tabela 5.4 - Comparação da composição de dois cartões

CARTÕES	COMPOSIÇÃO
451 Largo	FACE E KLB-300 OND 1 SQ-175 FACE I KLB-300
481 Largo	FACE E KLB-175 OND 1 SQ-75 FACE I KLB-140

Notação:
FACE E: Face exterior
FACE I: Face interior
OND 1: Ondulado
KLB-300: Krafliner com 300 g/m^2
SQ-175: Semi-químico com 175 g/m^2

Os diferentes tipos de gramagens conferem aos cartões características físicas diferentes, aumentando assim o conjunto de cartões disponíveis, para permitir ao cliente seleccionar o cartão que melhor se adapte ao tipo de solicitações a que vai estar sujeito no transporte e armazenamento. Na secção seguinte, apresentam-se as características físicas mais importantes para que as embalagens possam resistir às solicitações a que são submetidas diariamente.

5.4. Características físicas

A embalagem de cartão deve resistir a agressões mecânicas e à carga resultante da sobreposição de outras embalagens, ou seja, deve possuir resistência ao empilhamento. Estas solicitações exteriores (associadas ao armazenamento, manuseamento e transporte) podem ser exercidas sob as seguintes formas:

- Compressão vertical
- Pressões laterais (flexão)
- Esmagamento

Na Figura 5.1 apresentam-se estes três tipos de forças aplicadas.

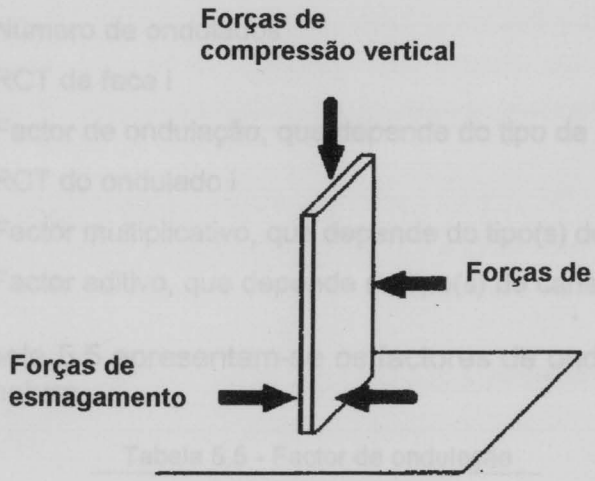

Figura 5.1 – Tipos de forças aplicadas às embalagens

As condições climatéricas no armazenamento também podem afectar as características do cartão, na medida em que níveis de humidade elevados prejudicam gravemente todas as propriedades de resistência do cartão, devido ao facto de este ser um material higroscópico.

Para garantir que o cartão a enviar para o cliente tem as características físicas necessárias para suportar as solicitações a que pode estar sujeito, são realizados ensaios laboratoriais. Através da realização de tais ensaios procura-se assegurar que são satisfeitas as características exigidas pelo cliente e que foram objecto do contrato.

Nas secções seguintes, apresentam-se os diferentes tipos de ensaios realizados no laboratório fabril para determinar essas características físicas.
Tal como no caso dos papéis, as características físicas dos cartões tomam o nome dos ensaios realizados.
Todos os ensaios são realizados de acordo com os procedimentos exigidos pelas normas internacionais em vigor. Um dos requisitos para a realização destes ensaios é o acondicionamento dos provetes durante 48 horas em ambiente controlado (23°C e 50 % humidade relativa).

5.4.1. Métodos de ensaio para medição das características físicas

5.4.1.1. ECT

Edgewise Crush Test é um ensaio que mede a resistência à compressão vertical de um provete de cartão com 100±0.5 mm de comprimento e 25±0.5 mm de largura. As especificações nominais com as quais vão ser comparadas as características definidas para os diferentes tipos de cartões podem ser calculadas a partir da seguinte expressão:

$$ECT = (\sum_{i=1}^{n} RCTF_i + \sum_{i=1}^{o} \alpha \cdot RCTOnd_i) \cdot Y + Z \qquad (5.1)$$

onde:

n: Número de faces de cobertura

o: Número de ondulados

$RCTF_i$: RCT da face i

α: Factor de ondulação, que depende do tipo de canelura (ver Tabela 5.5.)

$RCT\ Ond_i$: RCT do ondulado i

Y: Factor multiplicativo, que depende do tipo(s) de canelura(s) (ver Tabela 5.6.)

Z: Factor aditivo, que depende do tipo(s) de canelura(s) (ver Tabela 5.6.)

Na Tabela 5.5 apresentam-se os factores de ondulação consoante o tipo de canelura.

Tabela 5.5 - Factor de ondulação

Canelura	α
Micro F	1.222
Micro E	1.299
Fino B	1.375
Largo C	1.482
Grande A	1.552

Na Tabela 5.6 apresentam-se os factores multiplicativo e aditivo em função do tipo de caneluras utilizado.

Tabela 5.6 - Factores multiplicativo e aditivo

Caneluras	Y	Z
Micro	1.00	0.5
Fino	0.67	1.7
Largo	1.00	0.4
Duplo (E+B)	1.05	0.5
Duplo (B+C)	1.05	0.5
Triplo	1.00	0

Na figura 5.2. representa-se a forma como se efectua um ensaio de ECT.

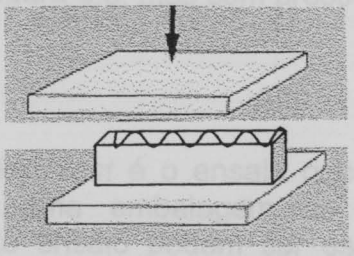

Figura 5.2 - Método de ensaio do ECT

5.4.1.2. FCT

Flat Crush Test é o ensaio que mede a resistência ao esmagamento de um provete circular de cartão. Este ensaio aplica-se apenas nos cartões simples com caneluras A, B ou C. O FCT nominal para os cartões fino e largo pode ser calculado com base nas expressões 5.2.

$$FCT = (8.4 * 10^{-3} * CMT_{30} + 0.57) * 98 \quad \text{para o cartão fino}$$

$$FCT = (8.5 * 10^{-3} * CMT_{30} + 8 * 10^{-2}) * 98 \quad \text{para o cartão largo} \qquad (5.2)$$

Na Figura 5.3 apresenta-se a forma como se efectua este ensaio.

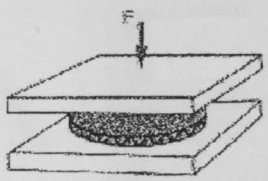

Figura 5.3 - Método de ensaio FCT

5.4.1.3. Rebentamento

A resistência ao rebentamento é medida através da pressão máxima suportada por um provete de cartão quando perfurado por intermédio de uma calote esférica que lhe exerce uma pressão perpendicular à sua superfície. O rebentamento nominal pode ser calculado, com base na seguinte expressão:

$$\text{Rebentamento} = \sum_{i=1}^{n} \text{Reb } F_i \qquad (5.3)$$

onde:

Reb F_i : Rebentamento do papel da face i

n: Número de faces do cartão

A máquina que permite efectuar os ensaios de rebentamento é semelhante à da Figura 3.3, mas com pressões de serviço superiores.

5.4.1.4. BCT

Box Compression Test é o ensaio que determina a resistência ao empilhamento de uma embalagem de cartão. As especificações nominais para este ensaio podem ser estimadas com base no ECT realizado à prancha, a espessura e a dimensão da caixa. A expressão que permite determinar o BCT é a seguinte:

$$BCT = 17.7 \cdot ECT^{1.06} \cdot d^{0.85} \cdot (L+B)^{0.31} \qquad (5.4)$$

em que:

ECT : Resistência à compressão vertical do provete de cartão
d: Espessura do cartão
L: Comprimento da caixa
B: Largura da caixa

Na figura 5.5 apresenta-se a máquina que permite efectuar um ensaio de BCT.

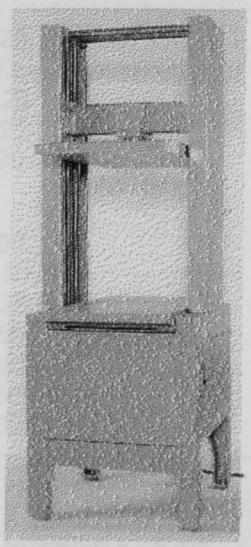

Figura 5.5 - Máquina para efectuar ensaio do BCT

5.4.2. Especificações nominais

Na Tabela 5.7 apresentam-se as especificações nominais para as características físicas de alguns cartões existentes na empresa. Os valores incluídos nessa tabela foram determinados com base nas expressões 5.1, 5.2 e 5.3.

Tabela 5.7 - Características do cartão

CARTÕES	COMPOSIÇÃO	ECT [KN/m]	FCT [Kpa]	Rebentamento [Kpa]
032 Micro	FACE E W73-125 OND 1 SQ-175 FACE I KLB-125	3.61	-	931
206 Fino	FACE E DBE-140 OND 1 SQ-175 FACE I TL3-130	3.52	195.8	410
451 Largo	FACE E KLB-300 OND 1 SQ-175 FACE I KLB-300	8.96	345.2	1742
481 Largo	FACE E KLB-175 OND 1 SQ-175 FACE I KLB-140	6.13	345.2	1100
701 Duplo	FACE 1 KLB-125 OND 1 ODE-125 FACE 2 ODE-125 OND 2 ODE-125 FACE 3 TL3-130	5.83	-	801
961 Triplo	FACE 1 KLB-300 OND 1 SQR-150 FACE 2 ODE-125 OND 2 SQR-150 FACE 3 KLB-300 OND 3 SQR-150 FACE 4 KLB-300	17.21	-	3484

Legenda: *WT73-125: White-Top* com 73% de brancura e 125 g/m^2

SQ-175: Semi-Químico com 175 g/m^2

KLB-125: *Kraftliner* com 125 g/m^2

SQR-130: Semi-Químico reciclado com 130 g/m^2

TL3-130: *Testliner* com 130 g/m^2

6. ESTUDO DA CAPACIDADE DO PROCESSO

6.1. Sumário da metodologia seguida

Para facilitar a interpretação da metodologia seguida no estudo de capacidade apresenta-se na Figura 6.1 um fluxograma com as várias fases do estudo.

Na Tabela 6.1 inclui-se um resumo com os objectivos para cada fase.

Tabela 6.1 - Fases do estudo

Fase I	Selecção de variáveis a controlar. Selecção de conjunto de cartões representativos do volume de produção total.
Fase II	Teste de igualdade de resistência física entre cartões com composições alternativas. Teste de igualdade de resistência física das pranchas de cartão provenientes de diferentes posições de fabrico da caneladora.
Fase III	Verificar da normalidade da amostra com 100 observações de ECT por cartão recolhidas do histórico. Desenho de cartas de controlo de valores individuais e amplitudes móveis. Retirar causas especiais de variação. Estimar média e desvio padrão e estabelecer os limites de controlo. Determinação de índices de capacidade preliminares.
Fase IV	Desenho de cartas de controlo para *Short Runs*, utilizando parâmetros estimados na fase IV. Determinação de índices de capacidade do processo.

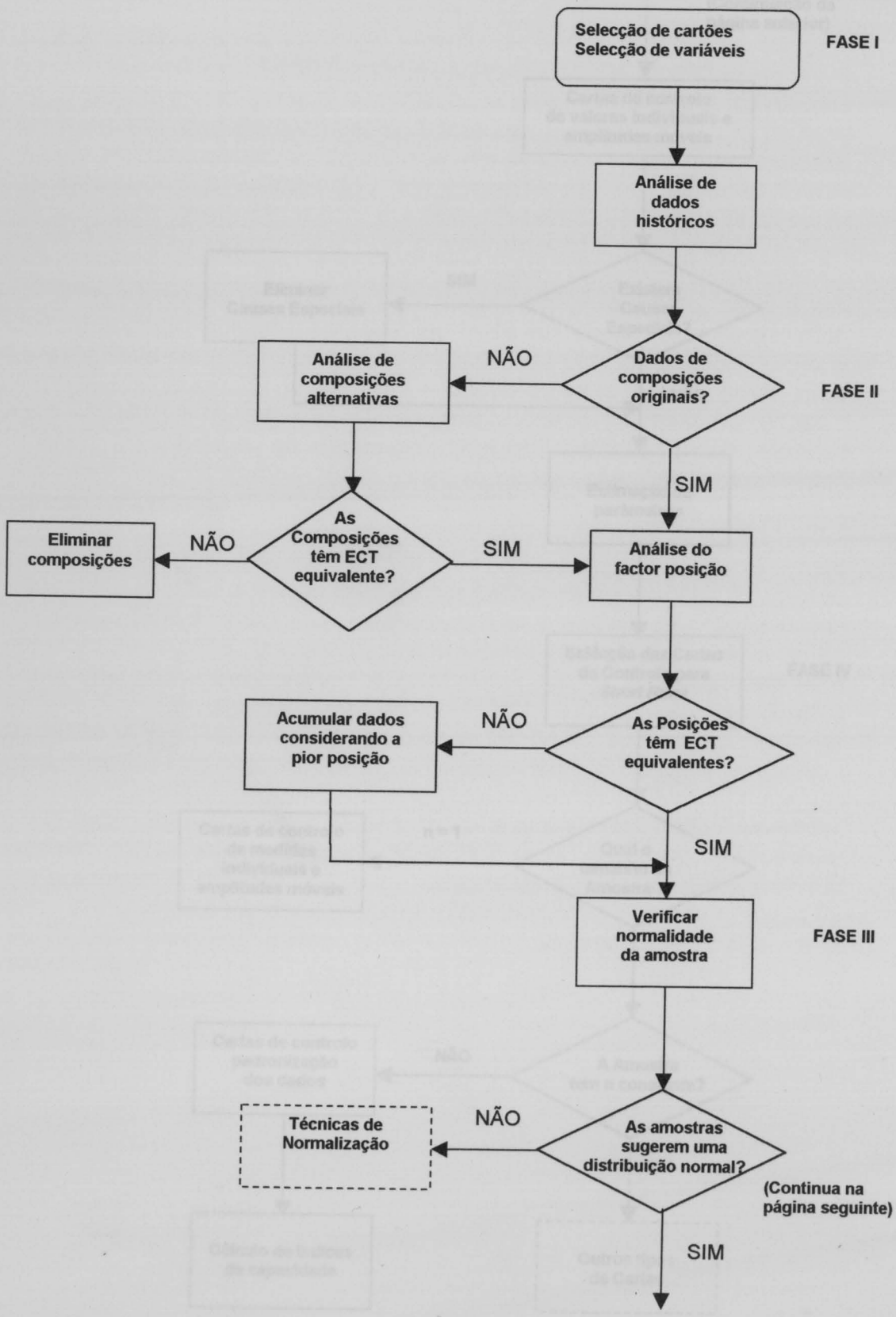

Figura 6.1 - Fluxograma com várias fases de estudo (Continuação)

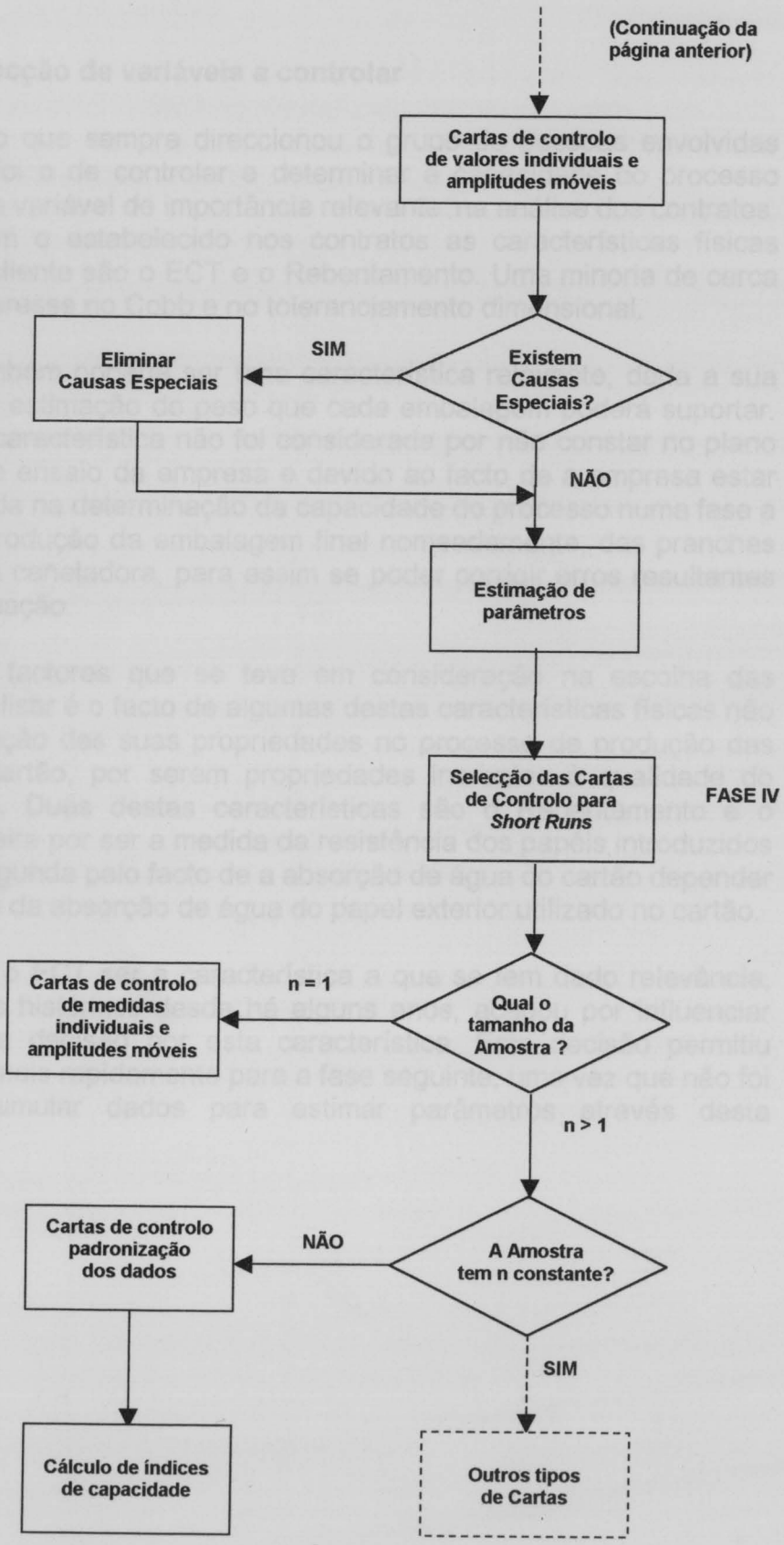

Figura 6.1 - Fluxograma com as várias fases de estudo (Continuação)

6.2. Fase I

6.2.1. Selecção de variáveis a controlar

O objectivo que sempre direccionou o grupo de pessoas envolvidas neste estudo foi o de controlar e determinar a capacidade do processo através de uma variável de importância relevante na análise dos contratos. De acordo com o estabelecido nos contratos as características físicas exigidas pelo cliente são o ECT e o Rebentamento. Uma minoria de cerca de 5% com interesse no Cobb e no toleranciamento dimensional.

O BCT também poderia ser uma característica relevante, dada a sua importância na estimação do peso que cada embalagem poderá suportar. Todavia, esta característica não foi considerada por não constar no plano de inspecção e ensaio da empresa e devido ao facto de a empresa estar mais interessada na determinação da capacidade do processo numa fase a montante da produção da embalagem final nomeadamente, das pranchas que provêm da caneladora, para assim se poder corrigir erros resultantes da sua má formação.

Outro dos factores que se teve em consideração na escolha das variáveis a analisar é o facto de algumas destas características físicas não sofrerem alteração das suas propriedades no processo de produção das pranchas de cartão, por serem propriedades inerentes à qualidade do papel utilizado. Duas destas características são o Rebentamento e o $Cobb_{60}$. A primeira por ser a medida da resistência dos papéis introduzidos no cartão. A segunda pelo facto de a absorção de água do cartão depender essencialmente da absorção de água do papel exterior utilizado no cartão.

O facto de o ECT ser a característica a que se tem dado relevância, existindo dados históricos desde há alguns anos, acabou por influenciar positivamente a decisão por esta característica. Esta decisão permitiu ainda avançar mais rapidamente para a fase seguinte, uma vez que não foi necessário acumular dados para estimar parâmetros através desta característica.

6.2.2. Selecção de cartões

A escolha dos cartões a analisar foi realizada com dois critérios distintos. O primeiro foi o de seleccionar pelo menos um cartão de cada tipo. O segundo foi o de que a totalidade dos cartões representasse uma proporção significativa do volume de produção anual da Unidade de Guilhabreu. De acordo com estes critérios a lista de cartões seleccionados ficou definida como indicado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Cartões seleccionados

Tipo de cartão	Código do cartão	$\frac{VP}{VPT}$	$\frac{VP}{VPTC}$
Micro	032	2.9%	31.1%
	080	2.5%	26.9%
Fino	221	5.1%	12.9%
	206	4.8%	12.0%
	242	5.9%	14.9%
Largo	544	3.6%	14.5%
	482	3.4%	14%
Duplo	700	2.3%	9.0
	701	11.7%	46.3
TOTAL		44.2%	

Notação: VP: Volume de produção
VPT: Volume de produção total
VPT: Volume de produção do tipo de cartão

Naturalmente, seria desejável que os cartões analisados cobrissem uma percentagem do volume de produção superior a 44,2%. No entanto, considerou-se que tal implicaria um esforço incompatível com o tempo disponível para a realização do trabalho.

6.3. Fase II

6.3.1. Análise do efeito composição

No decorrer do processo surgem por vezes alterações nas composições originais previstas para um determinado tipo de cartão. Estas alterações surgem na maioria das vezes por falta de *stock* de um determinado tipo de papel, dado que existem inúmeras combinações de larguras e gramagens possíveis para o mesmo tipo de papel. Sempre que ocorre uma rotura de *stock* o papel em falta é substituído por outro com características físicas equivalentes ou superiores às previstas na composição original.

É de salientar que estas alterações só são possíveis dado que, na análise de contrato, a Portucel Embalagem garante apenas as características físicas exigidas pelo cliente, reservando-se o direito de substituir papéis desde que sejam respeitadas as especificações nominais estabelecidas nesse contrato.

De qualquer modo, não se pretendeu com esta análise verificar se os cartões que vêem a sua composição alterada garantem a especificação nominal de ECT estabelecida para um determinado tipo de cartão. Essas verificações serão realizadas quando desenhadas as cartas de controlo.
Aquilo que se pretendeu com esta análise é verificar se as composições originais e as composições alternativas são equivalentes entre si ao nível do ECT. Estas conclusões foram importantes dado que em fases posteriores ficou devidamente caracterizada a influência destas alterações no desempenho dos cartões, permitindo deste modo considerar um maior grupo de observações provenientes do histórico. Note-se ainda que se nada se soubesse sobre a influência destas alterações no ECT não poderiam ser consideradas para estudo os cartões seleccionados sempre que fossem produzidos com a composição alternativa.

Optou-se por recorrer a um Desenho de Experiências que usa como ferramenta estatística a análise de variância (ANOVA:Analysis of Variance) para verificar o efeito das diferentes composições utilizadas nos resultados do ECT. Para tal foi necessário realizar uma pesquisa para identificar as alterações de composição mais frequentes nos nove cartões seleccionados para estudo.

Na Tabela 6.3 apresentam-se as diferentes composições utilizadas para todos os cartões incluídos na Tabela 6.2. Estas composições foram posteriormente comparadas através da análise de variância.
Os cartões que apresentavam sempre o mesmo tipo de composição não foram sujeitos a este tipo de análise.

Tabela 6.3 - Composições mais utilizadas

Cartão	Composição Original A	Composição Alternativa1 B
032 MICRO	FACE 1 W73-115 OND 1 ODC-130 FACE 2 KLB-115	
080 MICRO	FACE 1 TL3-130 OND 1 ODC-130 FACE 2 ODC-130	
221 FINO	FACE 1 KLB-115 OND 1 ODC-130 FACE 2 TL3-130	FACE 1 KLB-125 **OND 1 ODC-130** FACE 2 TL3-130
206 FINO	FACE 1 DBE-140 OND 1 ODC-130 FACE 2 TL3-130	
242 FINO	FACE 1 W73-140 OND 1 SQ -150 FACE 2 KLB-175	
544 LARGO	FACE 1 W65-140 OND 1 SQR-150 FACE 2 KLB-140	FACE 1 W65-140 **OND 1 SQ -127** FACE 2 KLB-140
482 LARGO	FACE 1 W73-140 OND 1 SQR -150 FACE 2 KLB-140	FACE 1 KLB-140 **OND 1 SQ -127** FACE 2 KLB-140
700 DUPLO	FACE 1 TL3-130 OND 1 ODC-130 FACE 2 ODC-130 OND 2 ODC-130 FACE 3 ODC-130	FACE 1 TL3-130 OND 1 ODC-130 FACE 2 ODC-130 OND 2 ODC-130 **FACE 3 TL3-130**
701 DUPLO	FACE 1 KLB-125 OND 1 ODC-130 FACE 2 ODC-130 OND 2 ODC-130 FACE 3 TL3- 130	**FACE 1 KLB-115** OND 1 ODC-130 FACE 2 ODC-130 OND 2 ODC-130 FACE 3 TL3- 130

Legenda: A ***Bold*** indica-se o papel que foi alterado relativamente á composição original.

6.3.1.1. Comparação de vários Tratamentos – Desenho com um factor a vários níveis

6.3.1.1.1. Metodologia e modelo matemático de efeitos fixos

O que se pretendeu testar com este modelo foi a significância da diferença das médias de ECT, para verificar se havia diferenças entre as composições alternativas de cada cartão relativamente nos resultados do ECT obtidos após ensaio laboratorial. Para um determinado cartão que tenha duas composições possíveis o factor composição tem dois níveis e pretende-se saber como é que esses níveis afectam a resposta ECT do cartão.

Considerou-se o factor composição com vários níveis. Pretendeu-se estudar o efeito destes níveis no ECT do cartão, para o que se efectuaram as experiências apresentadas na Tabela 6.4.
Para cada experiência obtiveram-se 5 observações de resposta, isto é, 5 resultados de ECT para cada composição. O valor de cada observação foi obtido através da média do ECT de 5 provetes retirados de cada prancha e em que cada prancha foi recolhida em programas distintos. Este critério foi estabelecido dado que até ao momento nada se sabia sobre a influência de cada programa nos resultados do ECT obtidos.

As 5 observações de cada composição foram obtidas por replicação de experiências.
Em Desenho de Experiências entende-se por replicação de experiências a repetição das experiências em condições semelhantes, o que é diferente da recolha de observações de uma mesma experiência.

Considerou-se aqui apenas um modelo de efeitos fixos dado que as composições ou níveis foram escolhidos previamente, isto é, não surgiram aleatoriamente.
Na Tabela 6.4 apresentam-se os resultados do ECT obtidos para as duas composições possíveis para cartão 701, que se incluíram na na Tabela 6.3. No Anexo 2 apresentam-se os resultados para as restantes composições analisadas.

Tabela 6.4 - Resultados ECT (Comp. do cartão 701 duplo)

	Observações						
	1	2	3	4	5	Totais	Média
Composição							
A	8.37	7.42	8.09	8.51	7.02	39.41	7.88
B	6.85	6.76	6.96	7.53	7.68	35.78	7.16
Totais						75.19	

Na Tabela 6.6 apresenta-se a ANOVA resultante para estas duas composições.

Tabela 6.6 - ANOVA, Modelo de Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	GL	DQM	Fo
Entre composições	1.32	1	0.33	1.13
Erro	2.34	8	0.3	
Total	3.65	9		

Notação: SS: Variacção total
GL: Número de graus de liberdade
DQM: Desvio quadrático médio
Fo: Estatítica de teste

Para testar se há ou não diferenças entre as diversas composições as hipóteses são:

H_o:$\mu_A=\mu_B$
H_1:$\mu_A\neq\mu_B$

Da Tabela da distribuição F obtém-se para $F_{1,8}$ (α=0.05), = 5.32; como Fo < 5.32, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que esta alteração de composição no cartão 701 duplo tenha influência no resultado do ECT.

6.3.1.1.2. Análise de Resíduos

Ao fazer-se a partição da variância pelas diversas fontes e ao testar-se o facto de não haver diferenças entre composições pressupõe-se que há certas hipóteses que são satisfeitas, nomeadamente, de que o modelo adoptado é correcto e de que os erros são normalmente e independentemente distribuídos com média zero e variância σ^2. Estes pressupostos têm de ser analisados pela análise dos resíduos sendo seguidamente apresentados para o caso do teste do efeito composição para o cartão 701 duplo.

6.3.1.1.2.1. Normalidade dos resíduos

Para verificar se os resíduos são normalmente distribuídos usa-se o gráfico das probabilidades da distribuição normal (ver Figura 6.1).

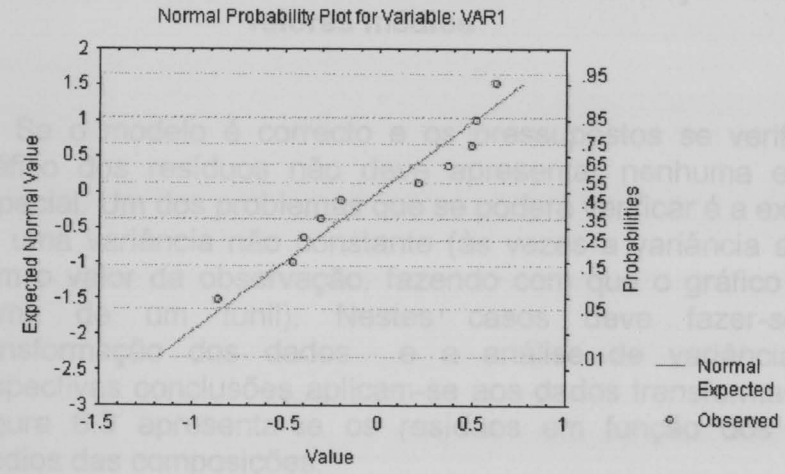

Figura 6.1 - Normalidade dos resíduos das composições (Cartão 701)

Da observação do gráfico admitiu-se como válida a hipótese da normalidade dos erros.

6.3.1.1.2.2. Gráfico dos resíduos em função do tempo

O gráfico dos resíduos em função do tempo (ou seja, da ordem pela qual foram as experiências foram efectuadas) permite identificar se há ou não correlação entre os resíduos, isto é, se eles são independentes ou não. No caso de serem independentes o gráfico não deve mostrar nenhuma tendência especial.

Na Figura 6.2 apresenta-se o gráfico dos resíduos resultantes da análise para o cartão 701.

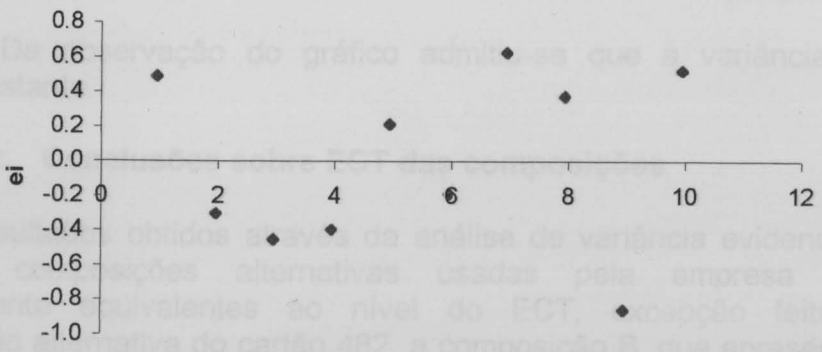

Figura 6.2 - Resíduos em função do tempo (Cartão 701 duplo).

Os resíduos estão indicados pela ordem em que foram realizados os ensaios e não parece existir nenhuma tendência especial.

6.3.1.1.2.3. Gráfico dos resíduos em função dos valores médios

Se o modelo é correcto e os pressupostos se verificam, o gráfico dos resíduos não deve apresentar nenhuma estrutura especial. Um dos problemas que se poderá verificar é a existência de uma variância não constante (às vezes a variância aumenta com o valor da observação, fazendo com que o gráfico tome a forma de um funil). Nestes casos deve fazer-se uma transformação dos dados e a análise de variância e as respectivas conclusões aplicam-se aos dados transformados. Na Figura 6.3 apresenta-se os resíduos em função dos valores médios das composições.

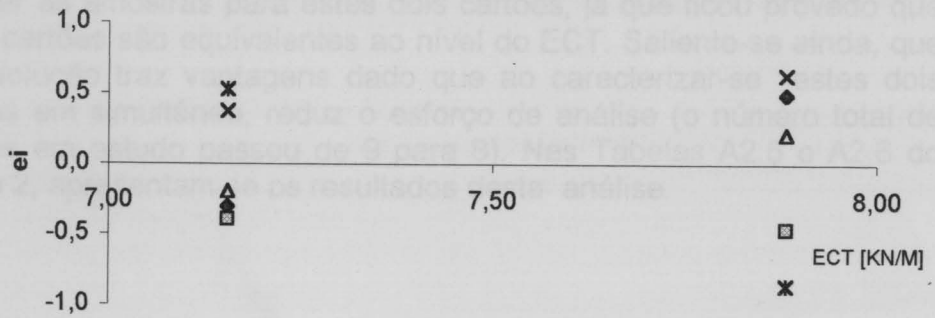

Figura 6.3 - Resíduos em função do valor médio para as composições

Da observação do gráfico admitiu-se que a variância foi constante.

6.3.1.2. Conclusões sobre ECT das composições

Os resultados obtidos através da análise de variância evidenciam que as composições alternativas usadas pela empresa são efectivamente equivalentes ao nível do ECT, excepção feita à composição alternativa do cartão 482, a composição B, que apresentou valores ligeiramente inferiores à composição original, sendo por isso rejeitada a hipótese nula para esta composição (ver Tabelas A2.7.e A2.8 do Anexo 2). Não foram assim consideradas as amostras quando este cartão apresentava a composição B.

Estes resultados não são de todo surpreendentes, dado que não foram testadas situações em que as alterações são de tal forma significativas que não deixam dúvidas quanto à diferença entre as composições.

Sempre que surgiram alterações deste tipo não foram recolhidas amostras para controlo estatístico, dado que a natureza das alterações influenciaria certamente os resultados finais.
Para recolha dos dados históricos foram usados os mesmos critérios e não foram consideradas as observações com composições alternativas que não tenham sido testadas por este processo.

No decorrer desta análise, verificou-se que os cartões 482 e 544 (canelura larga) quando produzidos com a composição A, indicada na Tabela 6.3, tinham com única diferença o grau de brancura do papel utilizado na face exterior, factor que não tem influência nas características de ECT. Testou-se então a igualdade de ECT entre os dois cartões e os resultados da análise de variância não rejeitaram a hipótese nula.

permitindo deste modo que nas fases seguintes fosse possível agrupar as amostras para estes dois cartões, já que ficou provado que estes cartões são equivalentes ao nível do ECT. Saliente-se ainda, que esta solução traz vantagens dado que ao caracterizar-se estes dois cartões em simultâneo, reduz o esforço de análise (o número total de cartões em estudo passou de 9 para 8). Nas Tabelas A2.5 e A2.6 do Anexo 2, apresentam-se os resultados desta análise.

6.3.2. Análise do efeito posição

Desde a formação do simples face até á saída da mesa de secagem a folha contínua de cartão é submetida a diferentes pressões ao longo de toda a largura da folha. Um dos factores que motivou esta análise foi o facto de a afinação de aperto na colagem da cobertura com a canelura se realizar independentemente nas duas extremidades dos rolos de pressão, o que poderia originar diferentes esmagamentos de canelura.
A afinação é realizada por intermédio do ajuste da distância entre rolos tal como indicado na Figura 6.4.

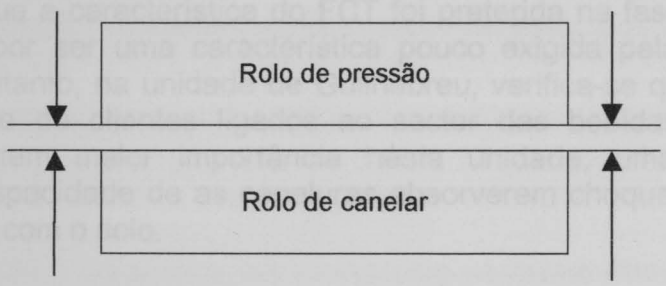

Figura 6.4 – Distância entre rolos na colagem

O esmagamento resulta do facto de o rolo de pressão exercer força sobre a cobertura, para esta se colar na canelura, originando assim um ligeiro esmagamento.
O maior desgaste dos rolos de canelar na sua posição central, provocado pelo facto de esta posição ser aquela que é sempre utilizada, independentemente da largura da folha contínua de catão, também poderia influenciar a má formação da canelura.
Ao longo da largura da folha contínua de cartão foram consideradas três posições distintas, denominadas por lado operador (ver letra O da figura 6.5), centro (ver letra C da figura 6.5) e transmissão (ver letra T da figura 6.5).

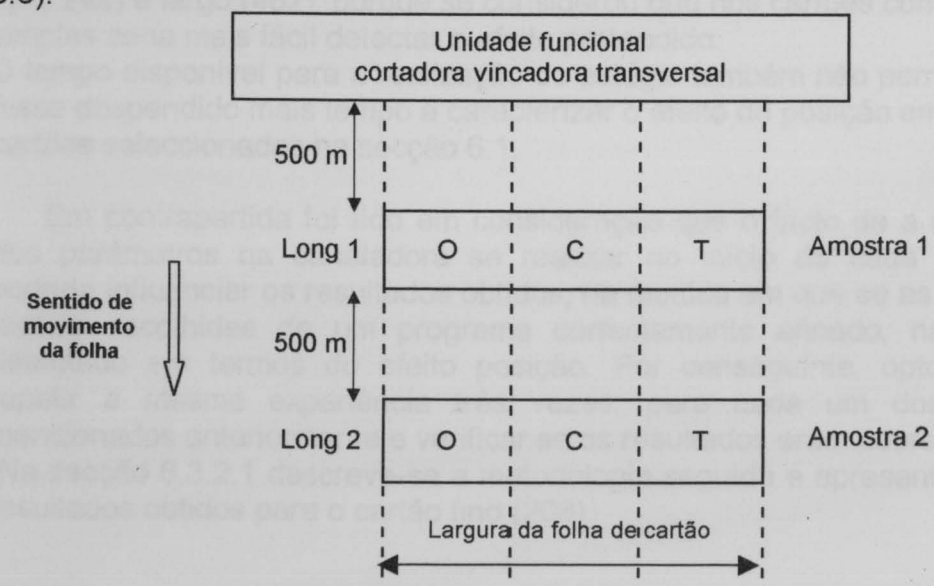

Figura 6.5 - Posições de fabrico

Nesta fase pretendeu-se caracterizar o efeito da posição de fabrico nos resultados do ECT efectuados em pranchas provenientes de cada uma destas posições.

Os dados históricos existentes em arquivo não têm identificados as posições de proveniência destas pranchas, o que significa que, se a posição de fabrico tiver influência no ECT, os dados históricos deveriam ser rejeitados e acumulados novos dados, recolhendo para este efeito pranchas na posição que obtivesse resultados mais baixos de ECT.

Em paralelo também foi realizada a mesma análise para o FCT.

Note-se, que a característica do FCT foi preterida na fase da selecção de variáveis, por ser uma característica pouco exigida pela maioria dos clientes. No entanto, na unidade de Guilhabreu, verifica-se que existe uma fatia importante de clientes ligados ao sector das bebidas e que esta característica tem maior importância nesta unidade, uma vez que é conhecida a capacidade de as caneluras absorverem choques no contacto da embalagem com o solo.

Para analisar o efeito posição foram ensaiadas pranchas provenientes de 4 amostras recolhidas entre longitudes sucessivas de 500 metros lineares. Entende-se por longitude o comprimento de programa processado entre instantes sucessivos nos quais são recolhidas as pranchas. A periodicidade de recolha foi definida tendo em consideração que o comprimento médio dos programas ronda os 3000 metros lineares.

Em cada uma destas 4 amostras, foram demarcadas as 3 posições de fabrico e realizados os ensaios de ECT no centro de cada uma das posições. As 4 amostras foram portanto recolhidas dentro do mesmo programa para garantir a mesma regulação dos parâmetros para todas elas não introduzido deste modo outros factores de variação nesta análise.
Esta análise só foi realizada para os cartões de canelura simples fino (206, 221, 242) e largo (482), porque se considerou que nos cartões com canelura simples seria mais fácil detectar o efeito pretendido.
O tempo disponível para a realização do estágio também não permitiria que fosse despendido mais tempo a caracterizar o efeito da posição em todos os cartões seleccionados na secção 6.1.

Em contrapartida foi tido em consideração que o facto de a regulação dos parâmetros da caneladora se realizar no início de cada programa poderia influenciar os resultados obtidos, na medida em que se as amostras fossem recolhidas de um programa correctamente afinado, nada seria detectado em termos do efeito posição. Por conseguinte, optou-se por repetir a mesma experiência três vezes, para cada um dos cartões mencionados anteriormente e verificar se os resultados eram coerentes.
Na secção 6.3.2.1 descreve-se a metodologia seguida e apresentam-se os resultados obtidos para o cartão fino (206).

6.3.2.1. Blocos Aleatórios Completos

6.3.2.1.1. Metodologia e Modelo com dois efeitos fixos

Este modelo utilizou-se por estar particularmente indicado para situações em que se pretende estudar o efeito de um determinado factor sobre uma resposta, mas há outra fonte de variação presente que pode ter influência nas conclusões obtidas das experiências.
Neste caso, o efeito que se pretendeu estudar foi a influência da posição em que é recolhida a prancha tendo em consideração que os resultados poderiam ser afectados pelo comprimento decorrido do programa.

Considerou-se assim que as três posições são os níveis do factor em estudo (tratamentos) e as quatro longitudes são os níveis do factor que embora não seja o factor em estudo contribui para a variação total (blocos).
O modelo é de efeitos fixos visto que os níveis dos tratamentos e dos blocos foram escolhidos previamente.
Nas secções seguintes deste capítulo apresentam-se os resultados obtidos para o cartão 206, no primeiro programa testado.
No Anexo 3 apresentam-se os resultados para os cartões de canelura fina (221, 242) e larga (482) para os três programas testados.

6.3.2.1.2. Matriz de resultados do ECT

Na Tabela 6.7 apresentam-se os resultados dos ensaios do ECT para o cartão 206.

Tabela 6.7 - Resultados ECT para cartão 206

	Posição				
Long.	O	C	T	Totais	Média
1	4,84	4,73	4,58	14,2	4,72
2	4,45	4,64	4,34	13,4	4,48
3	4,35	4,46	4,51	13,3	4,44
4	4,60	4,44	4,30	13,3	4,45
Totais	18,2	18,3	17,7	54,24	
Média	4,56	4,57	4,43		

Os resultados da análise de variância encontram-se sumariados na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 - ANOVA, Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	GL	DQM	Fo
Factor Posição	0,05	2	0,021	1,49
Factor Longitude	0,16	3	0,051	3,39
RESIDUAL	0,09	6	0,015	
Total	0,3	11		

Para testar se há ou não diferenças entre as diversas as posições, as hipóteses são:

H_o:$\mu_O=\mu_C=\mu_T$
H_1:$\mu_i\neq\mu_K$

Da Tabela da distribuição F obtém-se para $F_{2,6}$ (α=0.05) = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 206 tenha influência no resultado do ECT efectuado às pranchas nas três posições consideradas .

6.3.2.1.3. Análise de resíduos

6.3.2.1.3.1. Normalidade dos resíduos

Na Figura 6.6 apresenta-se o gráfico da normalidade dos resíduos para o efeito posição.

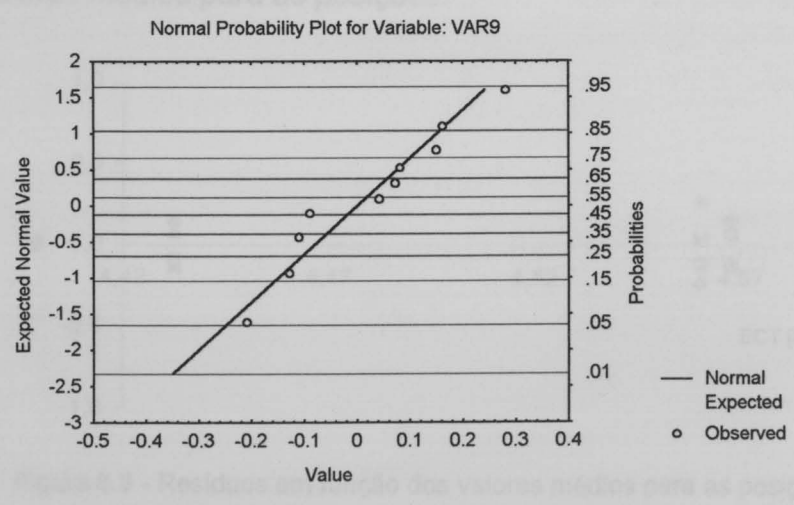

Figura 6.6 - Normalidade dos resíduos das posições

Da observação do gráfico admitiu-se como válida a hipótese de normalidade dos erros.

6.3.2.1.3.2. Gráfico dos resíduos em função do tempo

Na Figura 6.7 apresenta-se o gráfico dos resíduos em função do tempo.

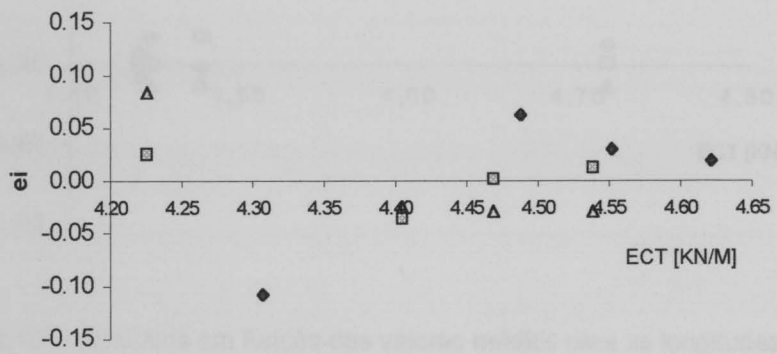

Figura 6.7 - Resíduos em função do tempo

Os resíduos apresentam tendência para se aproximarem da média, isto é, de zero mas não foi dado particular interesse a esta tendência.

6.3.2.1.3.3. Gráfico dos resíduos em função dos valores médios

Na Figura 6.8 apresenta-se o gráfico dos resíduos em função dos valores médios para as posições.

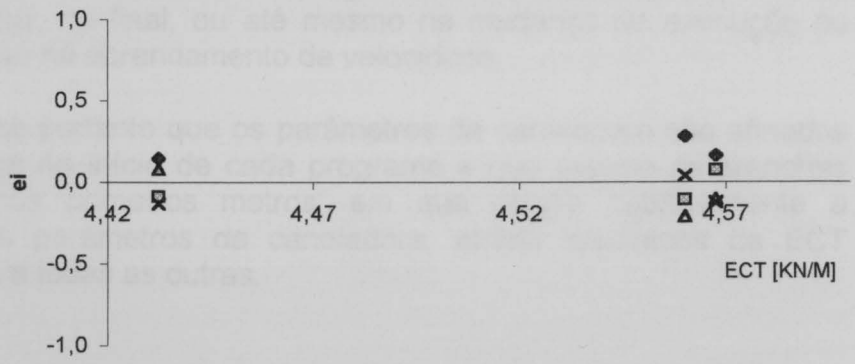

Figura 6.8 - Resíduos em função dos valores médios para as posições

Da observação do gráfico admitiu-se que a variância foi constante para as posições estudadas.

Na Figura 6.9 apresenta-se o gráfico dos resíduos em função dos valores médios das longitudes.

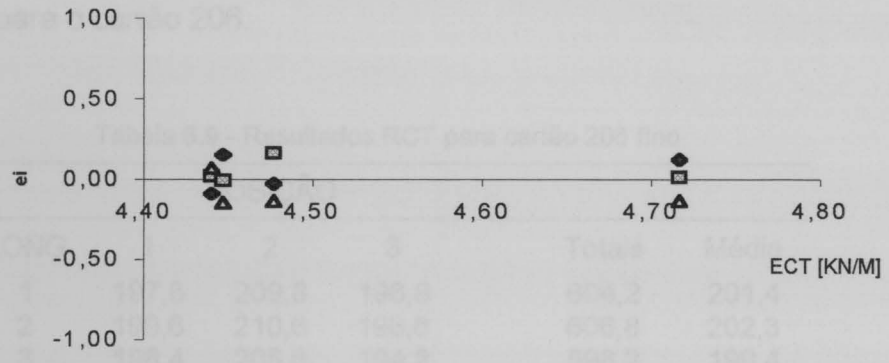

Figura 6.9 - Resíduos em função dos valores médios para as longitudes

Da observação do gráfico admitiu-se que a variância foi constante para as longitudes estudadas.

6.3.2.2. Conclusões

Os cartões analisados não revelam que a posição de fabrico tenha influência no ECT das pranchas recolhidas destes posições. Isto significa que daqui por diante uma prancha recolhida de uma posição ao acaso caracterizará todas as posições.

O factor comprimento (longitude) decorrido do programa também não evidencia qualquer tipo de influência na característica ECT obtida das pranchas, o que significa que as pranchas têm ECT semelhantes ao longo de todo o comprimento do programa, independentemente de este estar no início, no final, ou até mesmo na mudança de execução ou bobine em que há abrandamento de velocidade.

Assume-se portanto que os parâmetros da caneladora são afinados correctamente no início de cada programa e que mesmo as pranchas recolhidas nos primeiros metros, em que ocorre habitualmente a afinação dos parâmetros da caneladora, obtêm resultados de ECT semelhantes a todas as outras.

6.3.2.2.1. Matriz de resultados do FCT

Na Tabela 6.9 estão representados os resultados dos ensaios do FCT para o cartão 206.

Tabela 6.9 - Resultados RCT para cartão 206 fino

	POSIÇÃO				
LONG	1	2	3	Totais	Média
1	197,6	209,8	196,8	604,2	201,4
2	199,6	210,6	196,6	606,8	202,3
3	198,4	205,6	194,2	598,2	199,4
4	193,0	203,8	198,6	595,4	198,5
Totais	788,6	829,8	786,2	2404,60	
Média	197,2	207,5	196,6		

Os resultados da análise de variância estão sumariados na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 - ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	GL	DQM	Fo
Factor Posição	300,3	2	150,17	22,92
Factor Longitude	27,66	3	9,22	1,41
RESIDUAL	39,3	6	6,55	
Total	367,3	11		

Para testar se há ou não diferenças entre as diversas as posições, as hipóteses são:

H_o: $\mu_1=\mu_2=....=\mu_a$
H_1: $\mu_1 \neq \mu_a$

Da Tabela da distribuição F obtém-se para $F_{2,6}$ (α=0.05)= 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico tem influência no resultado do FCT efectuado às pranchas recolhidas nestas posições, para o caso do cartão 206. O factor longitude não tem influência no FCT obtido nos ensaios às pranchas, significando que o comprimento decorrido do programa em nada influencia os resultados desta característica.

6.3.2.2.2. Análise de resíduos

6.3.2.2.2.1. Normalidade dos resíduos

Na Figura 6.10 apresenta-se o gráfico da normalidade dos resíduos.

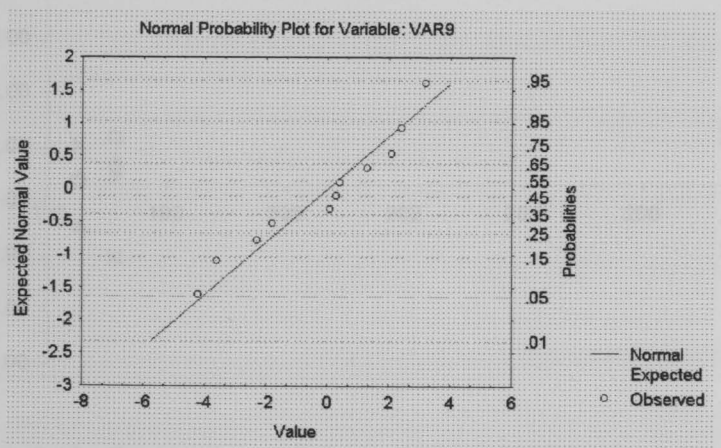

Figura 6.10 - Resíduos em função dos valores médios para as longitudes

Da observação do gráfico admitiu-se como válida a hipótese de normalidade dos dados.

6.3.2.2.2.2. Gráfico dos resíduos em função do tempo

Na Figura 6.11 apresenta-se o gráfico dos resíduos em função do tempo.

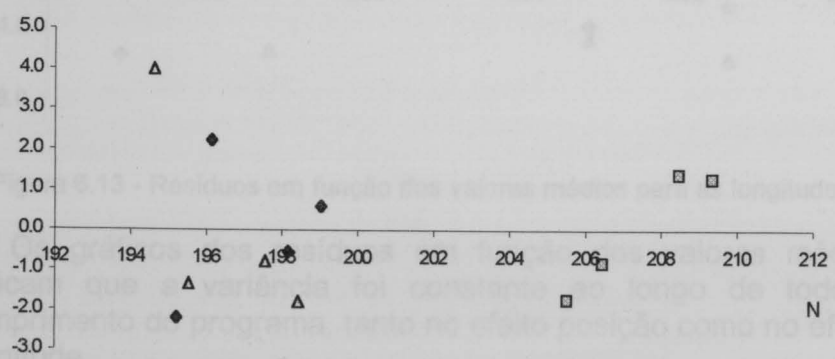

Figura 6.11 - Resíduos em função do tempo

Os resíduos em função do tempo não apresentam qualquer tipo de tendência.

6.3.2.2.2.3. Gráfico dos resíduos em função dos valores médios

Na Figura 6.12 apresenta-se o gráfico dos resíduos em função do tempo.

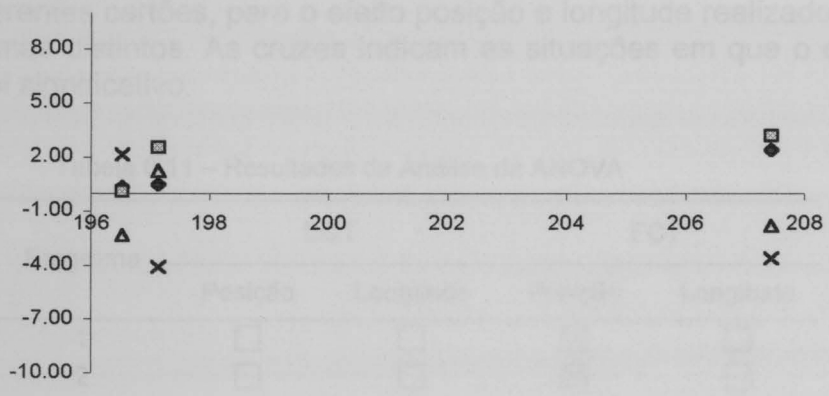

Figura 6.12 - Resíduos em função dos valores médios para as longitudes

Na Figura 6.13 apresenta-se o gráfico dos resíduos em função do tempo.

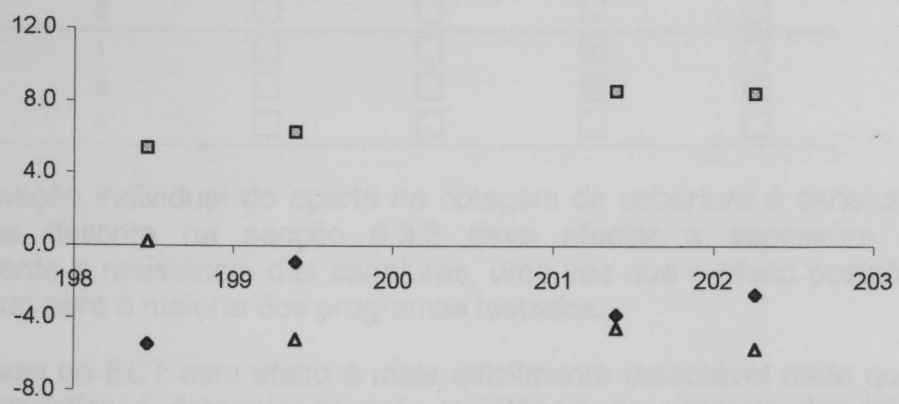

Figura 6.13 - Resíduos em função dos valores médios para as longitudes

Os gráficos dos resíduos em função dos valores médios indicam que a variância foi constante ao longo de todo o comprimento do programa, tanto no efeito posição como no efeito longitude.

6.3.2.3. Conclusões

Ao contrário daquilo que sucedeu com a característica ECT, o FCT detectou diferenças nas posições de fabrico para a maioria dos cartões. Este efeito é ainda mais visível para o caso dos cartões 206 e 242, em que este efeito foi detectado nos 3 programa testados.

Na Tabela 6.11 apresentam-se os resultados do teste ANOVA obtidos para os diferentes cartões, para o efeito posição e longitude realizados em três programas distintos. As cruzes indicam as situações em que o efeito estudado foi significativo.

Tabela 6.11 – Resultados da Análise da ANOVA

Cartão	Programa	ECT		FCT	
		Posição	Longitude	Posição	Longitude
206	1	☐	☐	☒	☐
	2	☐	☐	☒	☐
	3	☐	☐	☒	☒
221	1	☐	☒	☐	☐
	2	☐	☒	☒	☐
	3	☐	☒	☒	☐
242	1	☐	☐	☒	☐
	2	☒	☐	☒	☐
	3	☐	☐	☒	☐
482	1	☐	☐	☒	☐
	2	☐	☐	☒	☒
	3	☐	☐	☐	☐

A afinação individual do aperto na colagem da cobertura à canelura pela forma descrita na secção 6.3.2 deve afectar a espessura e provavelmente a resistência das caneluras, uma vez que o efeito posição foi detectado para a maioria dos programas testados.

No caso do ECT este efeito é mais dificilmente detectável dado que esta característica é determinada pela resistência do conjunto dos três papéis que constituem o cartão.

O FCT é um ensaio que avalia unicamente a resistência da canelura, detectando-se mais facilmente qualquer heterogeneidade existente.
Os manómetros indicadores da pressão de aperto (do lado operador e transmissão) descalibram-se regularmente, dando uma indicação errónea desta medida.

Os responsáveis pela manutenção alegaram que o mecanismo pneumático usado para regulação desta distância ultrapassou o seu limite de vida e deverá por isso ser brevemente substituído.
O estudo da característica do FCT ficou assim adiado para depois da substituição do equipamento defeituoso.

6.4. Fase III – Estimação de parâmetros

6.4.1. Controlo de dados históricos

De acordo com os procedimentos estabelecidos no Plano de Inspecção e Ensaio da empresa devem ser registados e arquivados os resultados dos ensaios de ECT e Rebentamento realizados a uma prancha por cada programas realizado na caneladora.

As conclusões obtidas sobre o factor composição e posição de fabrico foram de extrema importância para a utilização dos dados históricos. Com base nos resultados obtidos na análise de composições será possível considerar um maior número de observações do histórico, dado que também se poderá agrupar dados provenientes das composições alternativas estudadas. Note-se que se o efeito composição não tivesse sido identificado como irrelevante incorria-se no risco de considerar dados provenientes de populações diferentes.
A equivalência de ECT entre posições de fabrico provada na secção 6.3.2 permitirá desprezar a posição de proveniência das pranchas. Saliente-se ainda que nas observações contidas em arquivo não está identificada a posição de fabrico das pranchas, o que poderia impedir a utilização dos dados históricos caso não tivesse sido avaliado o efeito do factor posição.
É através destes dados históricos que será possível estimar parâmetros de média e desvio padrão para cada cartão, recorrendo a cartas de controlo de valores individuais e amplitudes móveis, que são aplicadas quando se utilizam valores individuais. Estes parâmetros serão necessários para numa fase posterior calcular os pontos que constituirão as cartas de controlo para *Short Runs*.
A amostra de 100 observações para cada tipo de cartão foi então sujeita a um controlo estatístico.

Nas secções seguintes deste capítulo enuncia-se a metodologia seguida para caracterizar a amostra do cartão 206, apresentando-se no Anexo 4 os resultados para os restantes cartões.

6.4.1.1. Verificação de normalidade

A consideração dos dados históricos pressupõe que a distribuição das medidas individuais do processo estudado seja normal.
Optou-se então por recolher 100 observações de ensaios de ECT por cada tipo de cartão pertencente ao grupo de cartões que consta na Tabela 6.2 e verificar a sua normalidade com base na observação do histograma de frequências e no resultado do teste de normalidade. Para tal recorreu-se a um *software* para Controlo Estatístico do Processo (*Statística for Windows*) que permitiu o desenho dos histogramas e aplicação do teste com maior rapidez.
Na secção seguinte apresentam-se os resultados obtidos para o cartão 206.

6.4.1.1.1. Histograma de frequências

A Figura 6.4 ilustra claramente que a distribuição dos valores de ECT está centrada no alvo (o valor nominal é 3.9), é unimodal e não exibe grande assimetria.

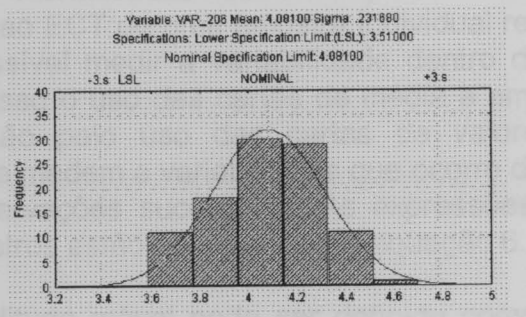

Figura 6.6. Histograma de frequências do ECT(Cartão 206)

6.4.1.1.2. Teste de normalidade

São testadas as seguintes hipóteses

Ho: a distribuição da população é normal
H1: a distribuição da população não é normal

Na Tabela 6.12 apresentam-se os elementos relativos ao teste do χ^2.

Tabela 6.12. Teste do χ^2

Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada e_k=N.P_k	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
3.21-3.4	-	0.16	(0.16)	.4087305
3.4-3.59	-	1.46	(1.46)	
3.59-3.78	11	7.45	3.55	
3.78-3.96	18	20.57	(2.57)	.3215662
3.96-4.14	30	30.88	(0.88)	.0250855
4.14-4.32	29	25.21	3.79	.5694447
4.32-4.51	11	11.19	(0.19)	.3589551
4.51-4.8	1	3.07	(2.07)	
	N = 100			**Q = 1.6838**

O número de graus de liberdade é GL=4. Com α=5% vem χ^2 (0.05)=11.07. Como este valor é muito maior do que o da estatística de teste, Q=1.6838, a hipótese nula não é rejeitada ao nível de significância de 5% (nem seria para valores de α muito maiores).

6.4.2. Cartas de Valores Individuais e Amplitudes Móveis

Uma vez confirmada a normalidade da amostra recolhida com os resultados do ECT para o cartão 206, a sua média e desvio padrão foram estimados com a ajuda de cartas de controlo depois de retiradas as causas especiais de variação identificadas . Sabendo que resultados existentes em arquivo são relativos ao ECT de uma amostra individual recolhida por cada programa, não é possível medir a variabilidade dentro de cada amostra, impossibilitando por isso o uso das cartas de média e amplitude. Por este motivo optou-se então pelo uso das cartas de valores individuais e amplitude móveis, que medem a variabilidade que ocorre dentro dos grupos constituídos por observações sucessivas. As expressões que permitiram calcular estes parâmetros estão enunciadas na equação 6.1.

Com N=1, a amplitude móvel pode ser definida como a sucessão de valores que se obtêm tomando o módulo da diferença entre cada observação e a que se lhe segue , ou seja:

$$AM = |x_{i-1} - x_i| \quad \text{com } i = 2, 3, ..., k \qquad (6.1)$$

Note-se que, uma vez que não é possível calcular o valor de AM no termo x_1, existem apenas k-1 amplitudes móveis (e não k). O cálculo do valor médio AM_i é obtido recorrendo à seguinte expressão:

$$\overline{AM} = \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{i=2}^{k} |x_{i-1} - x_i| \qquad (6.2)$$

O valor de $\overline{AM}$ enfatiza, essencialmente, a variação que ocorre entre observações sucessivas. A amplitude média pode ser convertida numa estimativa do desvio padrão recorrendo à expressão 6.3, considerando que a dimensão das amostras é de n=2, sendo d_2=1.128 (ver Tabela 6.13).

Tabela 6.13 – Factores de Conversão

Dimensão da amostra n	Factor de Conversão d_2
2	1.128
3	1.693
4	2.059

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{AM}}{d_2} = \frac{\overline{AM}}{1.128} \qquad (6.3)$$

Os limites e a linha central da carta de controlo de medidas individuais (carta x) com os parâmetros estimados são então:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + 3 \cdot \frac{\bar{AM}}{1.128} = \bar{\bar{x}} + 2.66 \cdot \bar{AM}$$

$$LC = \bar{\bar{x}} \qquad (6.4)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - 3 \cdot \frac{\bar{AM}}{1.128} = \bar{\bar{x}} - 2.66 \cdot \bar{AM}$$

A "amplitude móvel" pode ser utilizada para controlar a variabilidade. Os limites e a linha central das cartas $(\bar{X}; A_{móvel})$ são calculados recorrendo às expressões 6.5.

$$LSC = D_2 \cdot \frac{\bar{AM}}{d_2} = \frac{3.267}{1.128} \cdot \bar{AM} = 2.896 \cdot \bar{AM}$$

$$LC = \bar{\bar{x}} \qquad (6.5)$$

$$LIC = D_1 \cdot \frac{\bar{AM}}{d_2} = \frac{0}{1.128} \cdot \bar{AM} = 0$$

Nas Figuras 6.7 e 6.8 estão representadas as Cartas de Valores Individuais e amplitudes móveis para o cartão 206, com os limites de controlo calculados com base nas expressões 6.4 e 6.5.

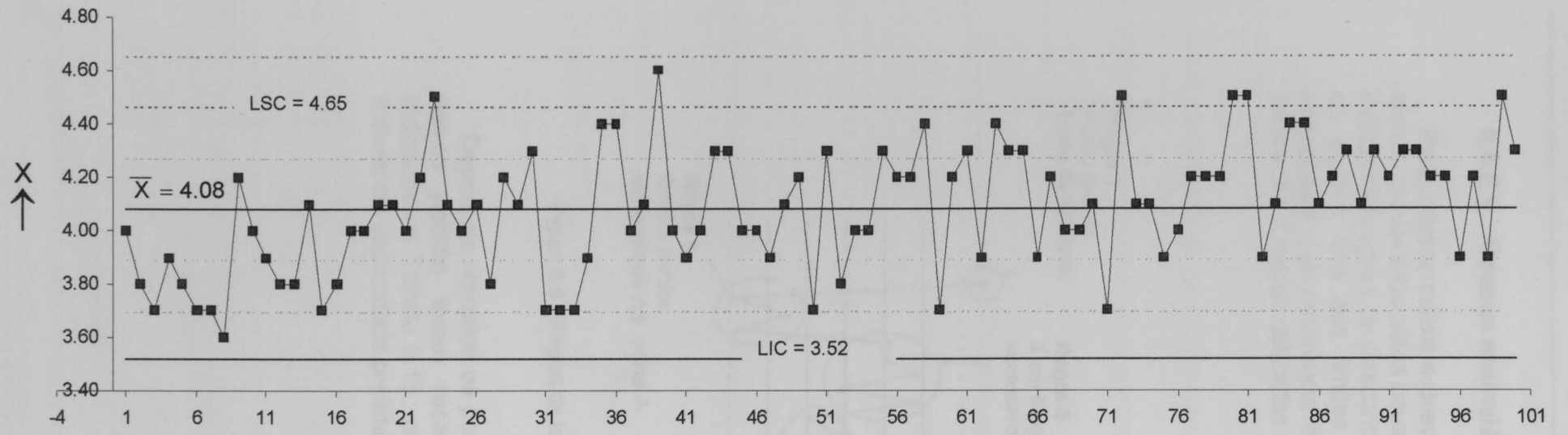

Figura 6.7 - Carta de média para o cartão 206

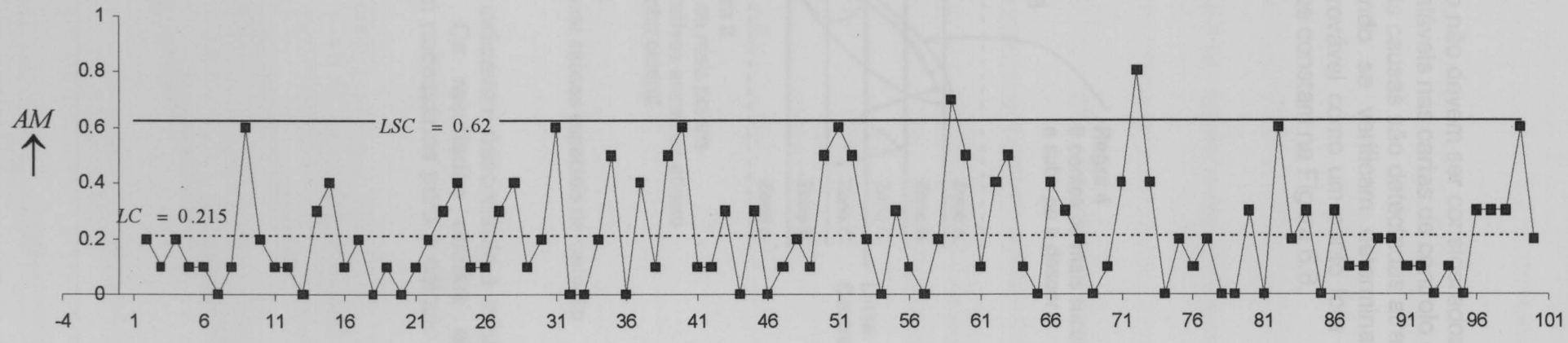

Figura 6.8 - Carta de amplitudes para o cartão 206

6.4.2.1. Causas assinaláveis

Para estimar média e desvio padrão não devem ser considerados os efeitos provocados pelas causas assinaláveis nas cartas de controlo que indicam situações de descontrolo. Estas causas são detectadas através de pontos fora dos limites ou quando se verificam determinadas sequências cuja ocorrência é tão improvável como um ponto fora dos limites. As 5 regras utilizadas são as que constam na Figura 6.8.

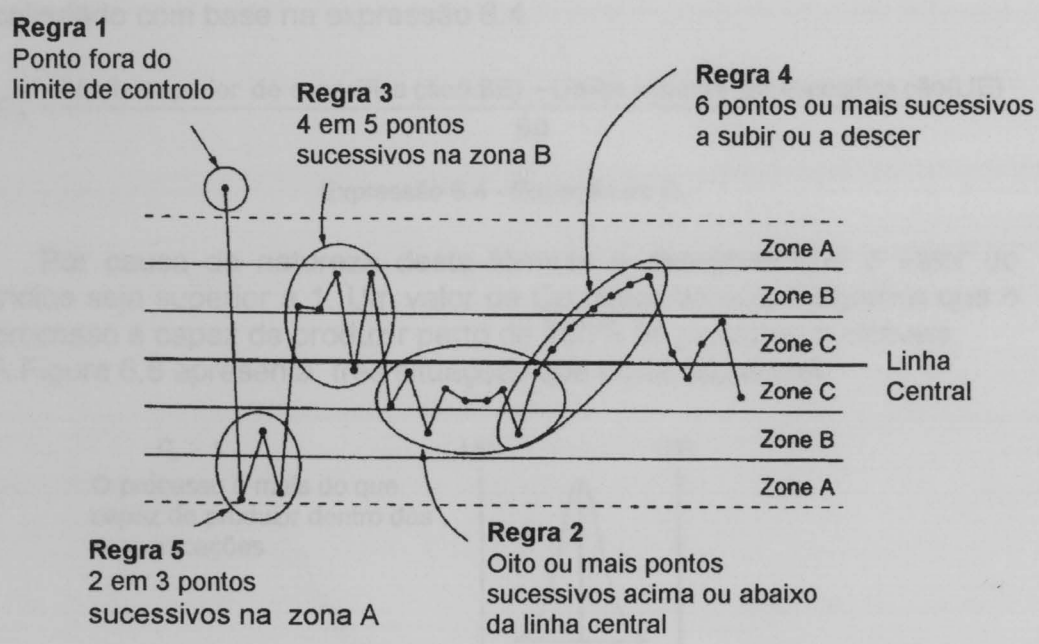

Figura 6.8 - Regras de identificação de causas especiais de variação

Depois de retirados os pontos que indicavam descontrolo a média e desvio padrão foram recalculados. Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 6.13., onde foram necessários para o cálculo dos índices de capacidade preliminares.

6.4.3. Índices de Capacidade Preliminares

Na secção anterior, as cartas de controlo tiveram como objectivo avaliar o comportamento do processo em termos de variabilidade, indicando se este seguia um padrão consistente (estável) ao longo do tempo.
Os índices de capacidade do processo são usados para comparar a variação natural dos valores individuais com as especificações.

6.4.3.1. Índice C_p

O Cp é um indicador matemático do relacionamento entre as especificações nominais e a variação natural do processo, sendo calculado com base na expressão 6.4.

$$C_p = \frac{\text{Limite superior de especificação(LSE)} - \text{Limite superior de especificação(LIE)}}{6\sigma}$$

Expressão 6.4 - Equação do C_p

Por causa da natureza desta fórmula é desejável que o valor do índice seja superior a 1. Um valor de Cp maior do que 1 significa que o processo é capaz de produzir perto de 100% de produtos aceitáveis.
A Figura 6.8 apresenta três situações que poderão ocorrer.

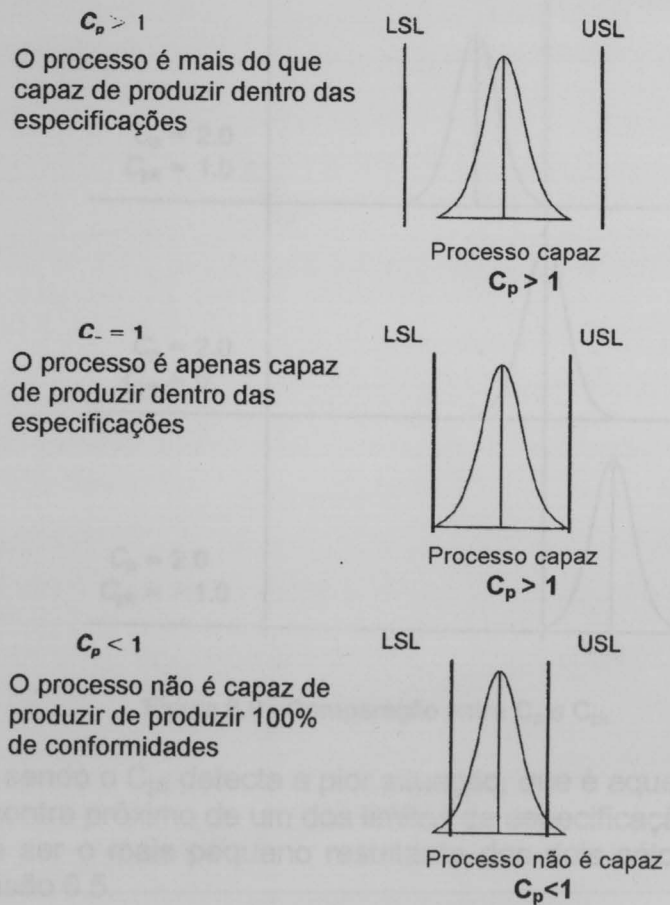

Figura 6.8 - Interpretação dos índices C_p

Este indicador tem no entanto algumas limitações devido ao facto de não ter em consideração a estabilidade do processo, ignorando o zona onde está centrada a média. Um processo encontra-se centrado quando a média das observações se encontra no meio das duas tolerâncias nominais.

6.4.3.2. Índice C_{pk}

Ao contrário do rácio C_p, o C_{pk} toma em consideração a localização da média global dando por isso uma melhor indicação da performance do processo relativamente ao limite inferior ou superior de especificação. A Figura 6.9 inclui situações em que o C_p é superior a 1 com baixa dispersão, mas com média das observações totalmente descentrada. Essa mesma Figura indica os valores do C_{pk} em situações idênticas, revelando que este indicador tem maior fiabilidade na medida da capacidade do processo.

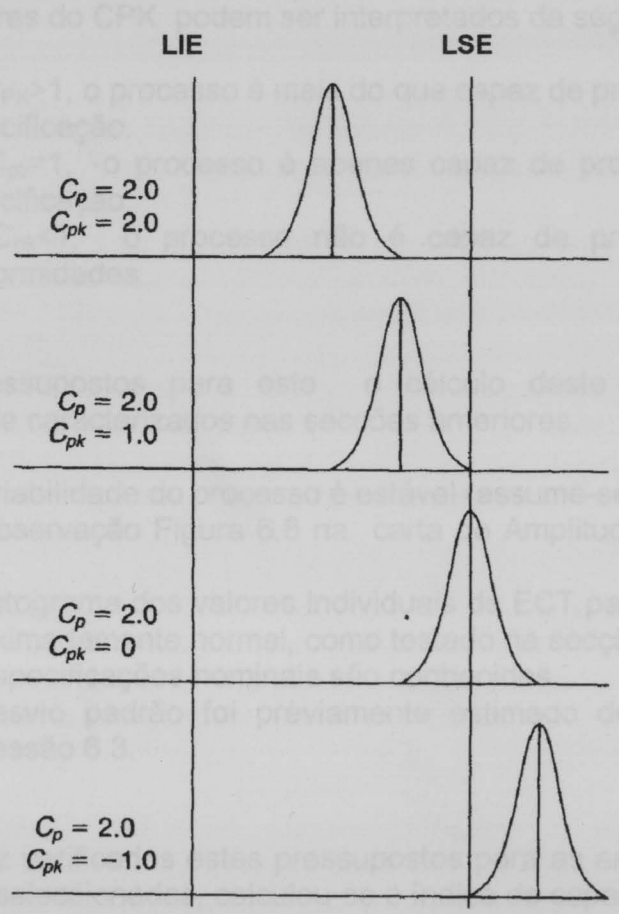

Figura 6.9 - Comparação entre C_p e C_{pk}

Assim sendo o C_{pk} detecta a pior situação, que é aquela em que a média se encontra próximo de um dos limites de especificação. O C_{pk} escolhido deverá ser o mais pequeno resultante dos dois cálculos com base na expressão 6.5.

$$C_{pk\ superior} = \frac{LSE - \overline{X}}{3\hat{\sigma}} \qquad (6.5)$$

$$C_{pk\ inferior} = \frac{\overline{X} - LIE}{3\hat{\sigma}}$$

No caso do cartão canelado, o limite superior de especificação não tem particular interesse dado que a variável escolhida (ECT) é uma medida de resistência física não estando definido qualquer limite superior de especificação.

Os valores do CPK podem ser interpretados da seguinte forma:

1. Se $C_{PK}>1$, o processo é mais do que capaz de produzir dentro das especificação.
2. Se $C_{pk}=1$, o processo é apenas capaz de produzir dentro das especificação.
3. Se $C_{pk}<1$, o processo não é capaz de produzir 100% de conformidades.

Os pressupostos para este o cálculo deste índice foram já devidamente caracterizados nas secções anteriores.

1. A variabilidade do processo é estável (assume-se como tal a partir da observação Figura 6.8 na carta de Amplitudes para o cartão 206).
2. O histograma dos valores individuais de ECT para o cartão 206 é aproximadamente normal, como testado na secção 6.4.2.1.
3. As especificações nominais são conhecidas.
4. O desvio padrão foi previamente estimado de acordo com a expressão 6.3.

Uma vez verificados estes pressupostos para as amostras do grupo de cartões seleccionados, calculou-se o índice de capacidade preliminar dos cartões em estudo com base nos dados históricos.

A Tabela 6.13 indica o C_{pk} obtido para os diversos cartões

Tabela 6.13 - C_{pk} dos cartões com base no histórico de ECT

Cartão	Tipo de cartão	$\overline{X}$	$\hat{\sigma}$	LIE	C_{pk}
032	Micro	4.13	0.18	3.61	0.99
080	Micro	3.82	0.22	3.15	0.83
206	Fino	4.08	0.19	3.52	0.98
221	Fino	4.10	0.17	3.69	0.83
242	Fino	6.20	0.43	5.01	0.91
482	Largo	5.71	0.29	4.75	1.1
700	Duplo	6.85	0.31	5.72	1.2
701	Duplo	7.18	0.27	5.83	1.68

Como é possível observar na Tabela 6.13 a maioria dos índices de capacidade preliminares aproximam-se de 1, o que significa que a média de ECT obtida nos ensaios está suficientemente afastada do LIE e a variabilidade dos resultados dos cartões têm valores aceitáveis tendo em consideração que os dados provêm de dados históricos. É um indicador que transmite alguma confiança aos parâmetros estimados.

Estes resultados também indiciam que os parâmetros reguláveis da caneladora, tais como, a distância de aperto na colagem das unidades de simples face e coladeira, a sua velocidade de produção, a pressão da mesa de secagem são afinados convenientemente durante o processo de produção das pranchas de cartão.

É de salientar que se estes índices de capacidade preliminares fossem baixos indicando por isso que o processo estaria a produzir não conformes, teria de ser feito um estudo para caracterizar a influência dos principais factores intervenientes no processo, por forma a identificar os que estariam a prejudicar os resultados do ECT obtidos.

Este tipo de situação género obrigaria à aplicação de um planeamento de experiências, através dos Métodos de Taguchi para caracterizar os parâmetros de regulação mais importantes.

Uma vez que os índices indicam que se produz pranchas aceitáveis optou-se por seguir para o desenho das cartas de controlo para *Short Runs* tal com estava previsto no plano inicial. A metodologia seguida será apresentada na próxima secção.

6.5. Fase IV – Controlo Estatístico do Processo

6.5.1. Cartas de controlo para *Short Runs*

Com o surgimento das técnicas avançadas de produção *JIT*, as encomendas são cada vez mais parcializadas, fazendo com que os tempos de produção contínuos de um determinado tipo de cartão na caneladora sejam cada vez mais curtos. A noção de continuidade de produção perde ainda mais significado quando falamos em processos em que há paragens para mudança de turnos, períodos de refeição e muitas outras originadas por falhas de matéria-prima ou das próprias unidades funcionais.

A grande variedade de cartões produzidos diariamente (cerca de 20) também obriga a mudanças frequentes do tipo de cartão produzido.

Para desenhar as cartas de média e amplitude móveis desenvolvidas por Shewhart seria necessário uma nova amostra de cerca de 50 observações individuais por cartão, para averiguar a validade dos limites de controlo estabelecidos anteriormente.

O tempo disponível de estágio não permitiria a recolha de todas estas amostras antes do seu final. Por outro lado o esforço de análise seria um factor a ter em consideração utilizando este tipo de cartas dado que teria de se monitorizar a evolução de 8 cartas em simultâneo, com a agravante de recalcular periodicamente os limites de controlo.

As cartas de controlo para *Short Runs* têm vindo a ser bastante utilizadas neste tipo de situações (séries curtas) por terem a vantagem de representar todos os cartões na mesma carta, permitindo um acompanhamento do processo de fabrico.

Para tal é necessário padronizar a média e a dispersão de todos os cartões dado que estes possuíam diferentes dispersões.

Os cartões com maiores medidas nominais apresentam maior variabilidade no processo de fabrico.

A padronização de cada ponto foi realizada com base na expressões 6.6.

$$Z = \frac{X_i - \overline{X}_{cartão}}{\overline{AM}_{cartão}}$$

$$\text{com } \overline{AM}_{cartão} = d_2 \cdot \sigma_{cartão} \qquad (6.6)$$

$$W = \frac{\overline{AM}_i}{\overline{AM}_{cartão}}$$

$\overline{X}_{cartão}$, $\overline{AM}_{cartão}$ e $\sigma_{cartão}$ foram estimados através das expressões apresentadas na Secção 6.4.2 e os seus valores incluem-se na Tabela 6.13.

Os limites de controlo foram obtidos com base nas seguintes expressões:

$$LSC_Z = \frac{3}{d_2} = 2.66$$

$$LIC_Z = -\frac{3}{d_2} = -2.66$$

$$LSC_W = D_4 = 3.267$$

$$LIC_W = 0$$

Esta codificação garante que não sejam introduzidas distorções na estabilidade do processo, já que a linha média da carta de controlo estará situada sobre a média do processo.

6.5.2. Amostragem para as Cartas de Controlo

As amostras recolhidas de cada programa não têm a mesma dimensão, dado que o número de pranchas a recolher dependerá do comprimento total do programa.
Na secção 6.3.2, para caracterizar o efeito longitude (comprimento decorrido do programa) as pranchas foram recolhidas em períodos consecutivos de 500 metros, retirando-se um total de 4 amostras.

Os resultados dessa análise provaram que as pranchas recolhidas ao longo de todo o programa eram equivalentes ao nível do ECT. Ficou assim devidamente caracterizada a variação dentro dos programas.

Para recolher as amostras para as cartas de controlo para *Short Runs*, também será importante caracterizar a variação entre programas.
Na secção 6.5.2.1 apresenta-se o teste de ANOVA para verificar o efeito do programa.

6.5.2.1. Análise do Efeito Programa

6.5.2.1.1. Teste de ANOVA com Modelo de Efeitos mistos

Considerou-se aqui um modelo de efeitos mistos, a posição é o efeito fixo por ter sido previamente escolhido e o programa é o efeito variável. Na Tabela 6.14 apresentam-se os resultados obtidos para o cartão 206

Tabela 6.14 – Resultados ECT (Cartão 206)

	Posição				
Programa	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	4.68	5.06	4.72	14.5	4.82
2	4.84	4.73	4.58	14.2	4.72
3	4.12	4.22	4.05	12.4	4.13
Totais	13.6	14.0	13.4		
Média	4.55	4.67	4.45		

Na Tabela 6.15 apresentam-se os resultados para o cartão 206.

Tabela 6.15 – ANOVA, Efeitos Mistos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	0.06	2	0.04	2.32
Factor Programa	0.83	2	0.42	26.42
RESIDUAL	0.07	4	0.02	
Total	1,0	8		

Para testar se há ou não diferenças entre os diversos programas, as hipóteses são:

$H_o: \mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_a$
$H_1: \mu_1 \neq \mu_a$

Da Tabela da distribuição F obtém-se para $F_{2,4}\ (\alpha=0.05) = 6.94$; como Fo > 6.94, rejeitou-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que os as amostras recolhidas em programas distintos apresentam médias de ECT diferentes.

6.5.2.2. Conclusões

O efeito programa foi identificado para a maioria dos cartões apresentados no Anexo 6, concluindo-se portanto que deve ser dada maior importância a recolha de amostras entre programas, do que dentro dos programas, visto que se poderão encontrar maiores variações entre os programas.

As pranchas foram então recolhidas em períodos sucessivos de 500 metros, repetindo-se esta mesma experiência em pelo menos 4 programas distintos.

Estavam assim reunidas as condições para recolher as amostras, realizar os ensaios, introduzir os pontos nas cartas de controlo padronizadas e analisar o comportamento que vai tendo o processo relativamente à medida de ECT.

6.5.3. Representação das cartas de controlo

As cartas apresentadas nas Figuras 6.10 e 6.11, representam pontos resultantes de amostras recolhidas, num período de seis semanas de produção.

6.5.4. Índices de Capacidade do Processo

Os índices de capacidade finais foram obtidos com base nas observações retiradas das cartas de controlo para *Short Runs.*
Para o cartão 242 não foi determinado o índice de capacidade, dado que o número de amostras recolhidas foi insuficiente

Tabela 6.14 - C_{pk} dos cartões

Cartão	Tipo de cartão	$\overline{X}$	$\hat{\sigma}$	LIE	C_{pk}
032	Micro	4,53	0,15	3.61	2,01
080	Micro	4,41	0,10	3.15	4,07
206	Fino	4,38	0,16	3.52	1,53
221	Fino	4,47	0,15	3.69	1,68
482	Largo	6,05	0,24	4.75	1,85
700	Duplo	6,77	0,21	5.72	1,70
701	Duplo	7,68	0,12	5.83	3.23

6.5.5. Conclusões

Como se pode observar na Tabela 6.14 a totalidade dos cartões apresenta índices de capacidade muito acima de 1.33.

É de salientar que se detectou uma grande diferença entre os índices preliminares obtidos com base no histórico e os índices obtido por amostragem.

Esta diferença justifica-se pelo facto de os últimos índices terem sido realizados em pranchas com 48 horas de condicionamento, que é o tempo previsto pela Norma NP 187 para que o ciclo de histerese no cartão termine, deixando a prancha com a humidade da ordem dos 5%. As pranchas donde resultaram os valores para dos dados históricos são vulgarmente ensaiadas poucas horas após a saída da caneladora.

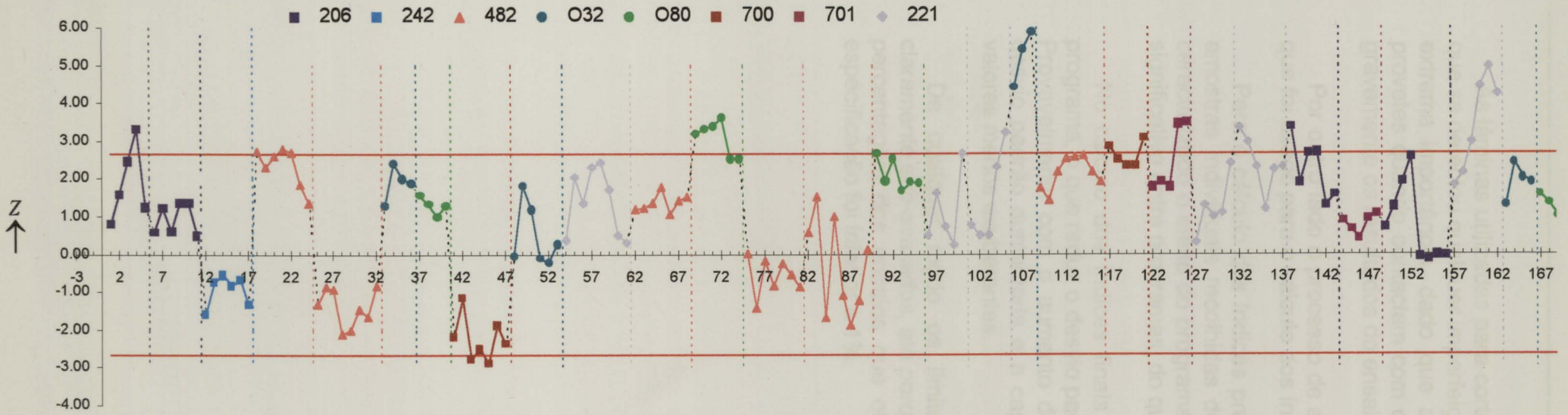

Figura 6.10 - Carta Z

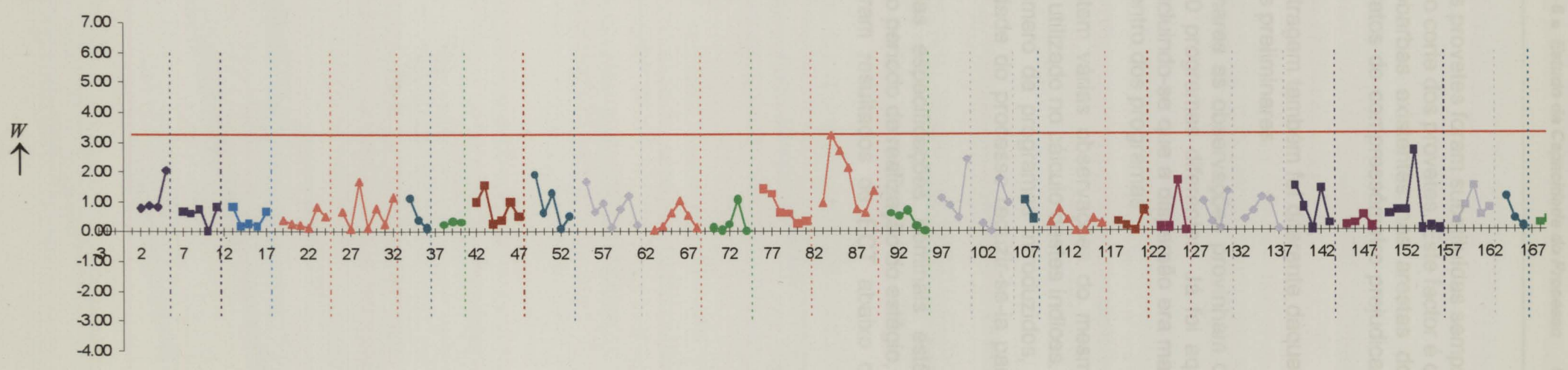

Figura 6.11 - Carta W

As lâminas utilizadas para corte dos provetes foram substituídas sempre que se detectou qualquer imperfeição no corte dos provetes. Este factor é de extrema importância, dado que as rebarbas existentes nas arestas dos provetes quando contactam com os pratos do compressómetro prejudicam gravemente os resultados do ensaio.

Por outro lado o processo de amostragem também foi diferente daquele que foi usado para o cálculo dos índices preliminares.

Para o cálculo dos índices preliminares as observações provinham de amostras individuais recolhidas de 100 programas diferentes. Já foi aqui caracterizado o efeito do programa concluindo-se que a dispersão era mais significativa entre programas, do que dentro dos programas.

No cálculo dos índices finais existem várias observações do mesmo programa, o que reduz o desvio padrão utilizado no cálculo destes índices. Provavelmente com o aumento do número de programas introduzidos, o desvio padrão aumentaria e a capacidade do processo reduzir-se-ia para valores menos exuberantes.

De qualquer modo os limites das especificações nominais estão claramente sub-avaliados, até porque no período de realização do estágio, a percentagem dos ensaios que obtiveram resultados de ECT abaixo da especificação foi inferior a 1%.

7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES

Apesar dos índices de capacidade serem bastante elevados, constatou-se ao longo do estágio que o ensaio do ECT por si só não garante que as embalagens provenientes dos programas verificados através desta medida obtenham resistência ao empilhamento estimada através da expressão do BCT.

Na realidade existe toda uma série de deficiências que não são detectadas por intermédio deste ensaio e que podem prejudicar as características finais da embalagem.

Uma prova evidente desta conclusão é o facto de se detectarem grandes quantidades de pranchas de cartão rejeitadas na fase de transformação das pranchas. Estas pranchas são frequentemente rejeitadas por excesso de empeno, descolagem, secagem exagerada, etc.

Saliente-se, por exemplo, que a influência de um ligeiro empeno dificilmente detectável num pequeno provete de cartão pode ter grande influência na resistência da embalagem final, já que, depois de formada a embalagem, o efeito do empeno toma outras proporções devido à dimensão da face lateral do cartão.

As pranchas descoladas obtiveram por diversas vezes resultados de ECT aceitáveis face aos valores previstos nas especificações. Entende-se por descolada uma prancha em que se consegue descolar uma das faces interior ou exterior da canelura.

As pranchas que são sujeitas a secagem exagerada causada por paragem da caneladora ou excesso de pressão de secagem obtêm valores de ECT superiores à especificação nominal, devido ao facto dos provetes de cartão provenientes desta pranchas apresentarem elevada rigidez, Saliente-se que este efeito é altamente prejudicial para a embalagem fimal, devido à falta de elasticidade daí resultante.

As melhorias introduzidas na embalagem final pelo controlo de qualidade através desta medida são muito modestas, dado que as melhorias no processo surgem apenas quando se detectam defeitos cujas causas possam ser identificadas e eliminadas. Utilizando apenas o ECT como medida, os defeitos são dificilmente detectáveis e, por conseguinte, parte-se sempre do pressuposto que os parâmetros da caneladora e portanto o processo está sob controlo.

Cabral J.A., "Cartas de Contrlo Shewart", Notas de Apoio, GEIN, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 1999.

Canavarro, J.M., "Tecnologia do Papel e Cartão Canelado", Oditécnica, Lisboa, 1985.

Guimarães, R.C., "Estatística", Notas de Apoio, GEIN, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 1995.

Hakan M., "Testing Methods and Instruments for Corrugated Board", Lorentzen & wetter, Stockholm.

Pereira, Z.L., "Planeamento e Controlo da Qualidade", Notas de Apoio, Faculadade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 1997.

Ramos, A.W., "Controle Estatístico de Processo para Pequenos Lotes", EDITORA EDGARD BLUCHER LTDA, S. Paulo, 1995.

Ribeiro, E.M., "Controlo Estatístico", Notas de Apoio, Instituto de Soldadura e Qualidade, 1992.

Stephen A. W., Douglas. C.F., "Innovative Control Charting" Practical SPC Solutions for Today´s Manufactoring Environment, American Society for Quality, USA,1998.

Anexos

Anexo 1 ■ Vistas laterais da caneladora

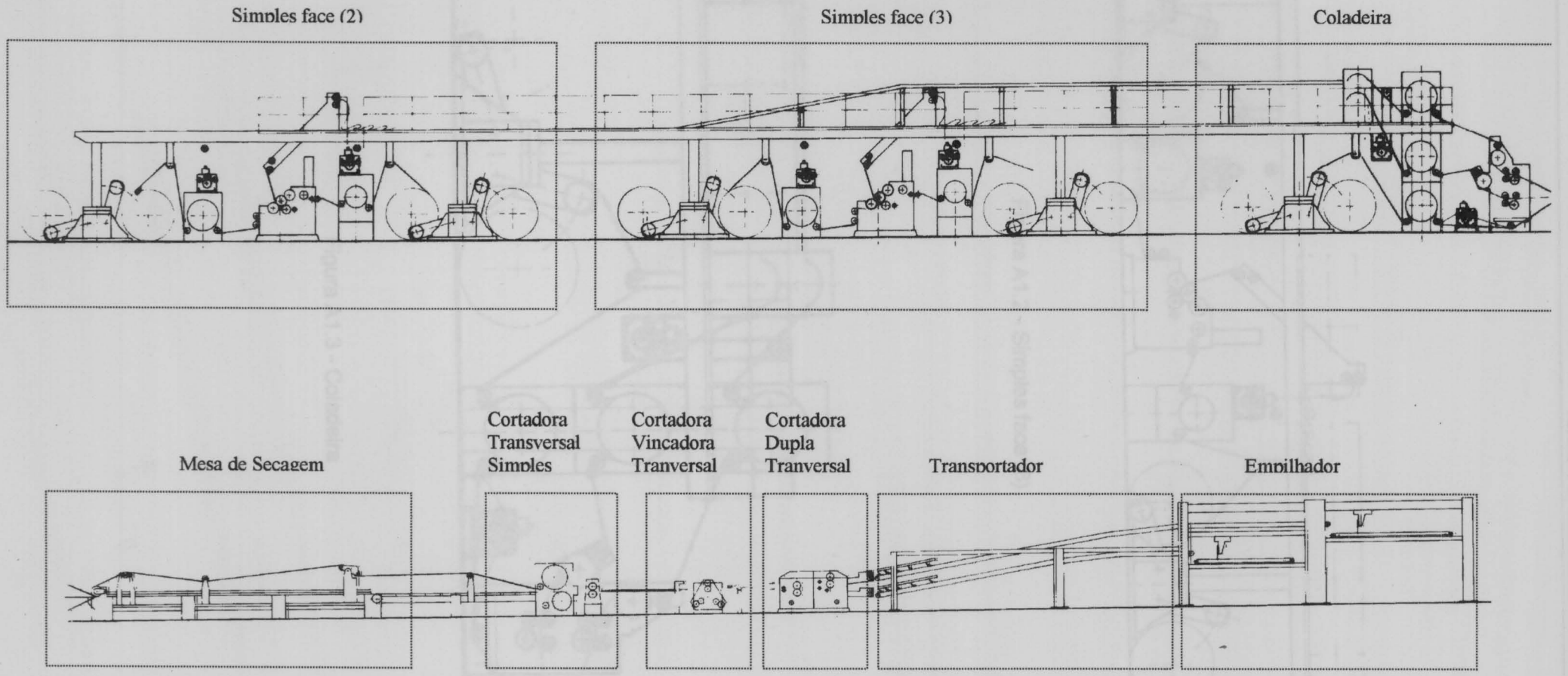

Figura A1.1 - Vista lateral da caneladora

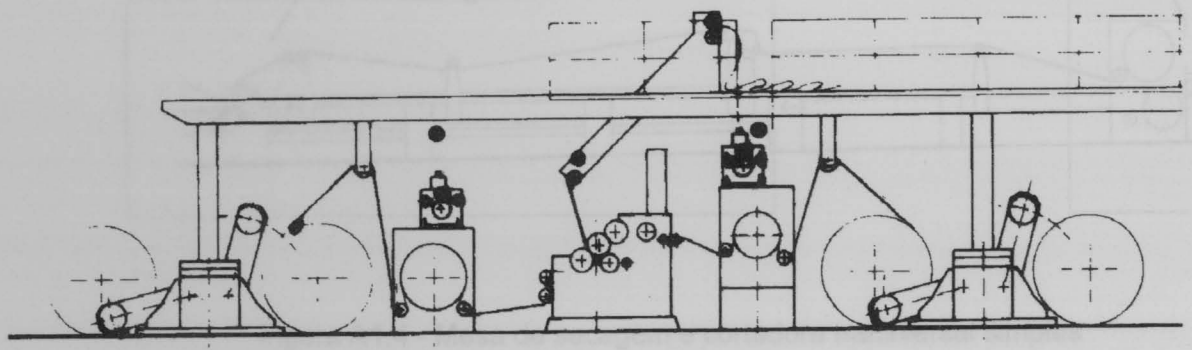

Figura A1.2 - Simples face (3)

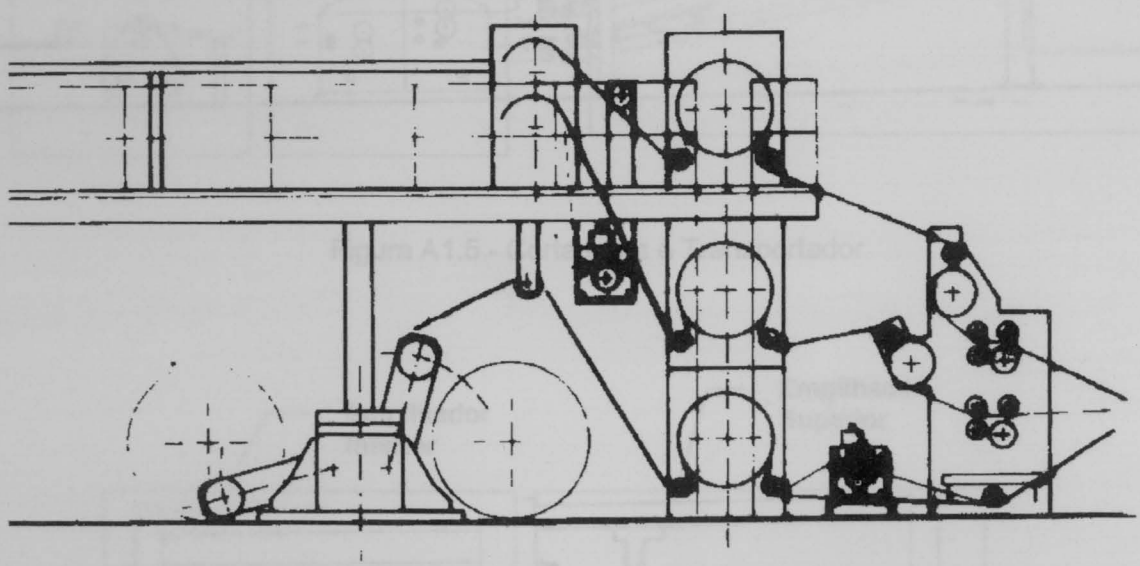

Figura A1.3 - Coladeira

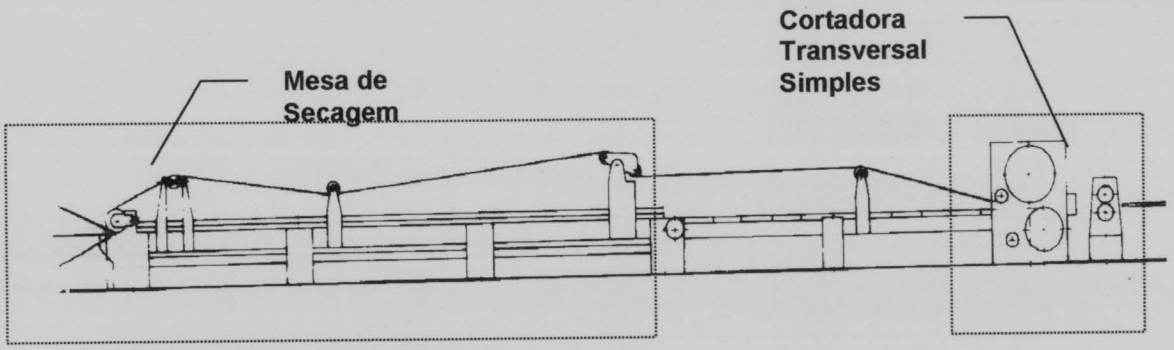

Figura A1.4 - Mesa de secagem e cortadora transversal simples

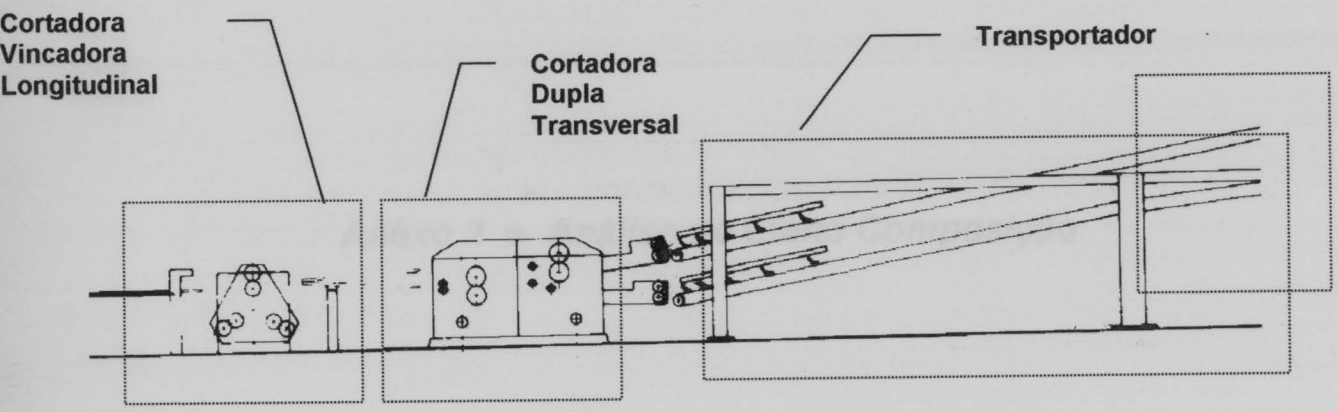

Figura A1.5 - Cortadoras e Transportador

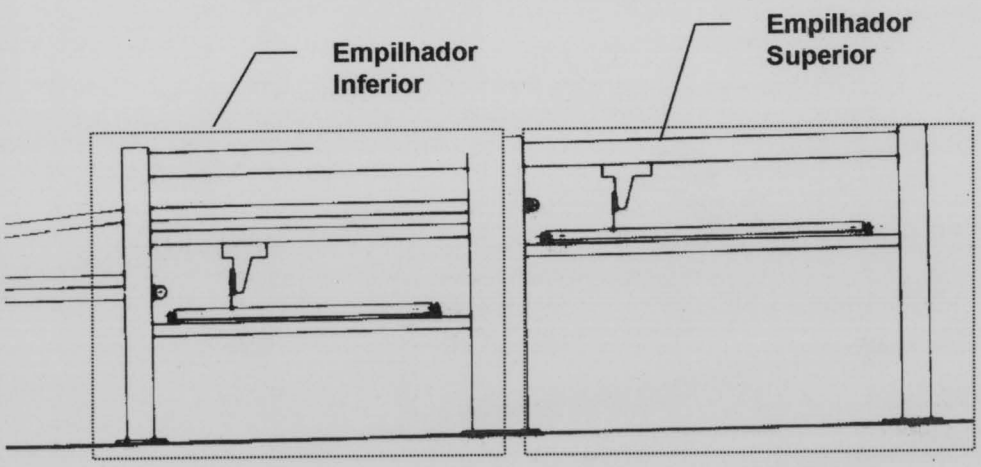

Figura A1.6 - Empilhadores

Anexo 2 ■ Análise do Efeito Composição

Tabela 2.1. Resultados ECT (Cartão 221)

	Observações						
Composição	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Totais**	**Média**
115	4,70	4,19	4,69	5,01	4,8	23,39	4,68
125	4,41	4,63	4,54	4,87	5,2	23,65	4,73
Totais						47,0	

Tabela 2.2. ANOVA

Fonte de Variação	SS	g.l.	MSb	Fo
Entre composições	0,01	1	0,00	0,02
Erro	0,75	8	0,1	
Total	0,76	9		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;1,8}$ = 5.32; como Fo < 5.32, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que esta alteração de composição no cartão 221, tenha influência no resultado do ECT.

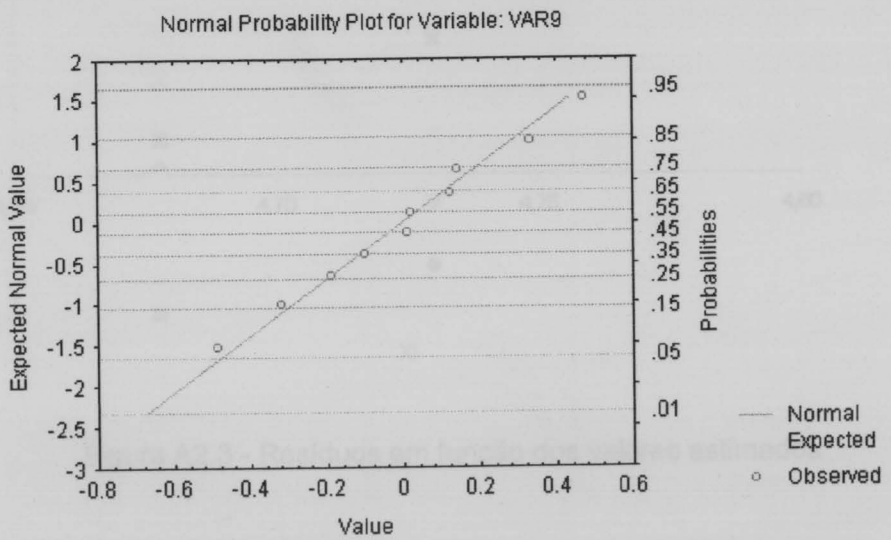

Figura A2.1 - Normalidade de resíduos (Composições cartão 221)

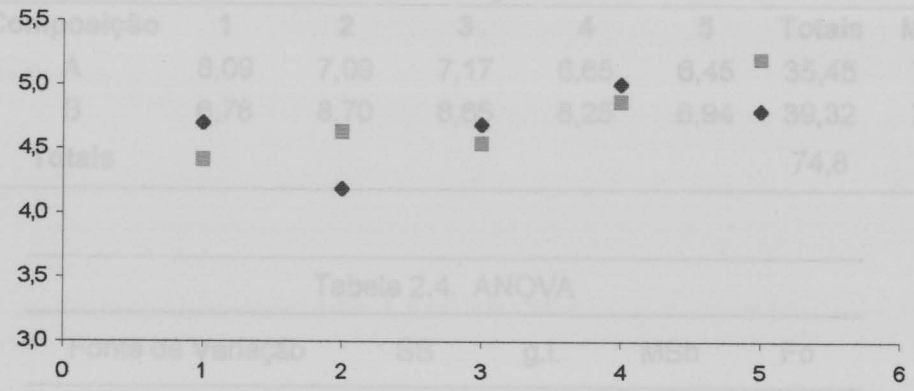

Figura A2.2 - Resíduos em função do tempo

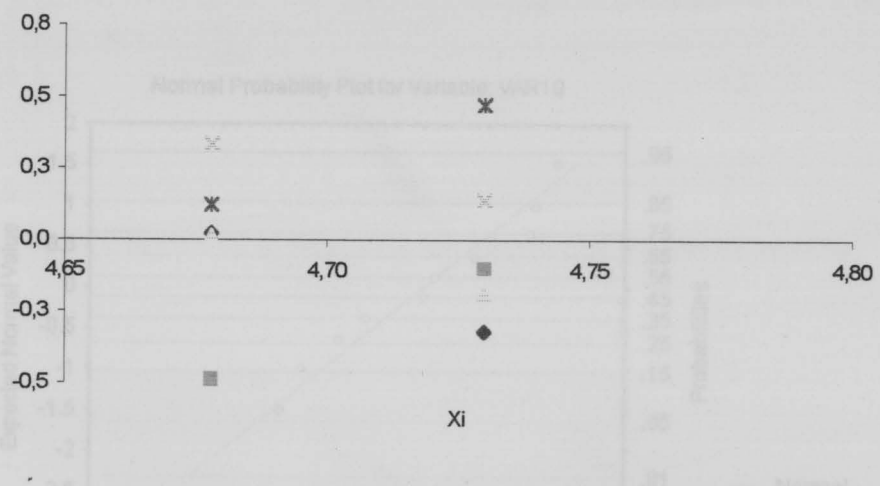

Figura A2.3 - Resíduos em função dos valores estimados

Tabela 2.3. Resultados ECT (Cartão 700)

	Observações						
Composição	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Totais**	**Média**
A	8,09	7,09	7,17	6,65	6,45	35,45	7,09
B	6,78	8,70	8,65	8,25	6,94	39,32	7,86
Totais						74,8	

Tabela 2.4. ANOVA

Fonte de Variação	SS	g.l.	MSb	Fo
Entre composições	1,50	1	0,37	0,59
Erro	5,10	8	0,6	
Total	6,60	9		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;1,8}$ = 5.32; como Fo < 5.32, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto, que não há evidência estatística de que esta alteração de composição no cartão 700, tenha influência no resultado do ECT.

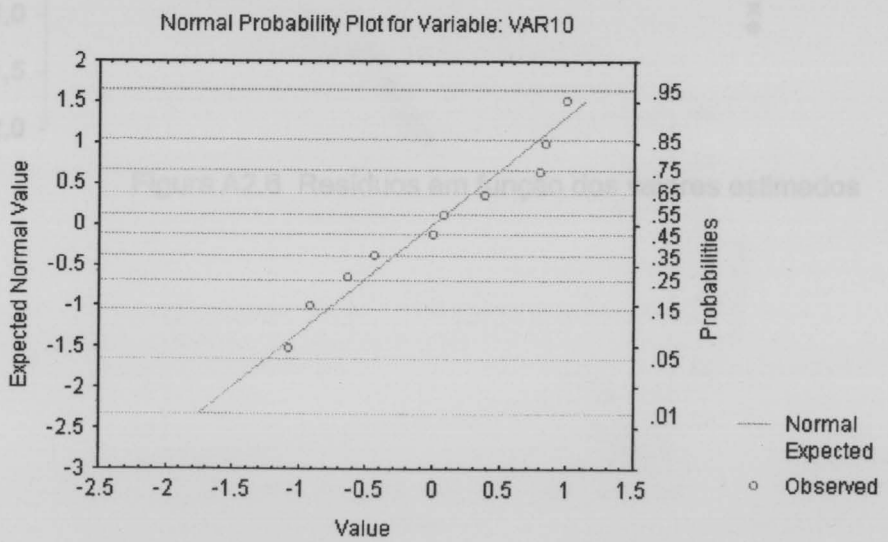

Figura A2.4 Normalidade de resíduos (Composições cartão 700)

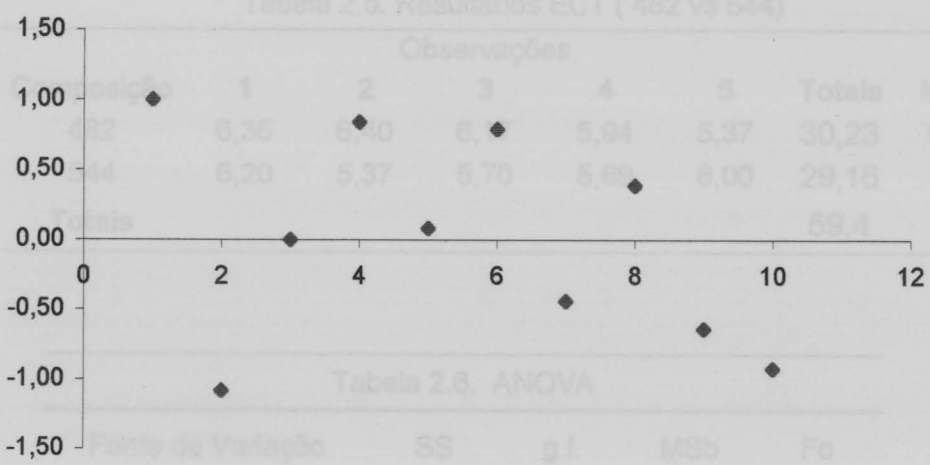

Figura A2.5 Gráfico dos resíduos em função do tempo

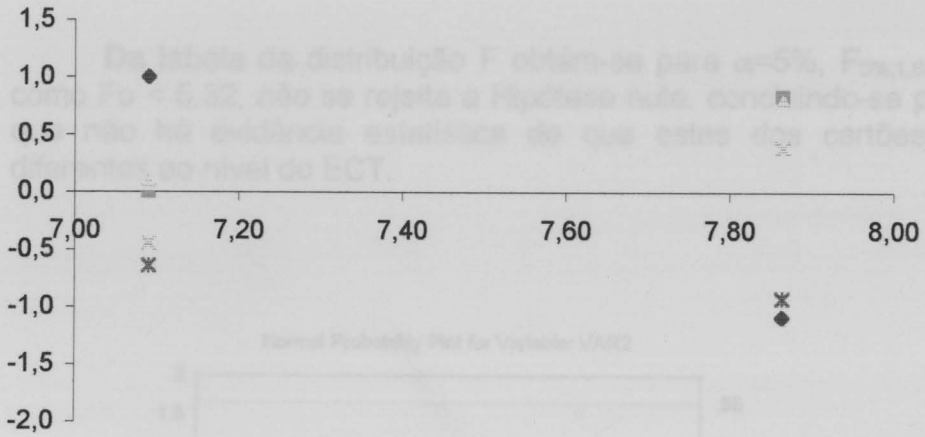

Figura A2.6 Resíduos em função dos valores estimados

Tabela 2.5. Resultados ECT (482 vs 544)

	Observações						
Composição	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Totais**	**Média**
482	6,35	6,40	6,17	5,94	5,37	30,23	6,05
544	6,20	5,37	5,70	5,89	6,00	29,16	5,83
Totais						59,4	

Tabela 2.6. ANOVA

Fonte de Variação	SS	g.l.	MSb	Fo
Entre composições	0,11	1	0,03	0,21
Erro	1,10	8	0,1	
Total	1,21	9		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;1,8}$ = 5.32; como Fo < 5.32, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto, que não há evidência estatística de que estes dos cartões, sejam diferentes ao nível do ECT.

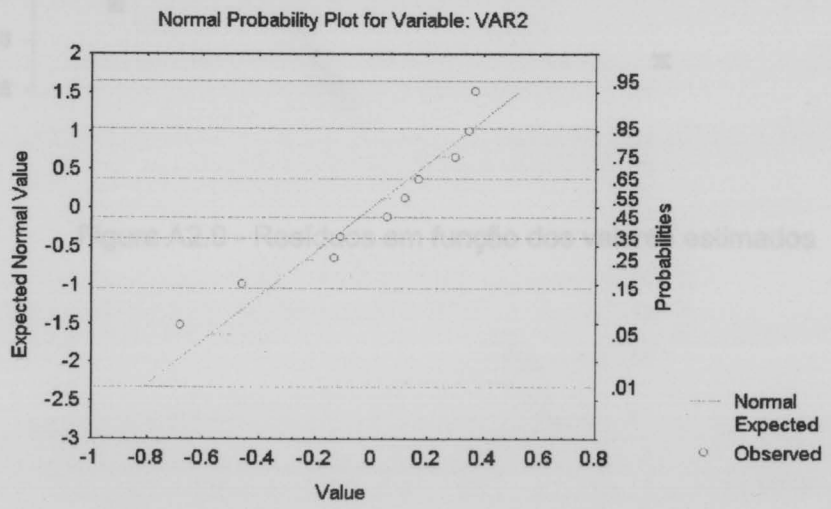

Figura A2.7 - Normalidade de resíduos (Cartões 482 e 544)

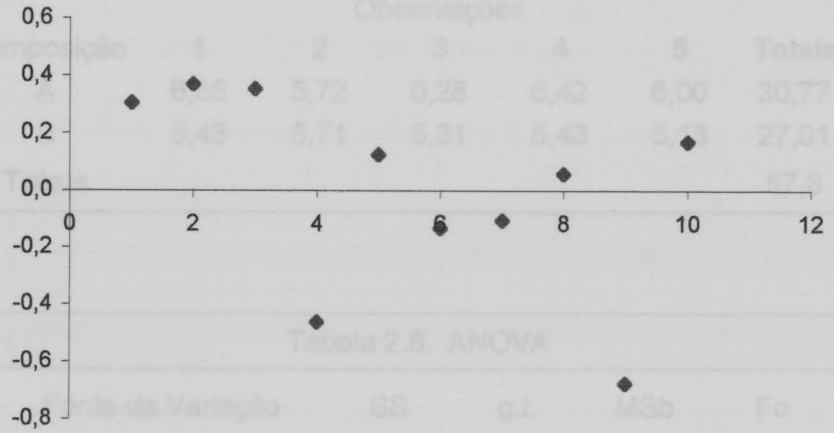

Figura A2.8 - Gráfico dos resíduos em função do tempo

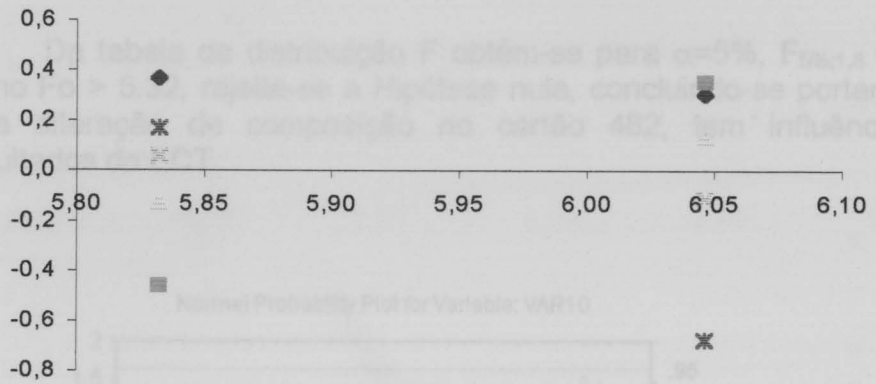

Figura A2.9 - Resíduos em função dos valores estimados

Tabela 2.7. Resultados ECT (Cartão 482 A e B)

	Observações						
Composição	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Totais**	**Média**
A	6,35	5,72	6,28	6,42	6,00	30,77	6,15
B	5,43	5,71	5,31	5,43	5,13	27,01	5,40
Totais						57,8	

Tabela 2.8. ANOVA

Fonte de Variação	SS	g.l.	MSb	Fo
Entre composições	1,41	1	0,35	5,48
Erro	0,52	8	0,1	
Total	1,93	9		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;1,8}$ = 5.32; como Fo > 5.32, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que esta alteração de composição no cartão 482, tem influência nos resultados do ECT.

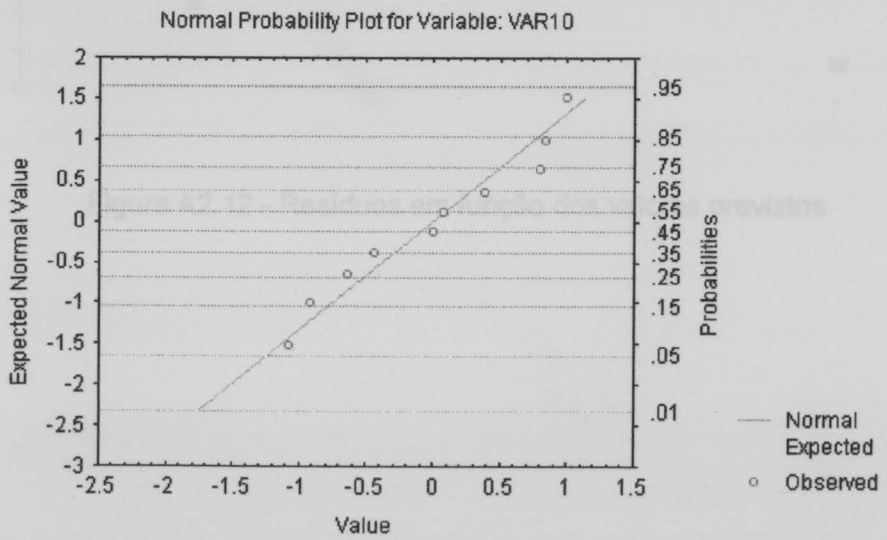

Figura A2.10 - Normalidade de resíduos (Composições do cartão 482)

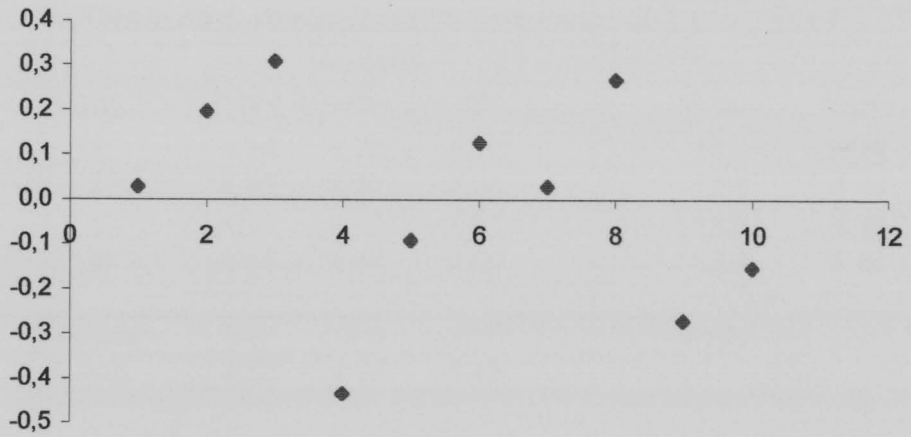

Figura A2.11 - Gráfico dos resíduos em função do tempo

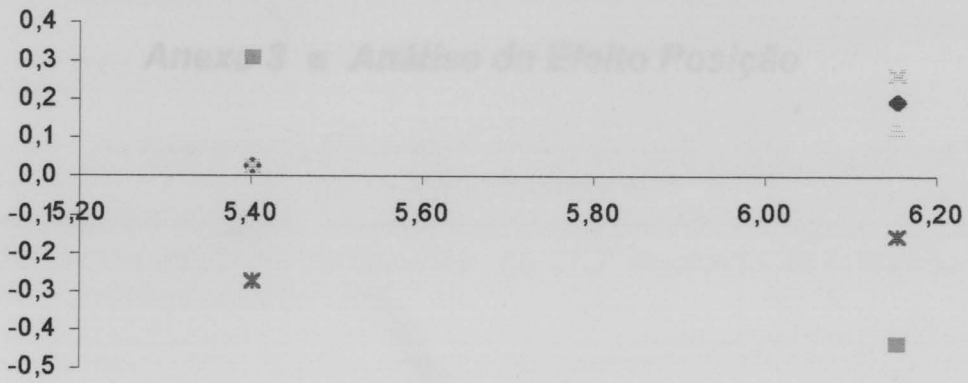

Figura A2.12 - Resíduos em função dos valores previstos

Anexo 3 ■ Análise do Efeito Posição

Tabela A3.1. Resultados ECT para cartão 206, programa 2

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	4,84	4,73	4,58	14,2	4,72
2	4,45	4,64	4,34	13,4	4,48
3	4,35	4,46	4,51	13,3	4,44
4	4,60	4,44	4,30	13,3	4,45
Totais	18,2	18,3	17,7	54,24	
Média	4,56	4,57	4,43		

Tabela A3.2 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,0	2	0,02	1,49
Fac Longitude	0,16	3	0,05	3,39
RESIDUAL	0,1	6	0,02	
Total	0,3	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 206 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

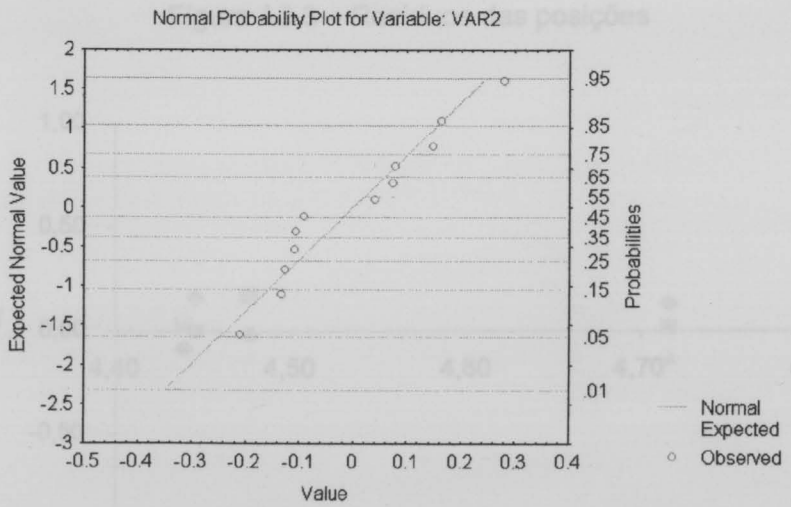

Figura A3.1 – Gráfico de normalidade de resíduos

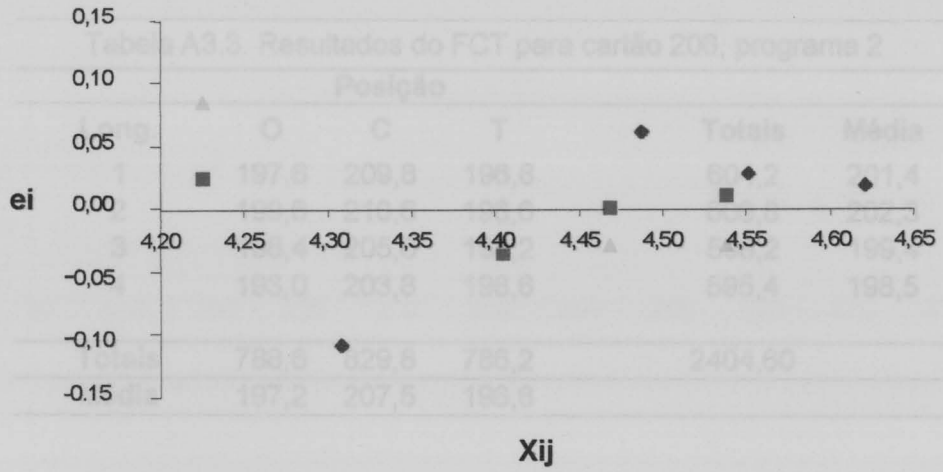

Figura A3.2 – Resíduos em função do valores estimados

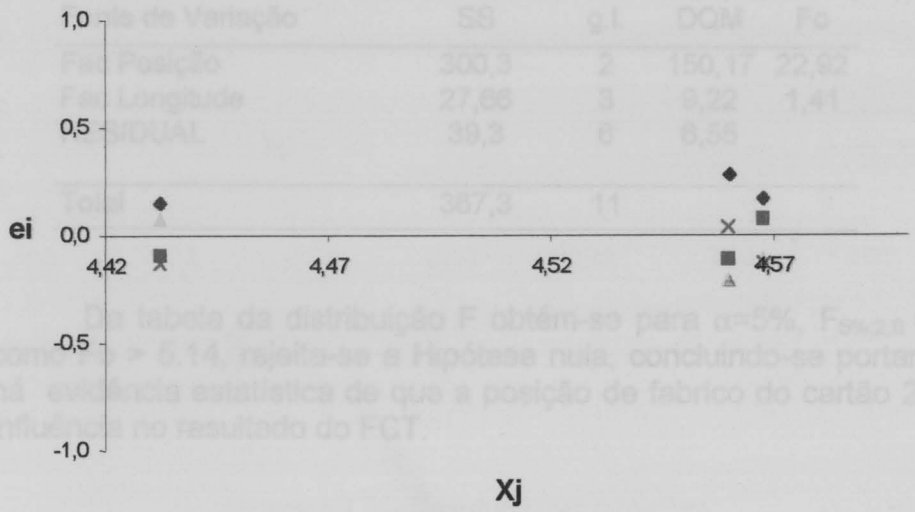

Figura A3.3 – Resíduos das posições

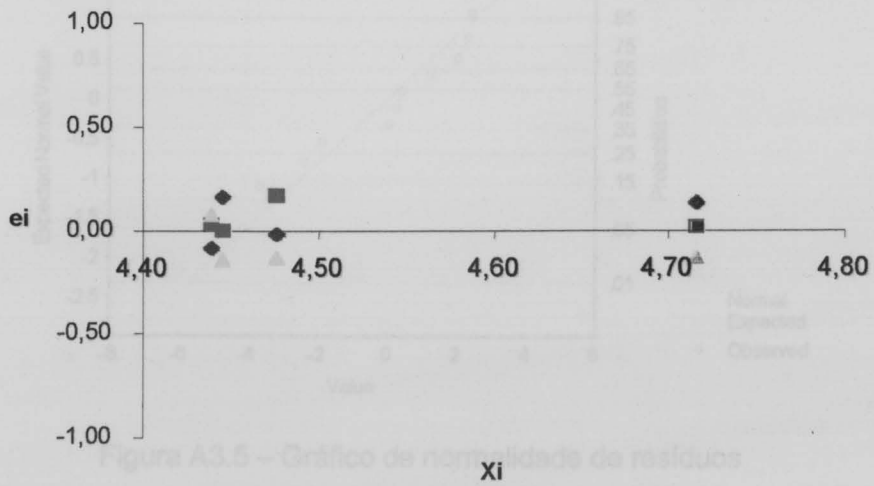

Figura A3.4 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.3. Resultados do FCT para cartão 206, programa 2

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	197,6	209,8	196,8	604,2	201,4
2	199,6	210,6	196,6	606,8	202,3
3	198,4	205,6	194,2	598,2	199,4
4	193,0	203,8	198,6	595,4	198,5
Totais	788,6	829,8	786,2	2404,60	
Média	197,2	207,5	196,6		

Tabela A3.3 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	300,3	2	150,17	22,92
Fac Longitude	27,66	3	9,22	1,41
RESIDUAL	39,3	6	6,55	
Total	367,3	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 206 tem influência no resultado do FCT.

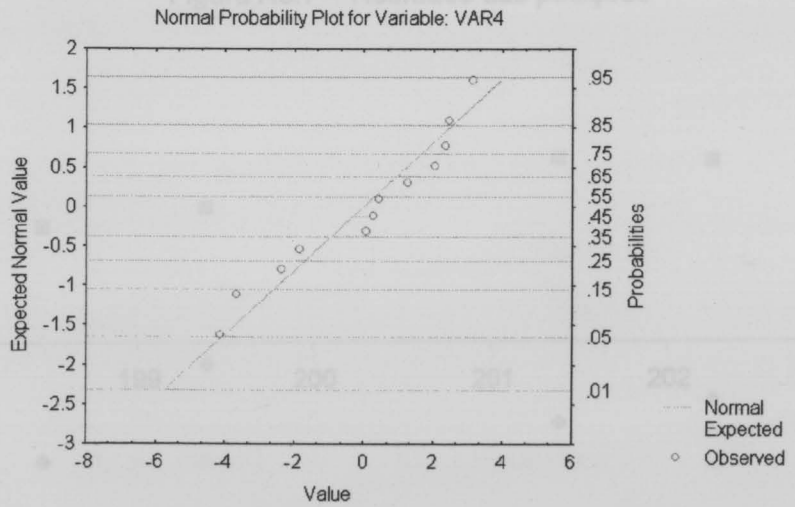

Figura A3.5 – Gráfico de normalidade de resíduos

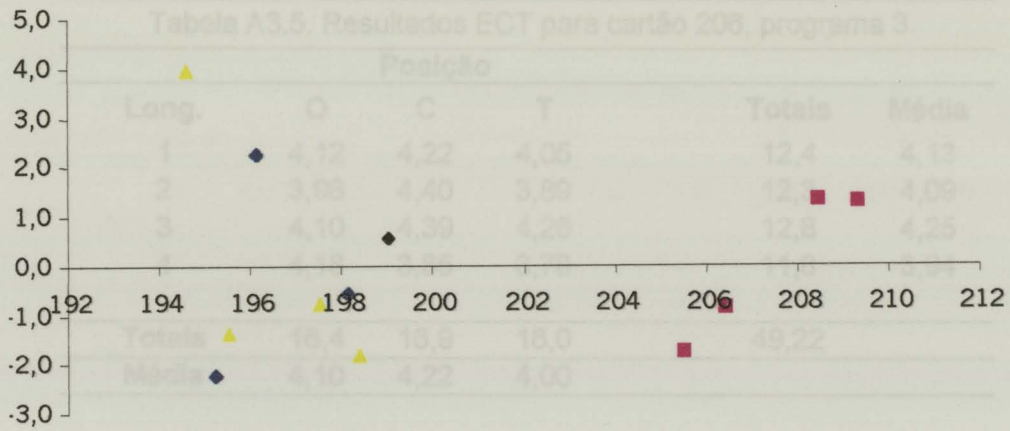

Figura A3.6 – Resíduos em função dos valores estimados

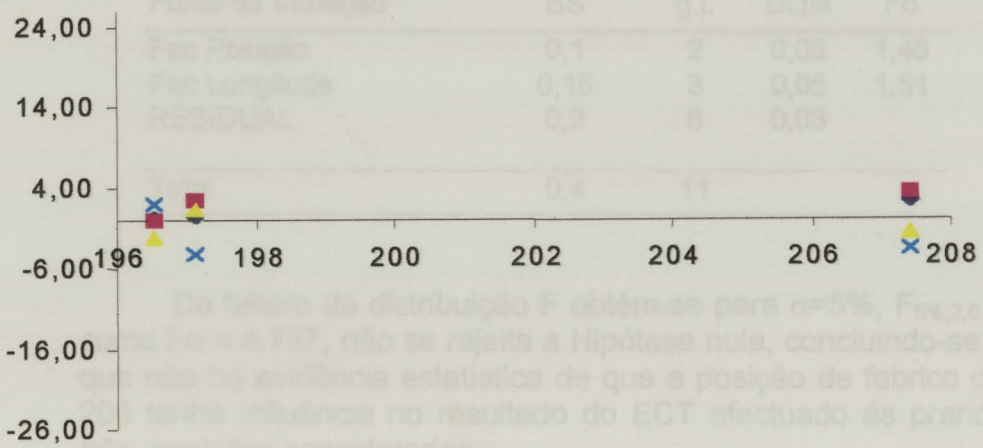

Figura A3.7 – Resíduos das posições

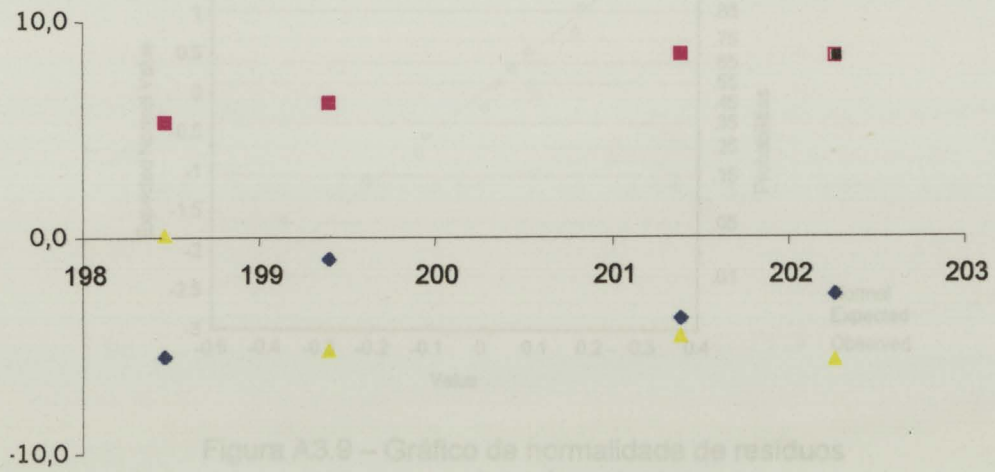

Figura A3.8 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.5. Resultados ECT para cartão 206, programa 3

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	4,12	4,22	4,05	12,4	4,13
2	3,98	4,40	3,89	12,3	4,09
3	4,10	4,39	4,26	12,8	4,25
4	4,18	3,85	3,78	11,8	3,94
Totais	16,4	16,9	16,0	49,22	
Média	4,10	4,22	4,00		

Tabela A3.6. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,1	2	0,05	1,46
Fac Longitude	0,15	3	0,05	1,51
RESIDUAL	0,2	6	0,03	
Total	0,4	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 206 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

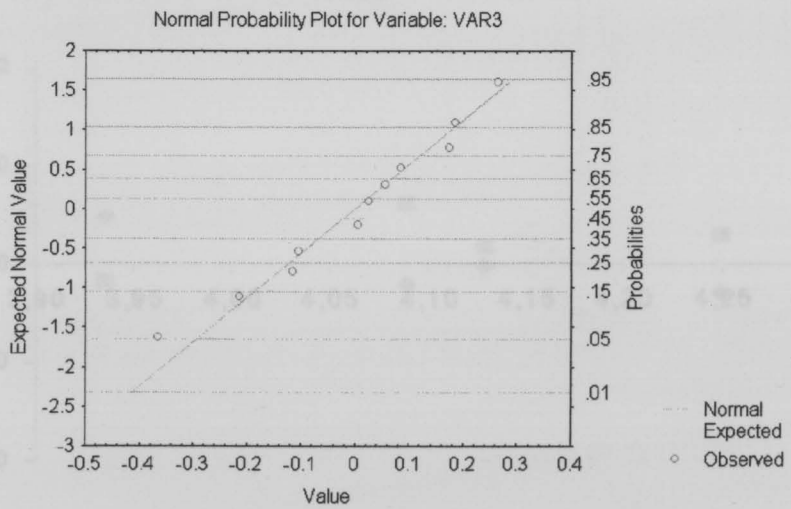

Figura A3.9 – Gráfico de normalidade de resíduos

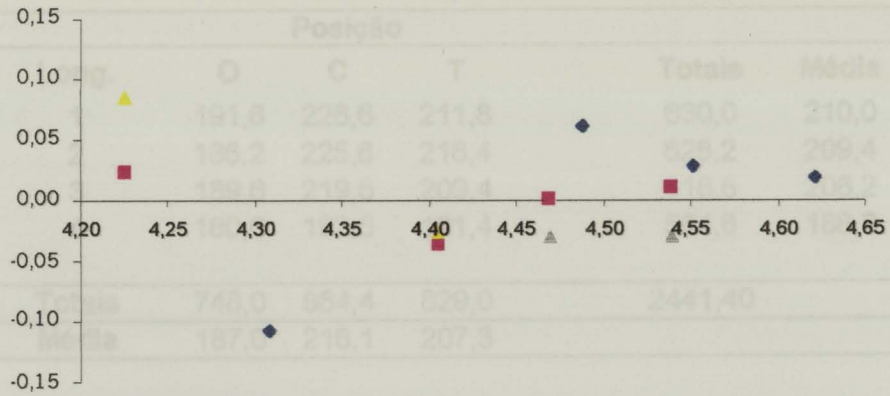

Figura A3.10 – Resíduos em função do valor estimado

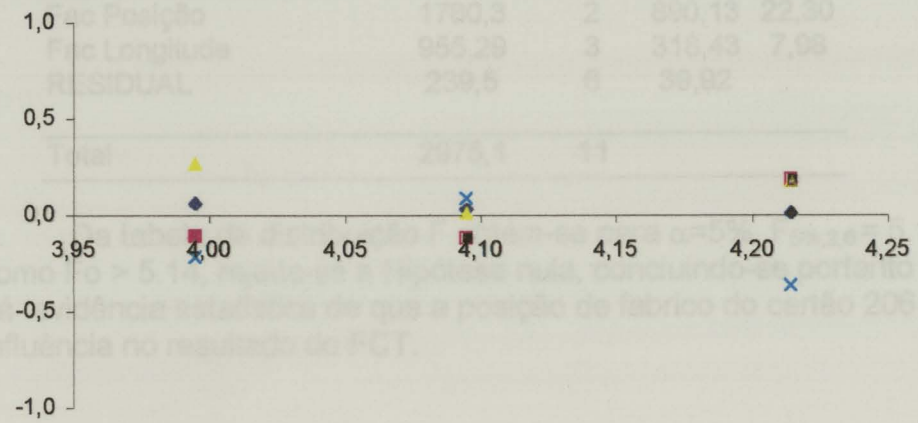

Figura A3.11 – Resíduos das posições

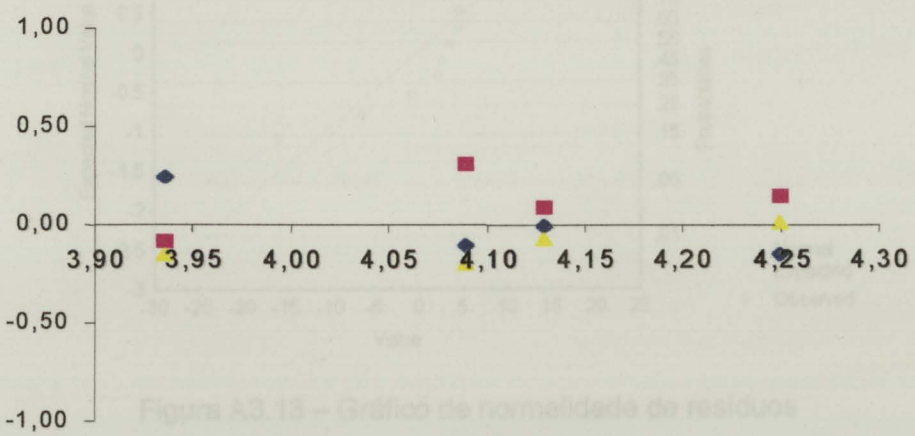

Figura A3.12 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.7. Resultados FCT para cartão 206, programa 3

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	191,6	226,6	211,8	630,0	210,0
2	186,2	225,6	216,4	628,2	209,4
3	189,6	219,6	209,4	618,6	206,2
4	180,6	192,6	191,4	564,6	188,2
Totais	748,0	864,4	829,0	2441,40	
Média	187,0	216,1	207,3		

Tabela A3.8. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	1780,3	2	890,13	22,30
Fac Longitude	955,29	3	318,43	7,98
RESIDUAL	239,5	6	39,92	
Total	2975,1	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 206 tem influência no resultado do FCT.

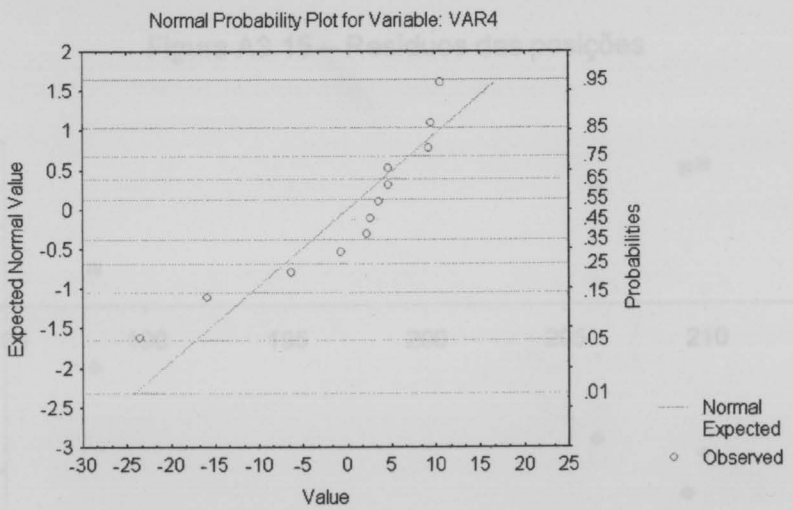

Figura A3.13 – Gráfico de normalidade de resíduos

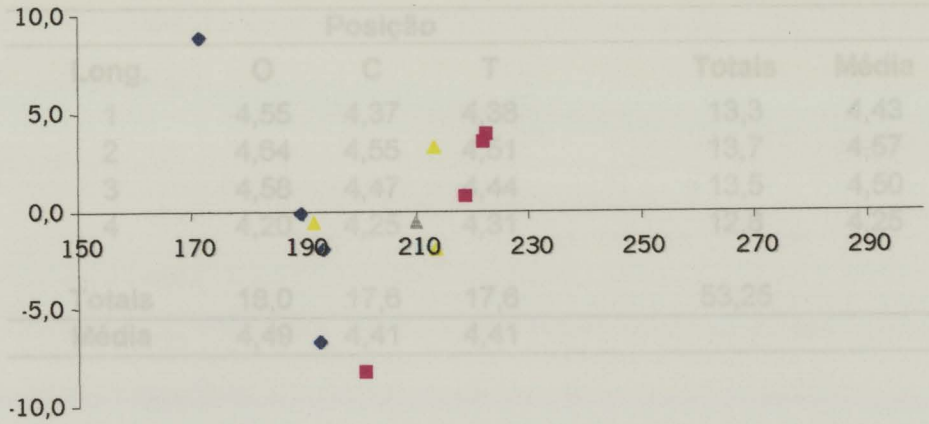

Figura A3.14 – Resíduos em função do valor estimado

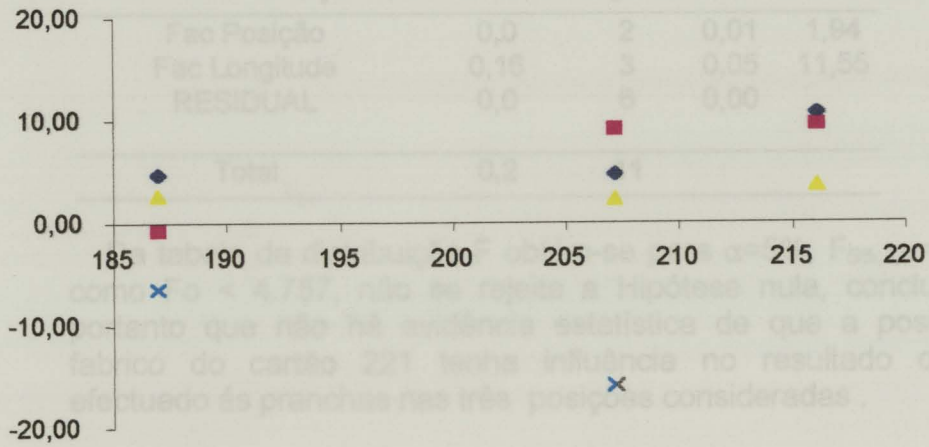

Figura A3.15 – Resíduos das posições

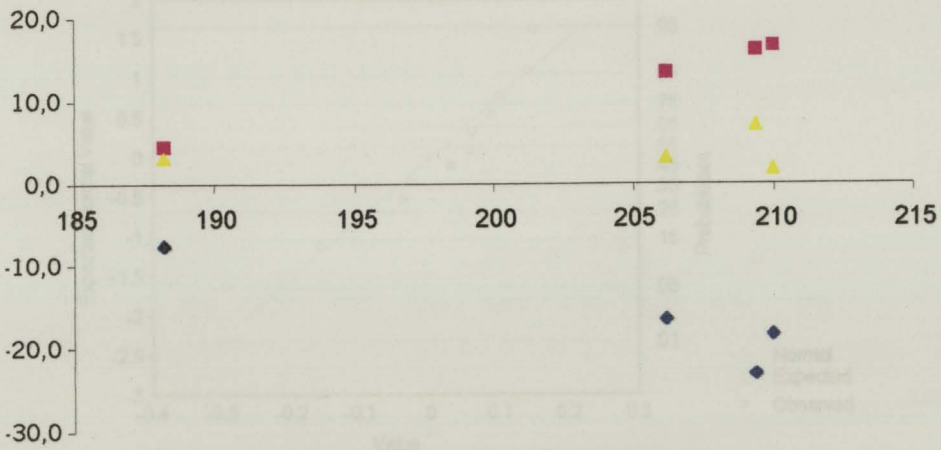

Figura A3.16 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.9. Resultados ECT para cartão 221, programa 1

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	4,55	4,37	4,38	13,3	4,43
2	4,64	4,55	4,51	13,7	4,57
3	4,58	4,47	4,44	13,5	4,50
4	4,20	4,25	4,31	12,8	4,25
Totais	18,0	17,6	17,6	53,25	
Média	4,49	4,41	4,41		

Tabela A3.10 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,0	2	0,01	1,94
Fac Longitude	0,16	3	0,05	11,55
RESIDUAL	0,0	6	0,00	
Total	0,2	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 221 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

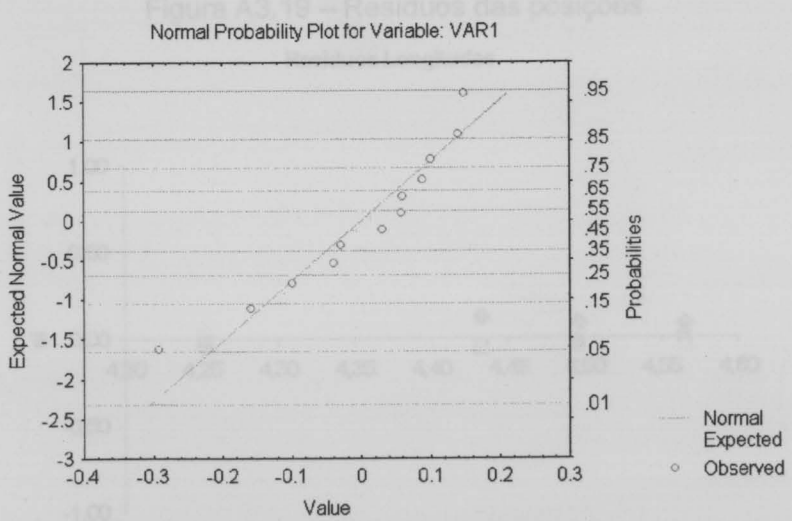

Figura A3.17 – Gráfico de normalidade de resíduos

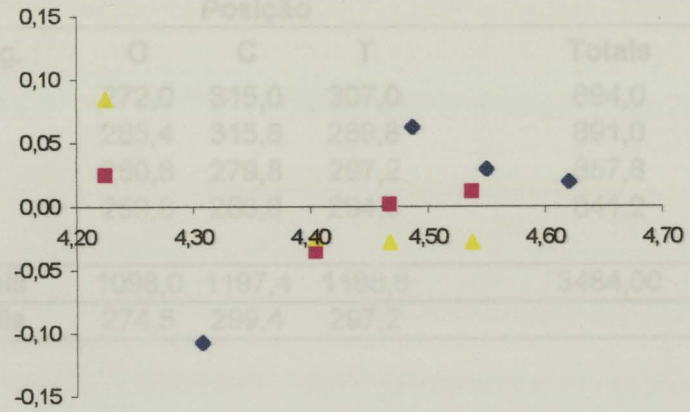

Figura A3.18 – Resíduos em função dos valor estimado

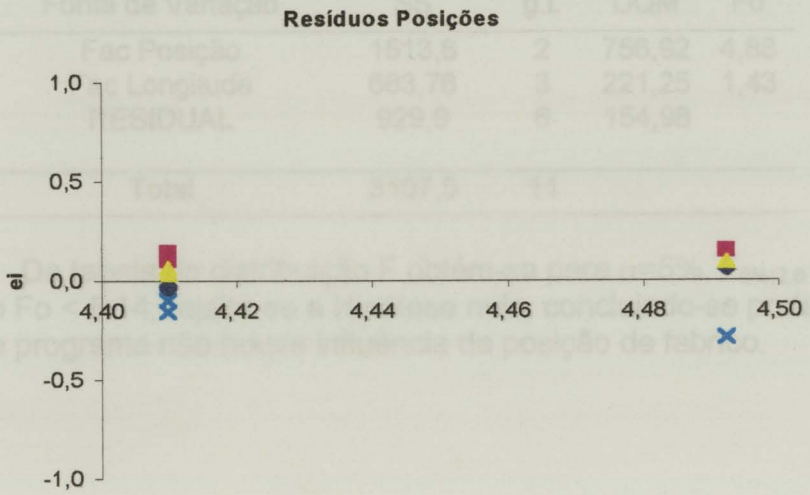

Figura A3.19 – Resíduos das posições

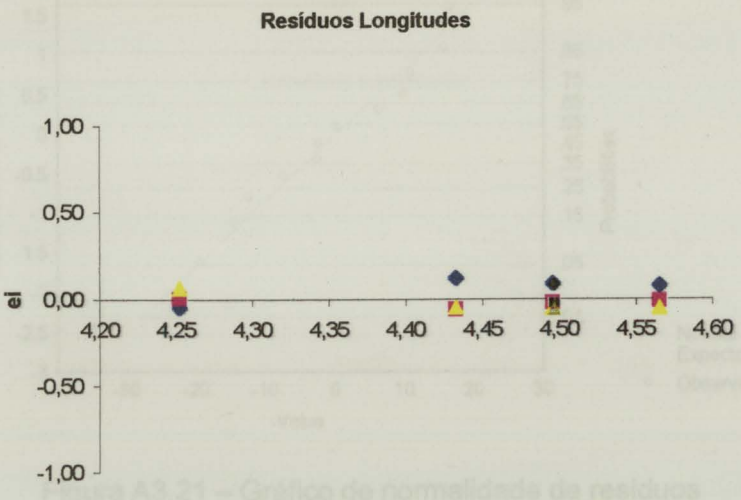

Figura A3.20 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.11. Resultados FCT para cartão 221, programa 1

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	272,0	315,0	307,0	894,0	298,0
2	285,4	315,8	289,8	891,0	297,0
3	280,8	279,8	297,2	857,8	285,9
4	259,8	286,8	294,6	841,2	280,4
Totais	1098,0	1197,4	1188,6	3484,00	
Média	274,5	299,4	297,2		

Tabela A3.12. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	1513,8	2	756,92	4,88
Fac Longitude	663,76	3	221,25	1,43
RESIDUAL	929,9	6	154,98	
Total	3107,5	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo < 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que neste programa não houve influência da posição de fabrico.

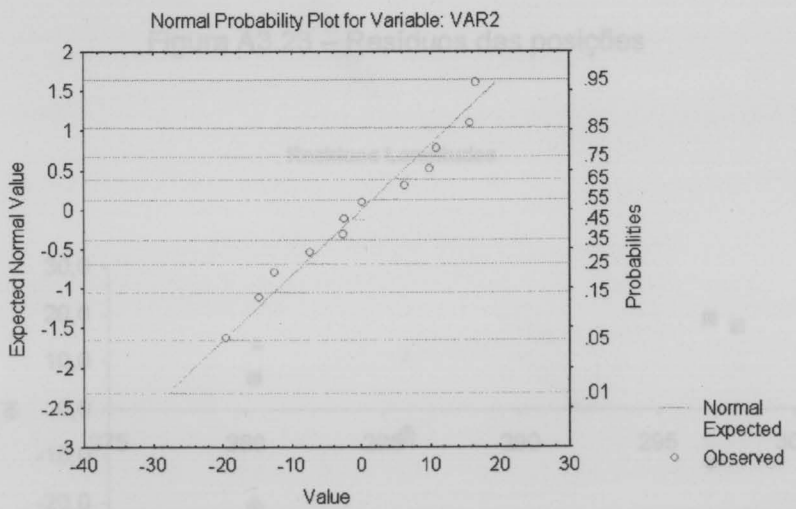

Figura A3.21 – Gráfico de normalidade de resíduos

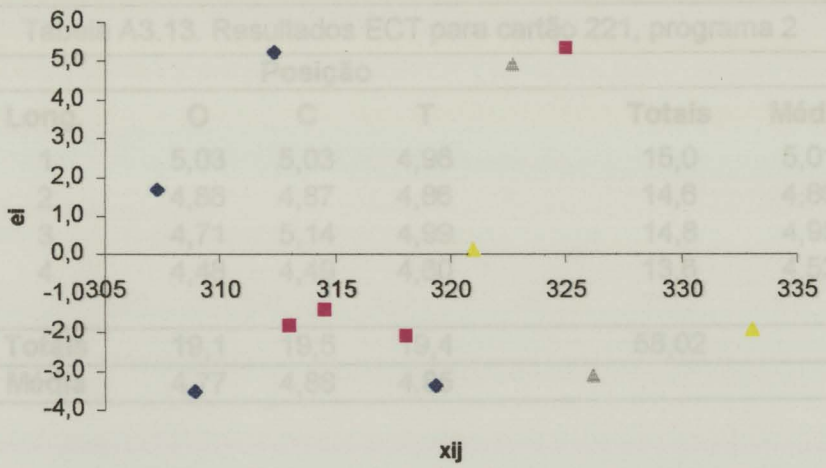

Figura A3.22 – Resíduos em função do valor estimado

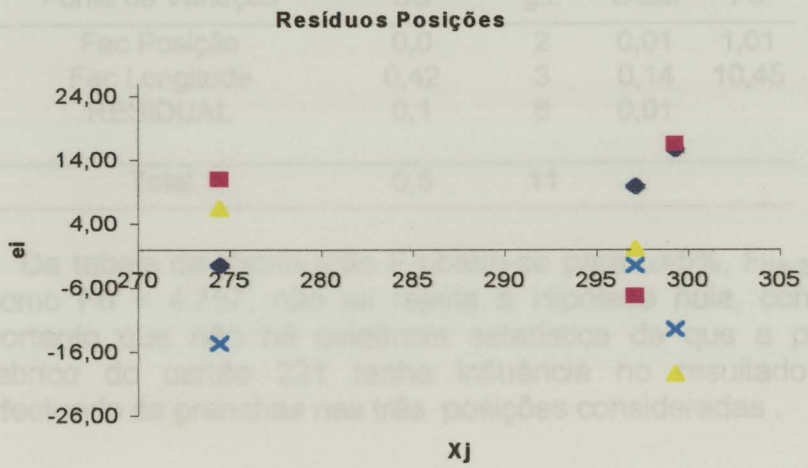

Figura A3.23 – Resíduos das posições

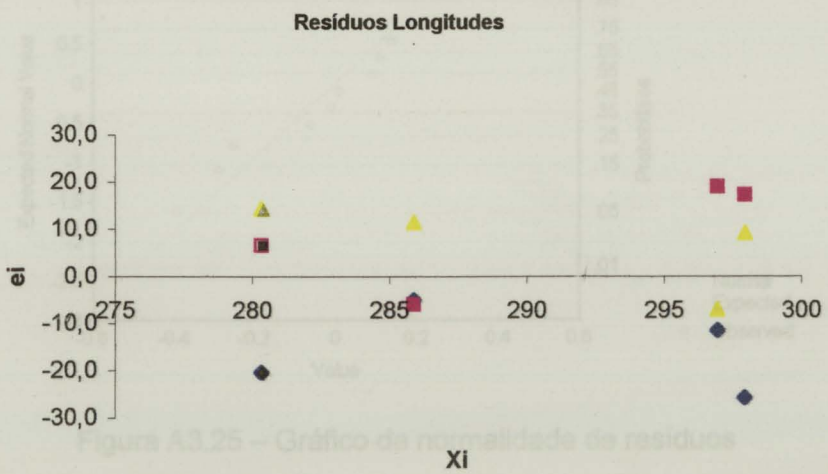

Figura A3.24 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.13. Resultados ECT para cartão 221, programa 2

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	5,03	5,03	4,96	15,0	5,01
2	4,86	4,87	4,86	14,6	4,86
3	4,71	5,14	4,99	14,8	4,95
4	4,48	4,49	4,60	13,6	4,52
Totais	19,1	19,5	19,4	58,02	
Média	4,77	4,88	4,85		

Tabela A3.14. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,0	2	0,01	1,01
Fac Longitude	0,42	3	0,14	10,45
RESIDUAL	0,1	6	0,01	
Total	0,5	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 221 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

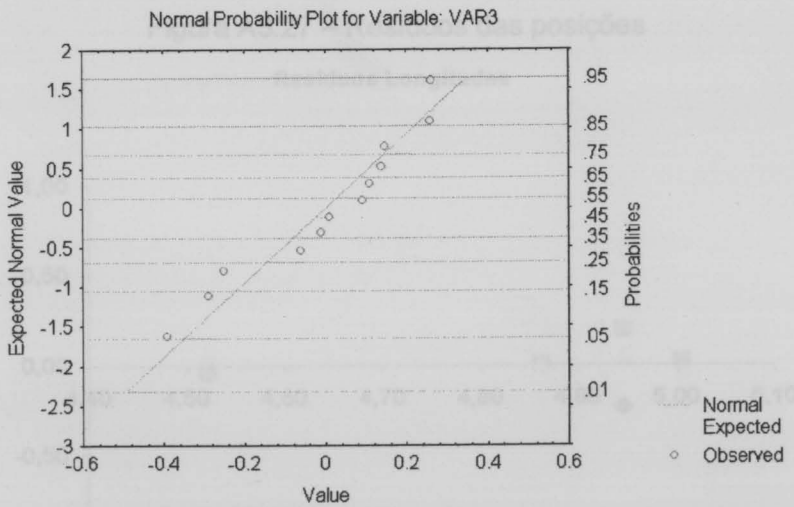

Figura A3.25 – Gráfico de normalidade de resíduos

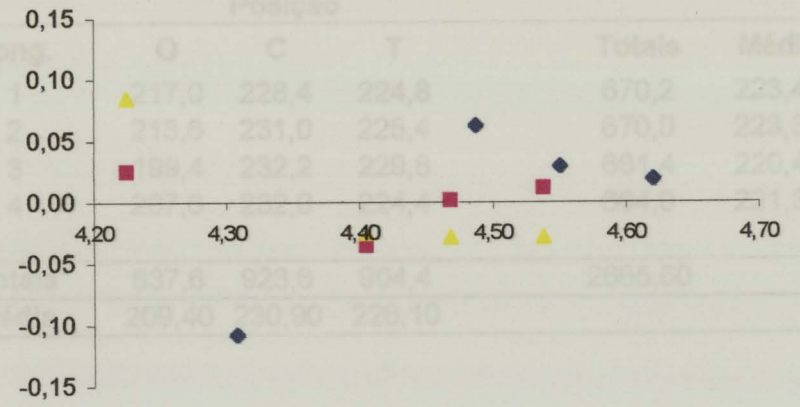

Figura A3.26 – Resíduos em função do valor estimado

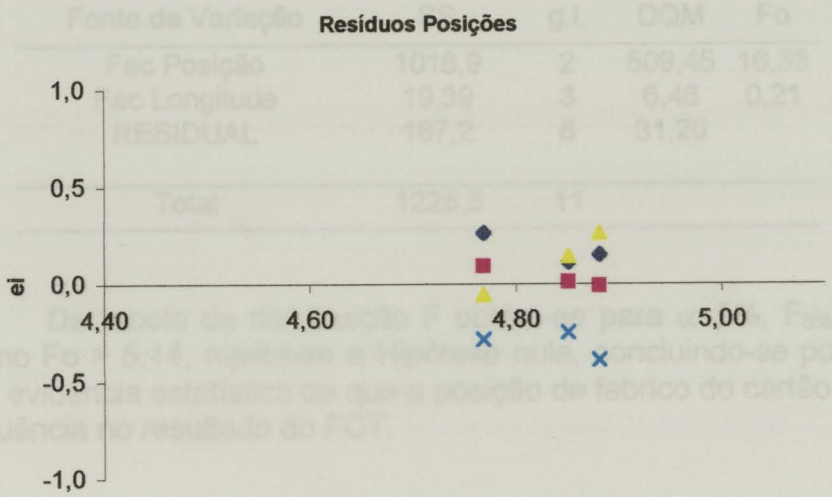

Figura A3.27 – Resíduos das posições

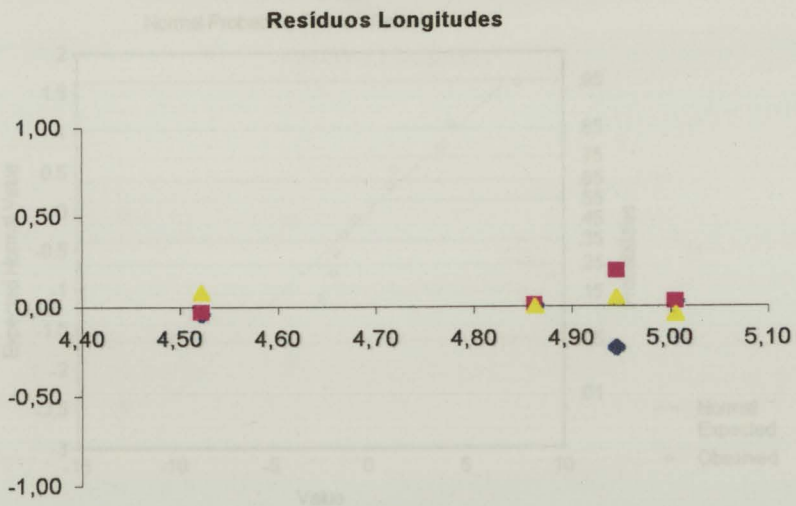

Figura A3.28 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.15. Resultados FCT para cartão 221, programa 2

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	217,0	228,4	224,8	670,2	223,40
2	213,6	231,0	225,4	670,0	223,33
3	199,4	232,2	229,8	661,4	220,47
4	207,6	232,0	224,4	664,0	221,33
Totais	837,6	923,6	904,4	2665,60	
Média	209,40	230,90	226,10		

Tabela A3.16 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	1018,9	2	509,45	16,33
Fac Longitude	19,39	3	6,46	0,21
RESIDUAL	187,2	6	31,20	
Total	1225,5	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 221 tenha influência no resultado do FCT.

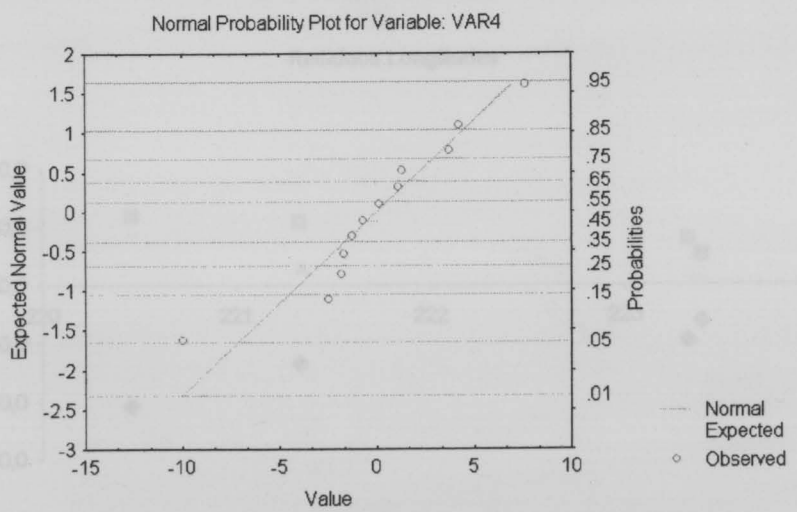

Figura A3.29 – Gráfico de normalidade de resíduos

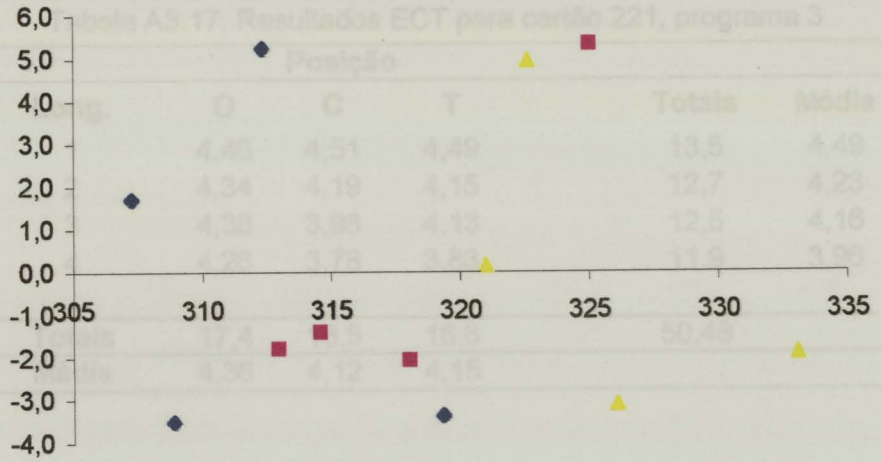

Figura A3.30 – Resíduos em função do valor estimado

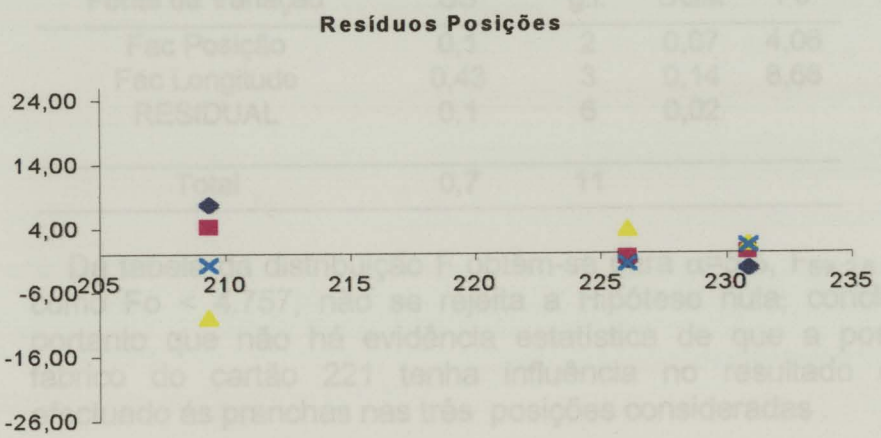

Figura A3.31 – Resíduos das posições

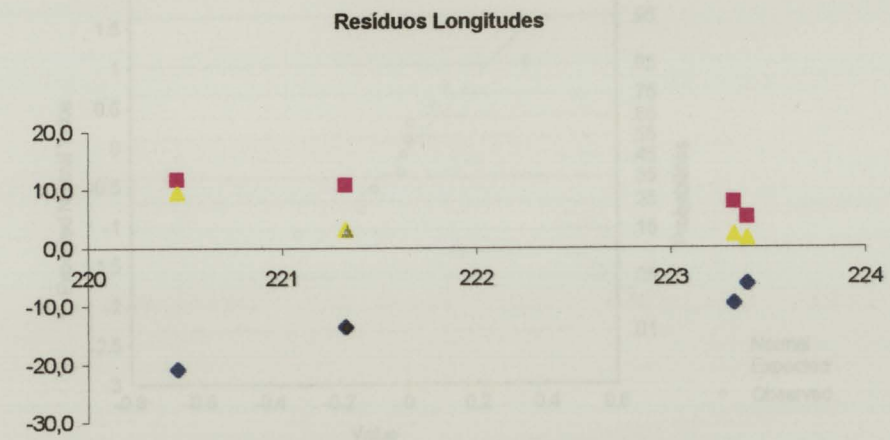

Figura A3.32 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.17. Resultados ECT para cartão 221, programa 3

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	4,46	4,51	4,49	13,5	4,49
2	4,34	4,19	4,15	12,7	4,23
3	4,36	3,98	4,13	12,5	4,16
4	4,26	3,78	3,83	11,9	3,96
Totais	17,4	16,5	16,6	50,48	
Média	4,36	4,12	4,15		

Tabela A3.18. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,1	2	0,07	4,06
Fac Longitude	0,43	3	0,14	8,68
RESIDUAL	0,1	6	0,02	
Total	0,7	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 221 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

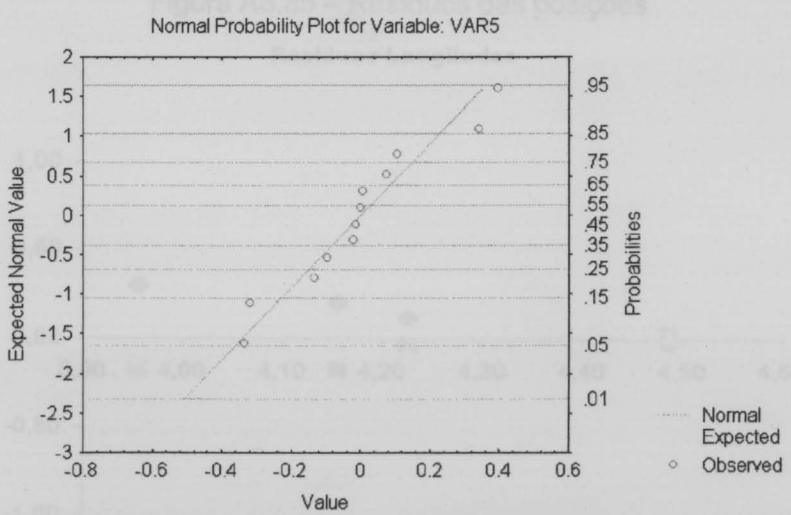

Figura A3.33 – Gráfico de normalidade de resíduos



Figura A3.34 – Resíduos em função do tempo

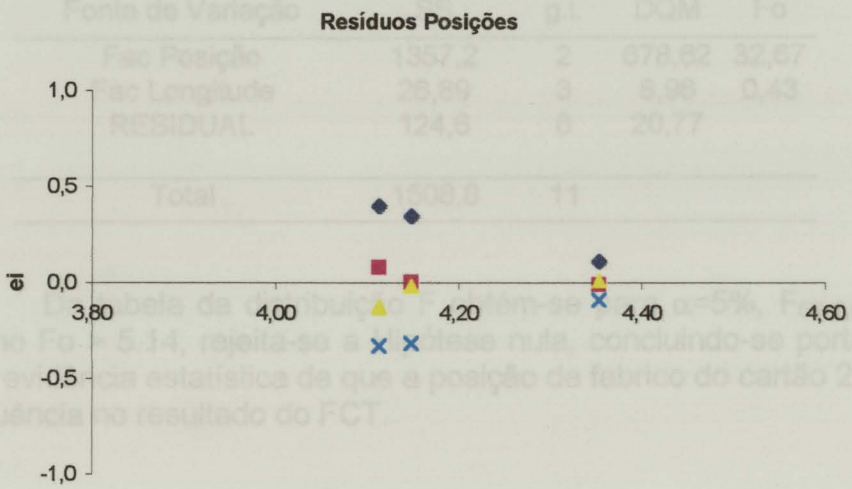

Figura A3.35 – Resíduos das posições

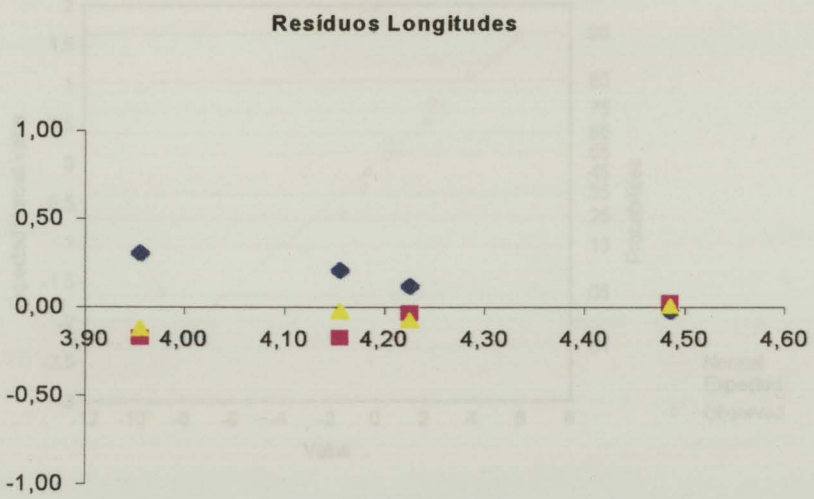

Figura A3.36 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.19. Resultados FCT para cartão 221, programa 3

	Posição				
Long.	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	175,2	189,2	163,2	527,6	175,9
2	175,0	190,8	153,8	519,6	173,2
3	172,6	187,4	168,6	528,6	176,2
4	179,4	187,4	165,0	531,8	177,3
Totais	702,2	754,8	650,6	2107,60	
Média	175,6	188,7	162,7		

Tabela A3.20. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	1357,2	2	678,62	32,67
Fac Longitude	26,89	3	8,96	0,43
RESIDUAL	124,6	6	20,77	
Total	1508,8	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 221 tenha influência no resultado do FCT.

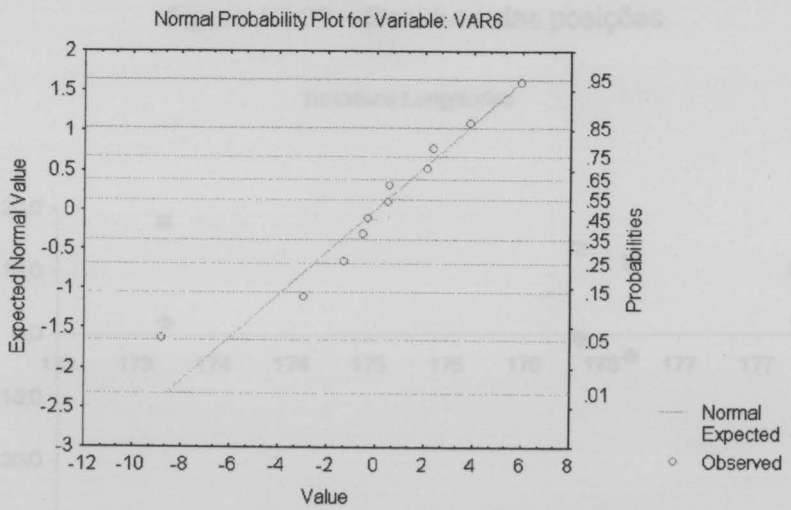

Figura A3.37 – Gráfico de normalidade de resíduos

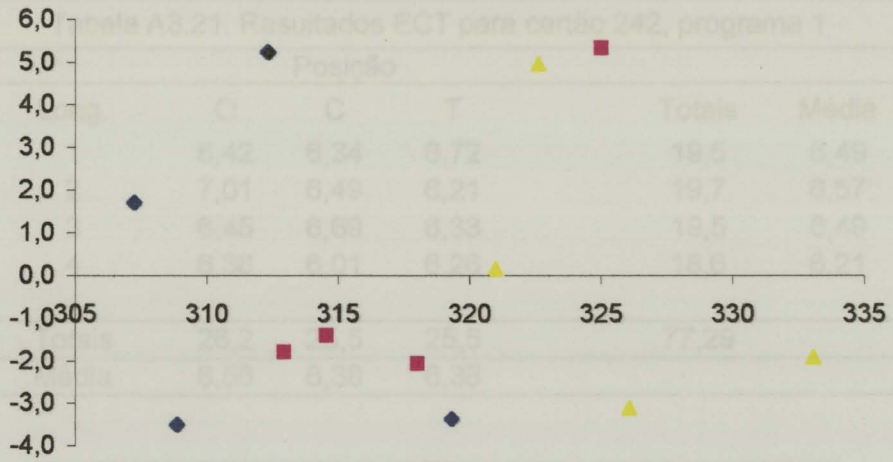

Figura A3.38 – Resíduos em função do valor estimado

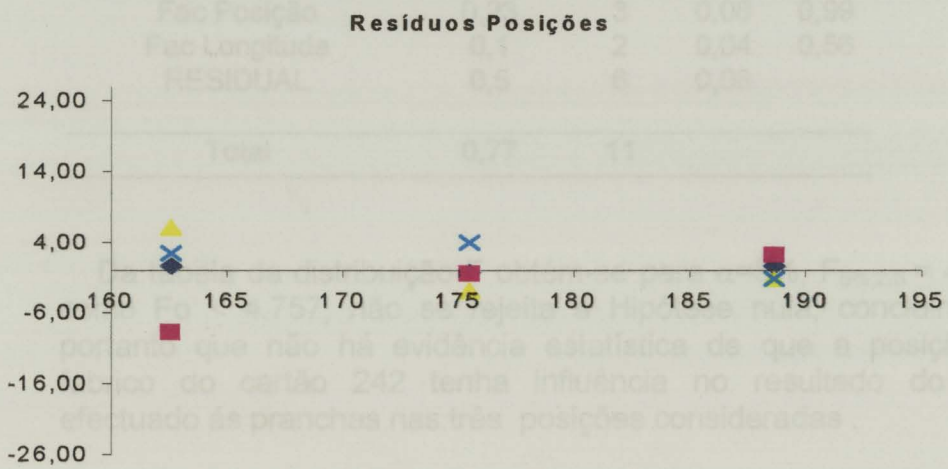

Figura A3.39 – Resíduos das posições

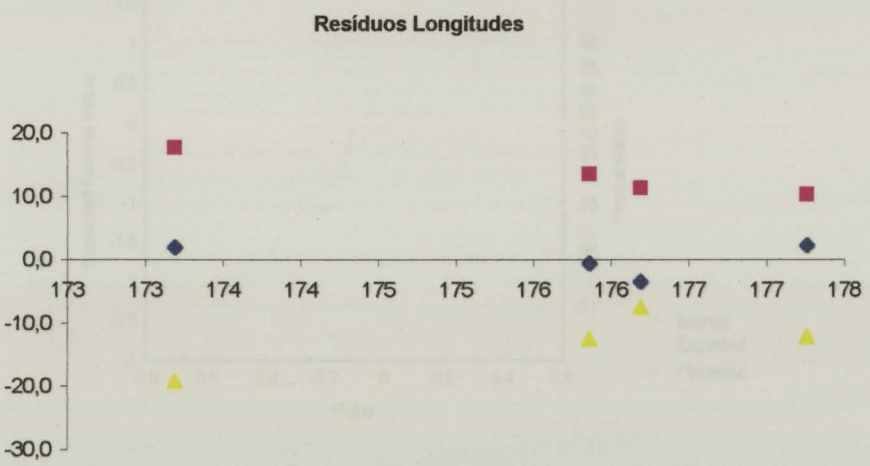

Figura A3.40 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.21. Resultados ECT para cartão 242, programa 1

	Posição				
Long.	O	C	T	Totais	Média
1	6,42	6,34	6,72	19,5	6,49
2	7,01	6,49	6,21	19,7	6,57
3	6,45	6,69	6,33	19,5	6,49
4	6,36	6,01	6,26	18,6	6,21
Totais	26,2	25,5	25,5	77,29	
Média	6,56	6,38	6,38		

Tabela A3.22. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,23	3	0,08	0,99
Fac Longitude	0,1	2	0,04	0,56
RESIDUAL	0,5	6	0,08	
Total	0,77	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 242 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

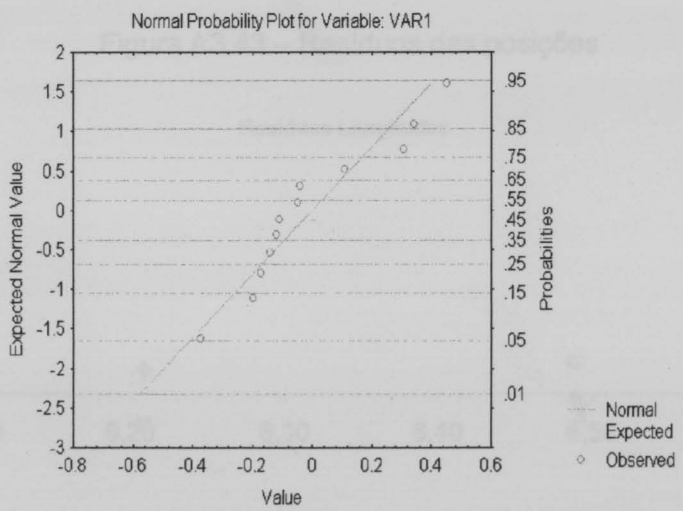

Figura A3.41 – Gráfico de normalidade de resíduos



Figura A3.42 – Resíduos em função do valor estimado

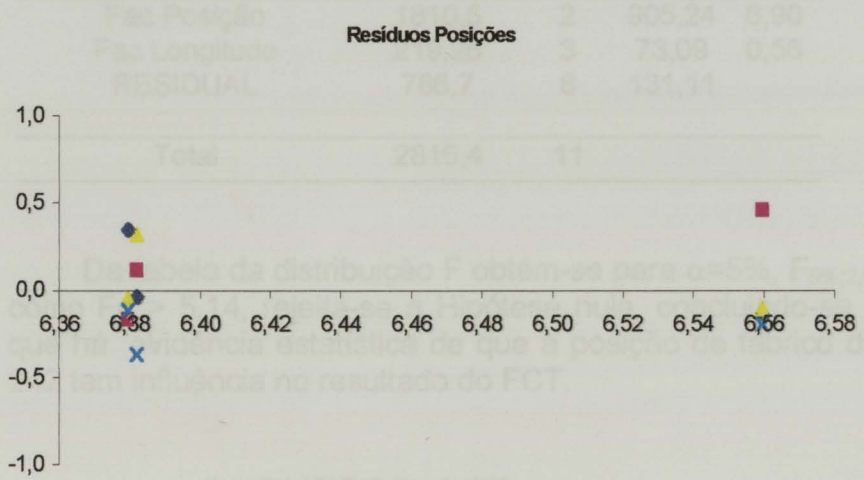

Figura A3.43 – Resíduos das posições

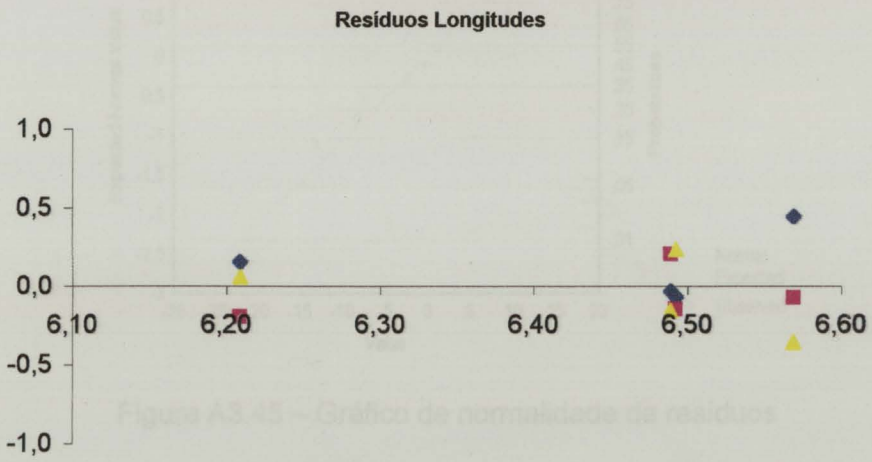

Figura A3.44 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.23. Resultados FCT para cartão 242, programa 1

	Posição				
Long.	O	C	T	Totais	Média
1	355,6	387,4	355,8	1098,8	366,3
2	349,8	388,8	369,6	1108,2	369,4
3	374,2	371,6	350,0	1095,8	365,3
4	372,4	398,0	358,2	1128,6	376,2
Totais	1452,0	1545,8	1433,6	4431,40	
Média	363,0	386,5	358,4		

Tabela A3.24 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	1810,5	2	905,24	6,90
Fac Longitude	219,26	3	73,09	0,56
RESIDUAL	786,7	6	131,11	
Total	2816,4	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 242 tem influência no resultado do FCT.

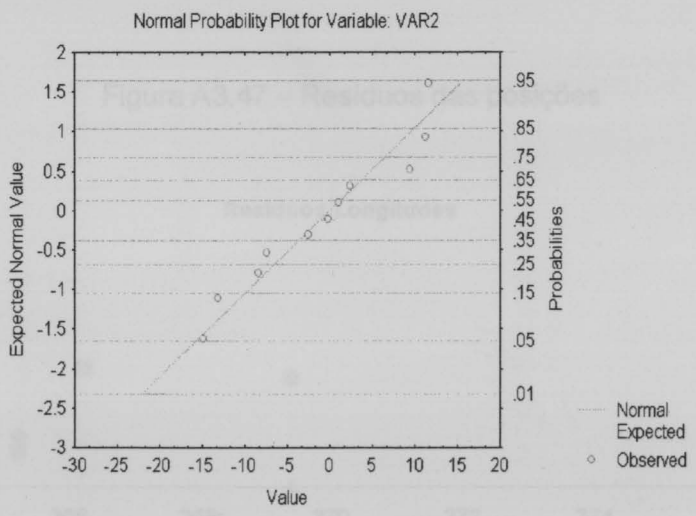

Figura A3.45 – Gráfico de normalidade de resíduos



Figura A3.46 – Resíduos em função do valor estimado

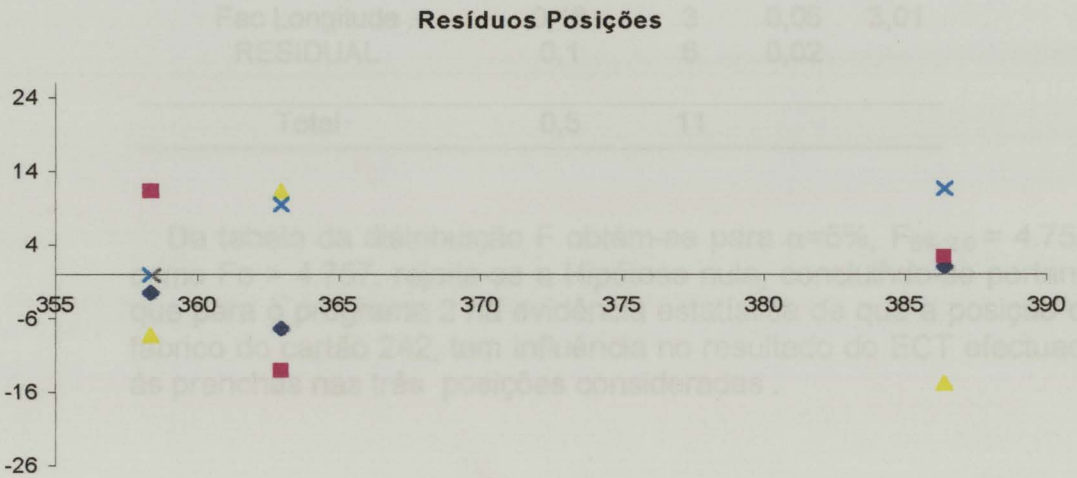

Figura A3.47 – Resíduos das posições

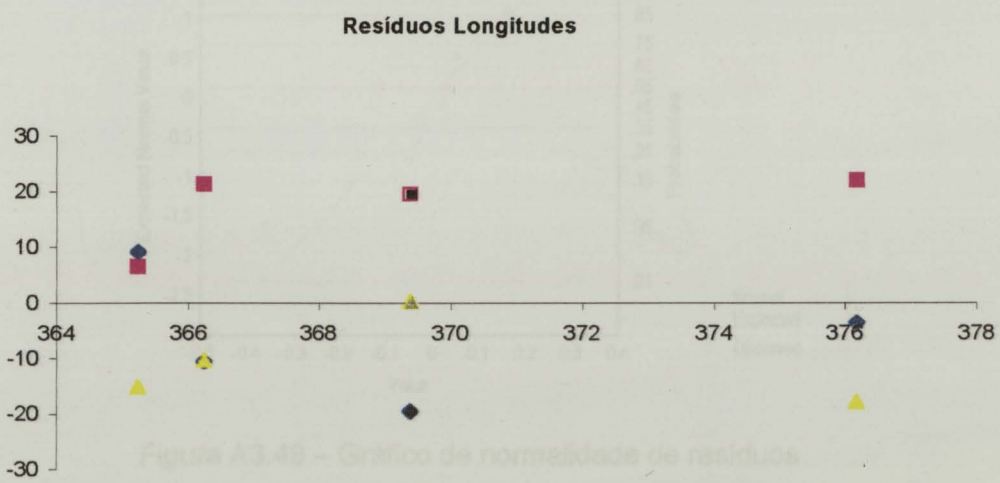

Figura A3.48 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.25. Resultados ECT para cartão 242, programa 2

	Posição				
Long.	O	C	T	Totais	Média
1	5,39	6,00	5,83	17,2	5,74
2	5,70	5,99	6,10	17,8	5,93
3	5,91	6,04	6,05	18,0	6,00
4	6,00	6,07	6,06	18,1	6,04
Totais	23,0	24,1	24,0	71,14	
Média	5,75	6,03	6,01		

Tabela A3.26 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,2	2	0,10	5,34
Fac Longitude	0,16	3	0,05	3,01
RESIDUAL	0,1	6	0,02	
Total	0,5	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo > 4.757, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que para o programa 2 há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 242, tem influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

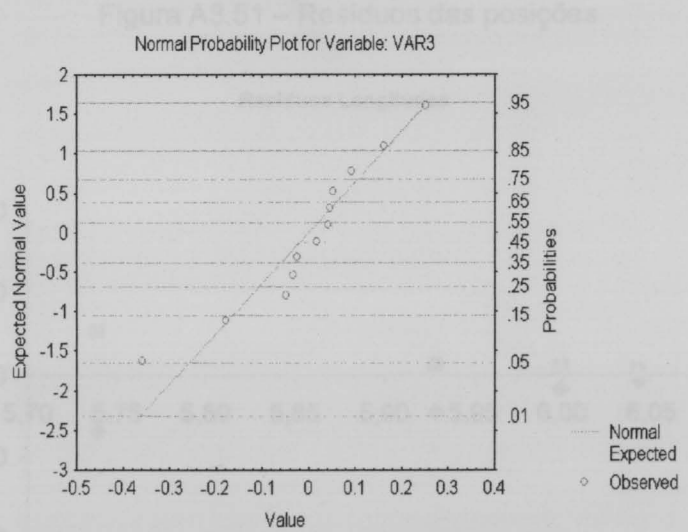

Figura A3.49 – Gráfico de normalidade de resíduos

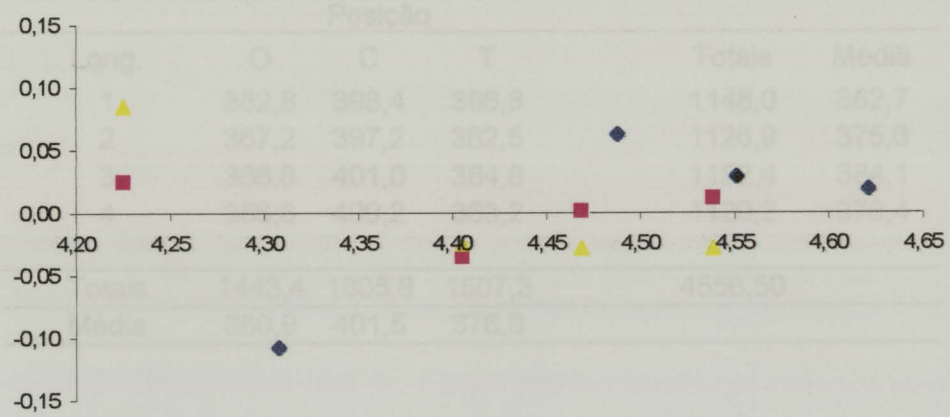

Figura A3.50 – Resíduos em função do valor estimado

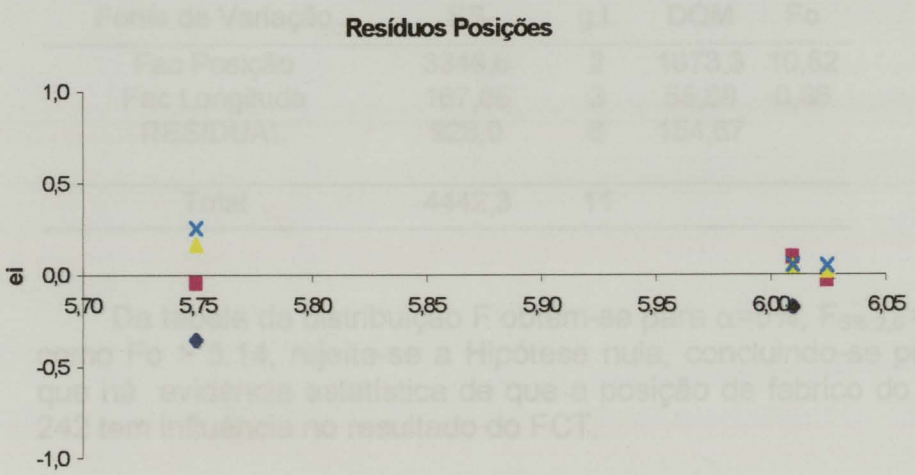

Figura A3.51 – Resíduos das posições

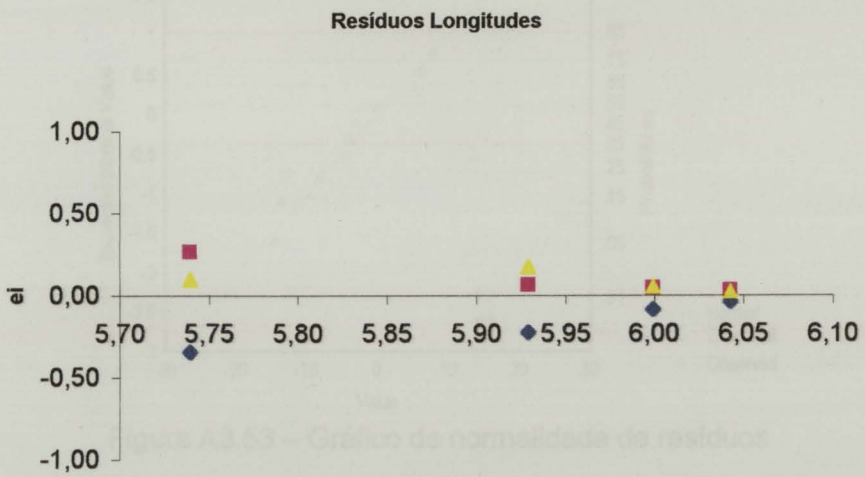

Figura A3.52 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.27. Resultados FCT para cartão 242, programa 2

	Posição				
Long.	O	C	T	Totais	Média
1	352,8	398,4	396,8	1148,0	382,7
2	367,2	397,2	362,5	1126,9	375,6
3	366,6	401,0	384,8	1152,4	384,1
4	356,8	409,2	363,2	1129,2	376,4
Totais	1443,4	1605,8	1507,3	4556,50	
Média	360,9	401,5	376,8		

Tabela A3.28 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	3346,6	2	1673,3	10,82
Fac Longitude	167,65	3	55,88	0,36
RESIDUAL	928,0	6	154,67	
Total	4442,3	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6} = 5.14$; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 242 tem influência no resultado do FCT.

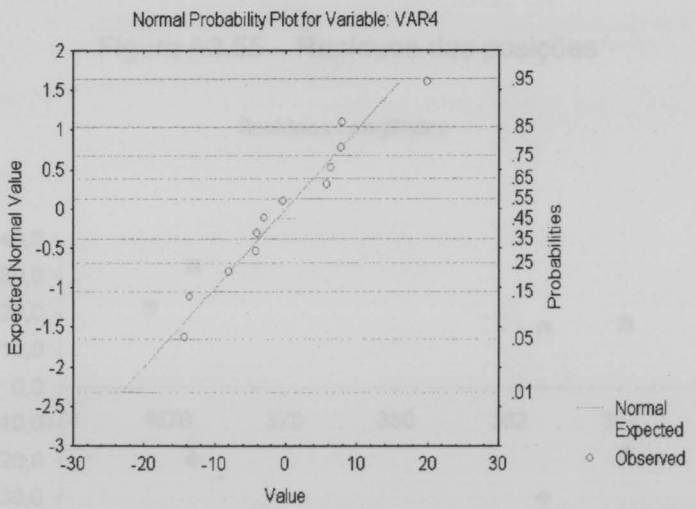

Figura A3.53 – Gráfico de normalidade de resíduos

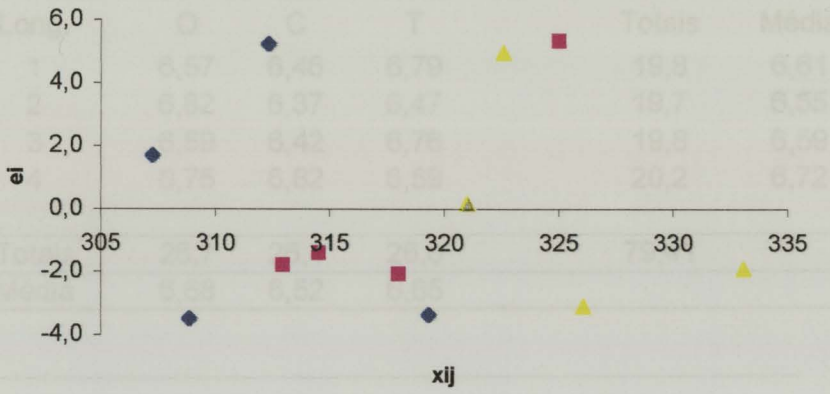

Figura A3.54– Resíduos em função do valor estimado

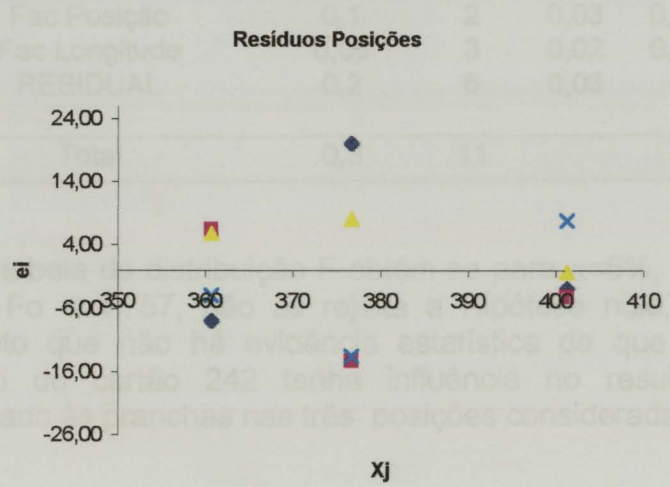

Figura A3.55 – Resíduos das posições

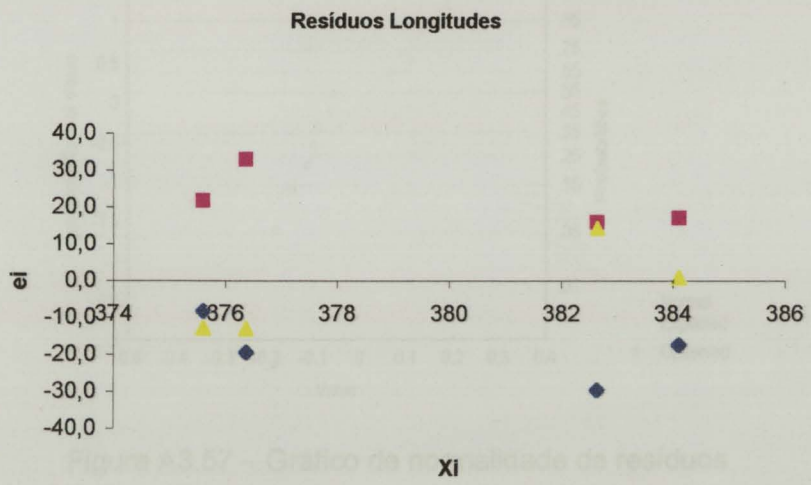

Figura A3.56 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.29. Resultados ECT para cartão 242, programa 3

	Posição				
Long.	O	C	T	Totais	Média
1	6,57	6,46	6,79	19,8	6,61
2	6,82	6,37	6,47	19,7	6,55
3	6,59	6,42	6,76	19,8	6,59
4	6,75	6,82	6,59	20,2	6,72
Totais	26,7	26,1	26,6	79,41	
Média	6,68	6,52	6,65		

Tabela A3.30 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	0,1	2	0,03	0,97
Fac Longitude	0,05	3	0,02	0,48
RESIDUAL	0,2	6	0,03	
Total	0,3	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 242 tenha influência no resultado do ECT efectuado às pranchas nas três posições consideradas .

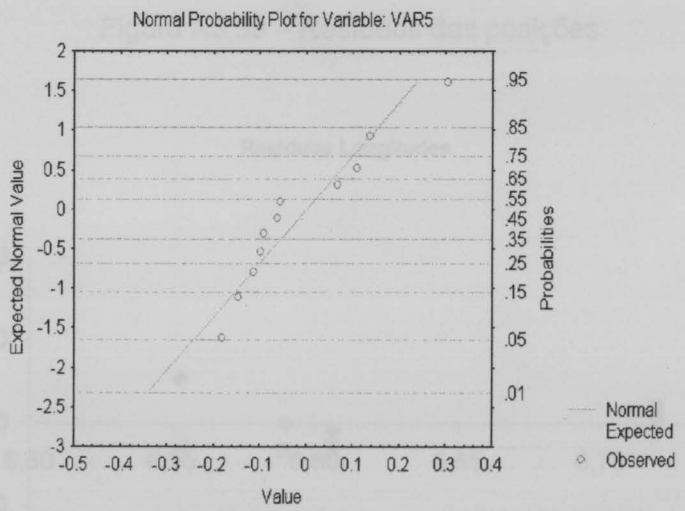

Figura A3.57 – Gráfico de normalidade de resíduos

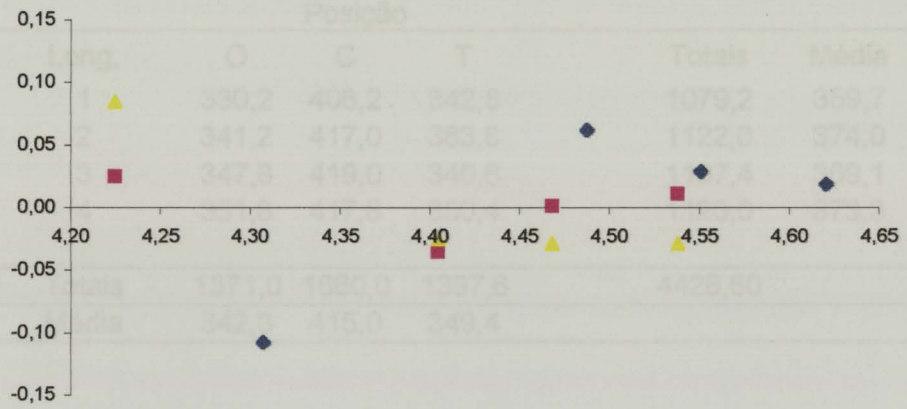

Figura A3.58 – Resíduos em função do valor estimado

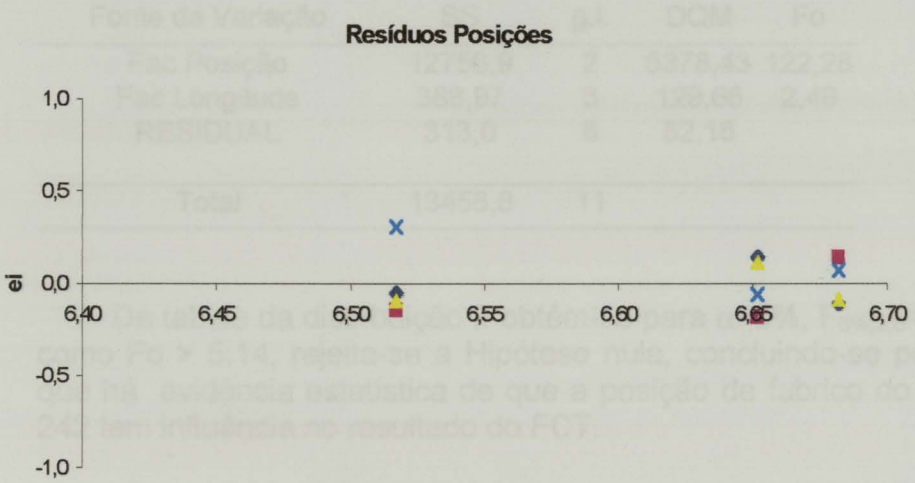

Figura A3.59 – Resíduos das posições

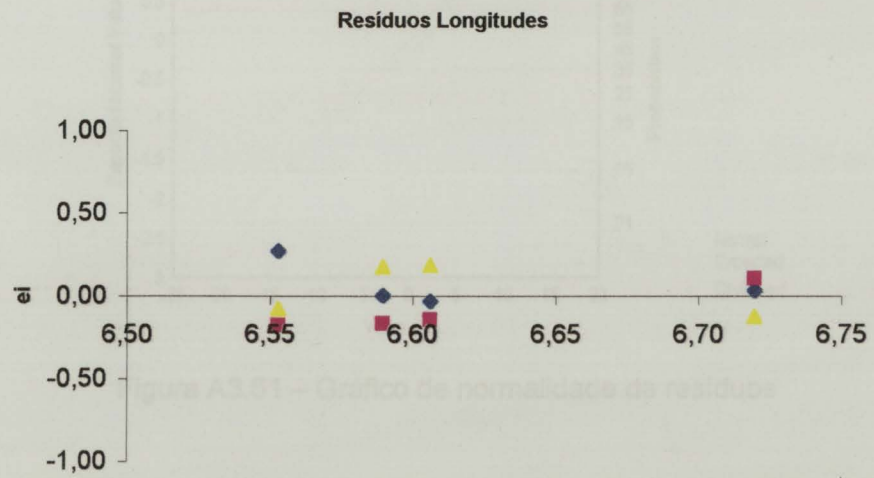

Figura A3.60 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.31. Resultados FCT para cartão 242, programa 3

	Posição				
Long.	O	C	T	Totais	Média
1	330,2	406,2	342,8	1079,2	359,7
2	341,2	417,0	363,8	1122,0	374,0
3	347,8	419,0	340,6	1107,4	369,1
4	351,8	417,8	350,4	1120,0	373,3
Totais	1371,0	1660,0	1397,6	4428,60	
Média	342,8	415,0	349,4		

Tabela A3.32. ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Fac Posição	12756,9	2	6378,43	122,28
Fac Longitude	388,97	3	129,66	2,49
RESIDUAL	313,0	6	52,16	
Total	13458,8	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 242 tem influência no resultado do FCT.

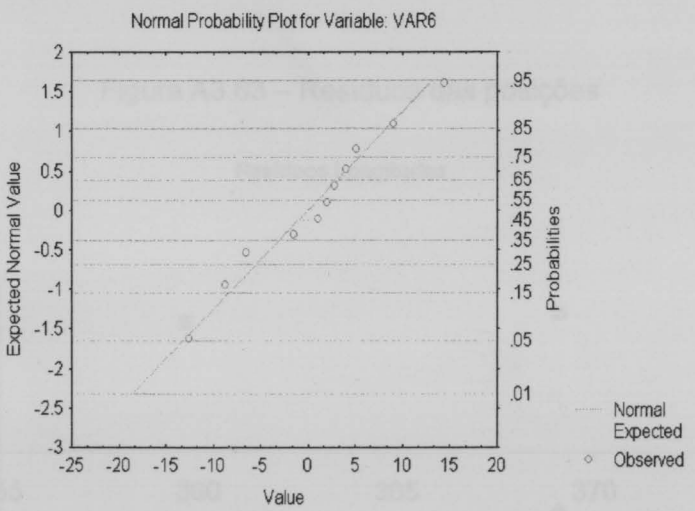

Figura A3.61 – Gráfico de normalidade de resíduos

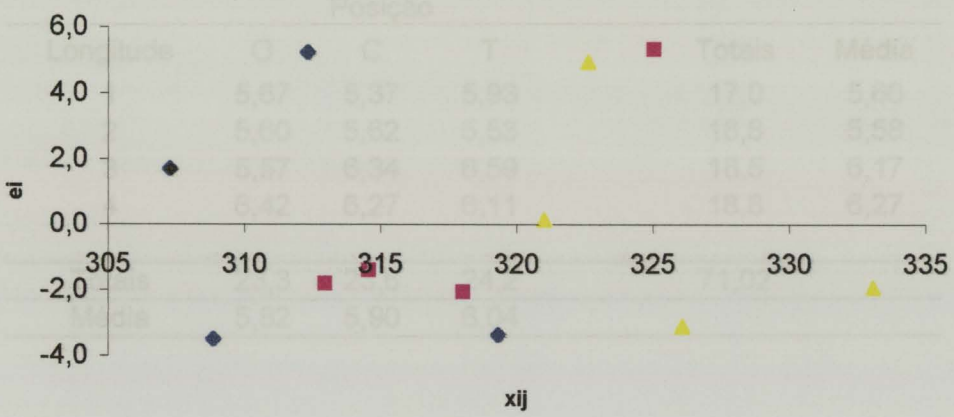

Figura A3.62 – Resíduos em função do valor estimado

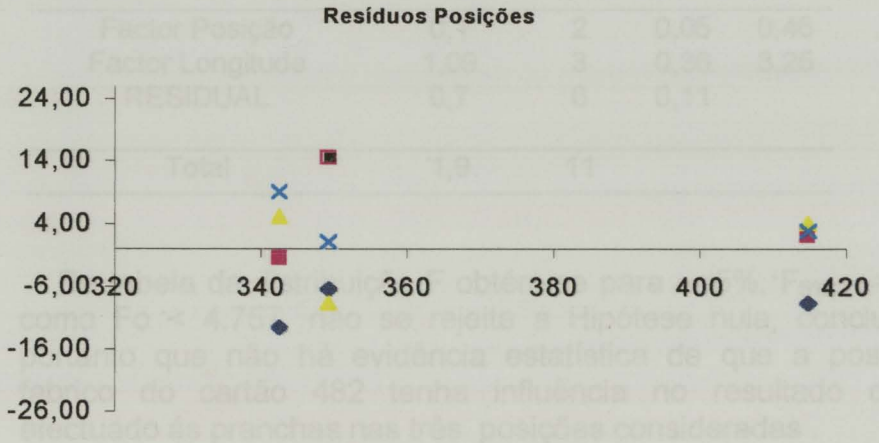

Figura A3.63 – Resíduos das posições

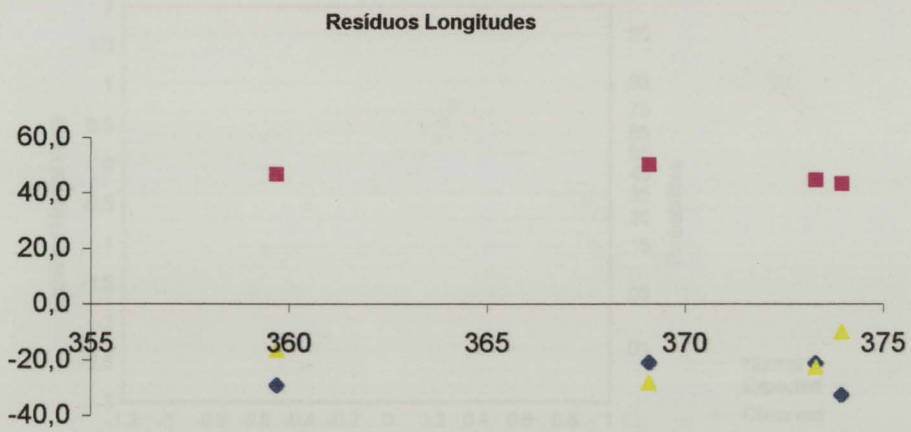

Figura A3.64 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.33. Resultados ECT para cartão 482, programa 1

	Posição				
Longitude	O	C	T	Totais	Média
1	5,67	5,37	5,93	17,0	5,66
2	5,60	5,62	5,53	16,8	5,58
3	5,57	6,34	6,59	18,5	6,17
4	6,42	6,27	6,11	18,8	6,27
Totais	23,3	23,6	24,2	71,02	
Média	5,82	5,90	6,04		

Tabela A3.34 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	0,1	2	0,05	0,46
Factor Longitude	1,09	3	0,36	3,25
RESIDUAL	0,7	6	0,11	
Total	1,9	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 482 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

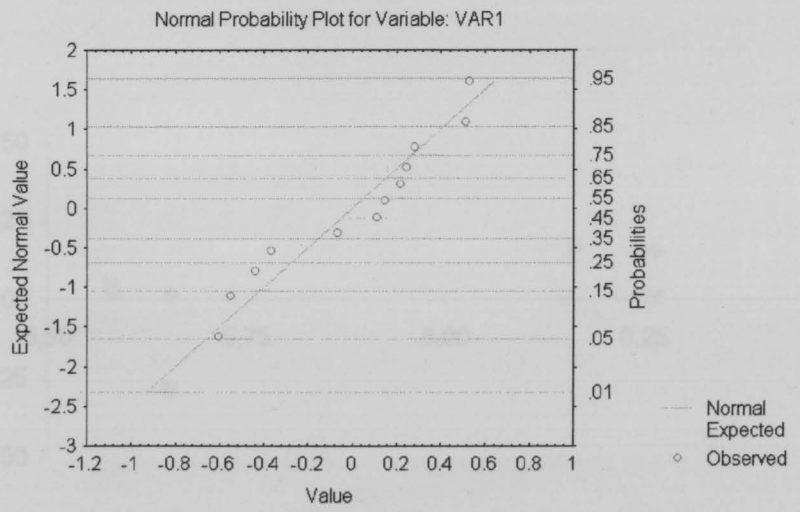

Figura A3.65 – Gráfico de normalidade de resíduos

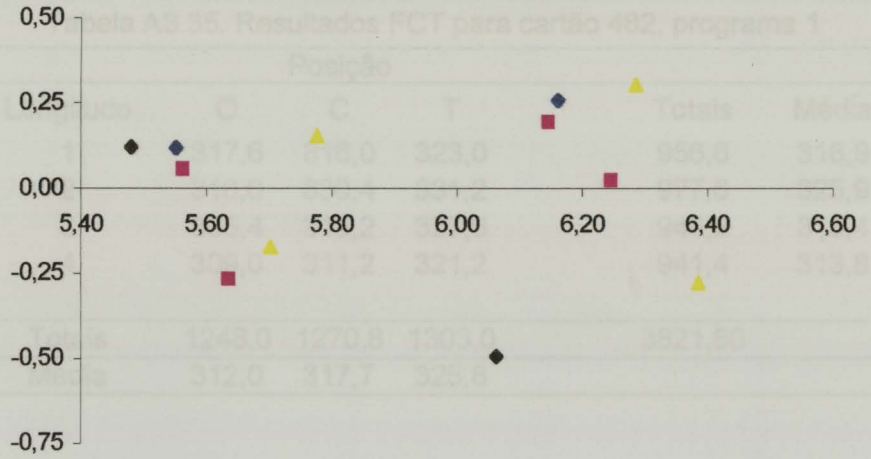

Figura A3.66 – Resíduos em função do valor estimado

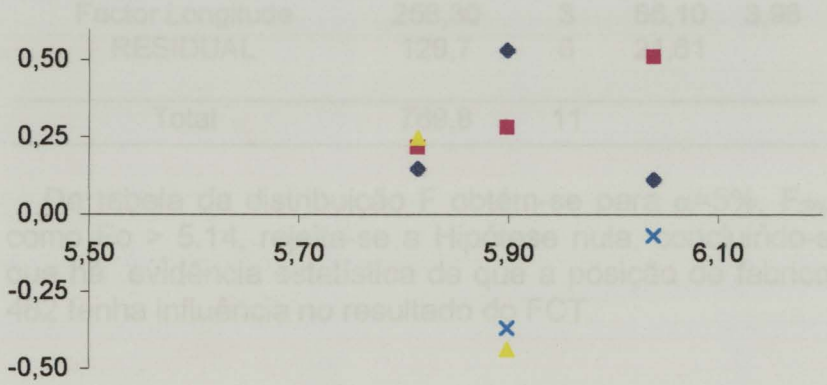

Figura A3.67 – Resíduos das posições

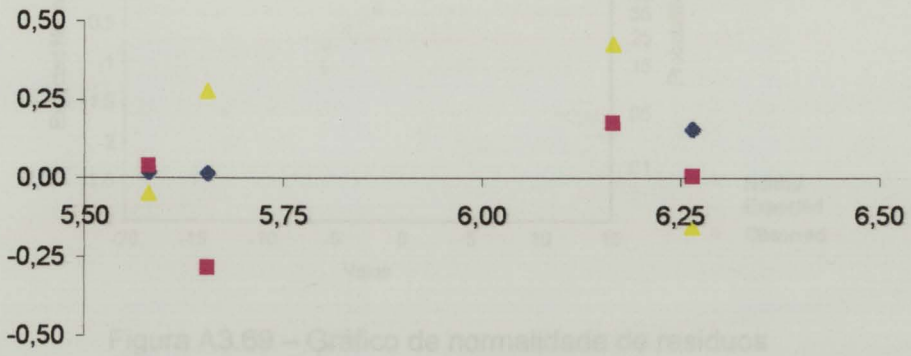

Figura A3.68 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.35. Resultados FCT para cartão 482, programa 1

	Posição				
Longitude	O	C	T	Totais	Média
1	317,6	316,0	323,0	956,6	318,9
2	316,0	330,4	331,2	977,6	325,9
3	305,4	313,2	327,6	946,2	315,4
4	309,0	311,2	321,2	941,4	313,8
Totais	1248,0	1270,8	1303,0	3821,80	
Média	312,0	317,7	325,8		

Tabela A3.36 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	381,8	2	190,90	8,83
Factor Longitude	258,30	3	86,10	3,98
RESIDUAL	129,7	6	21,61	
Total	769,8	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 482 tenha influência no resultado do FCT.

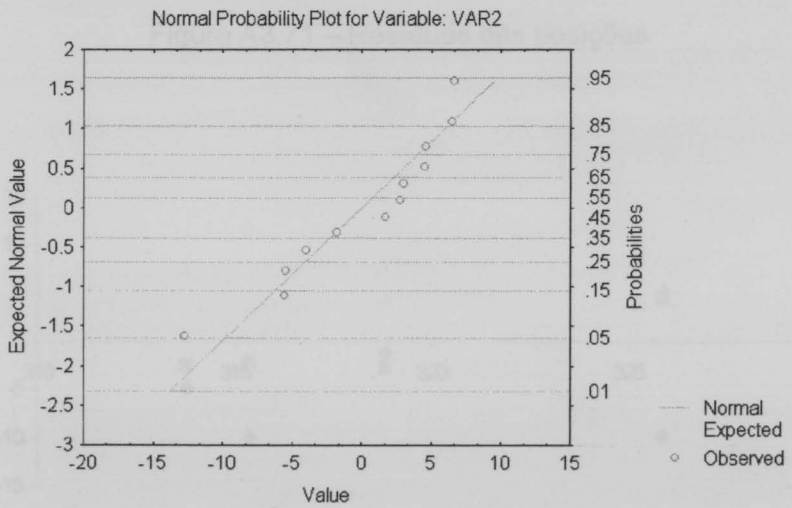

Figura A3.69 – Gráfico de normalidade de resíduos



Figura A3.70 – Resíduos em função do valor estimado

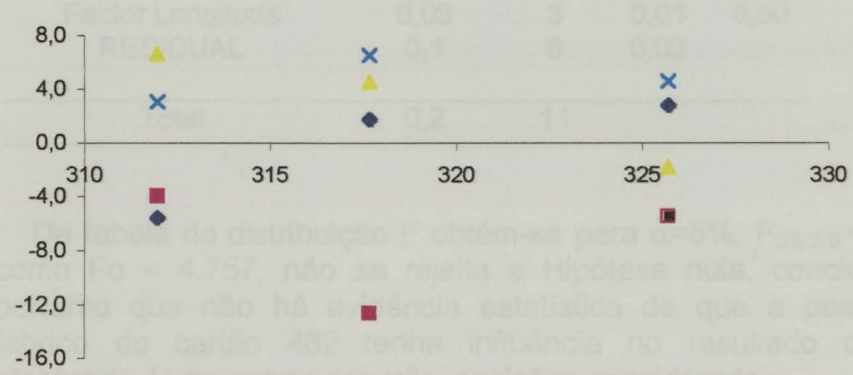

Figura A3.71 – Resíduos das posições

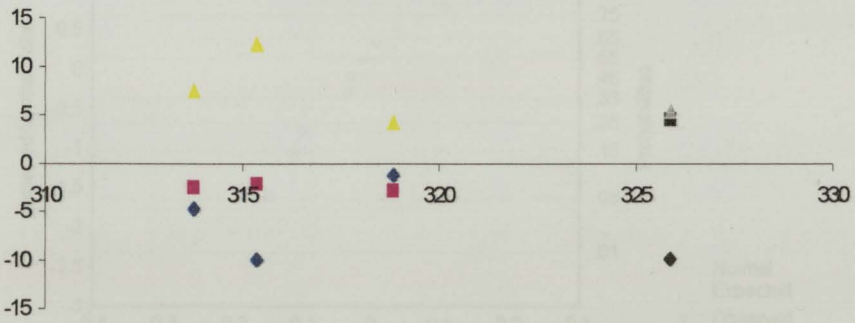

Figura A3.72– Resíduos das longitudes

Tabela A3.37. Resultados ECT para cartão 482, programa 2

	Posição				
Longitude	O	C	T	Totais	Média
1	5,05	5,34	4,84	15,2	5,08
2	5,08	5,39	5,19	15,7	5,22
3	5,10	5,14	5,11	15,4	5,12
4	5,12	5,11	5,18	15,4	5,14
Totais	20,4	21,0	20,3	61,65	
Média	5,09	5,25	5,08		

Tabela A3.38 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	0,1	2	0,03	1,90
Factor Longitude	0,03	3	0,01	0,60
RESIDUAL	0,1	6	0,02	
Total	0,2	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 482 tenha influência no resultado do ECT efectuado ás pranchas nas três posições consideradas .

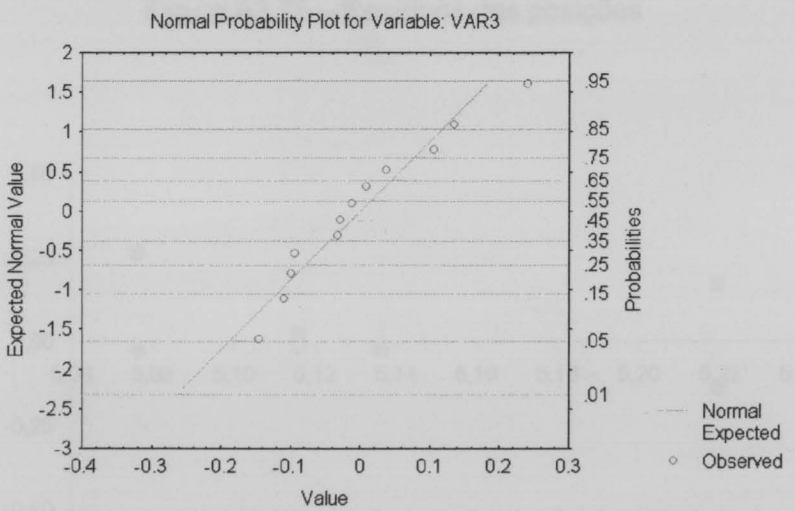

Figura A3.73 – Gráfico de normalidade de resíduos



Figura A3.74 – Resíduos em função do valor estimado

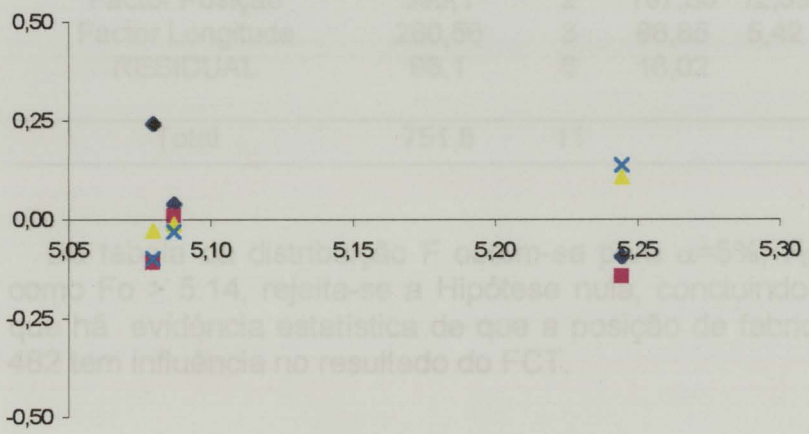

Figura A3.75 – Resíduos das posições

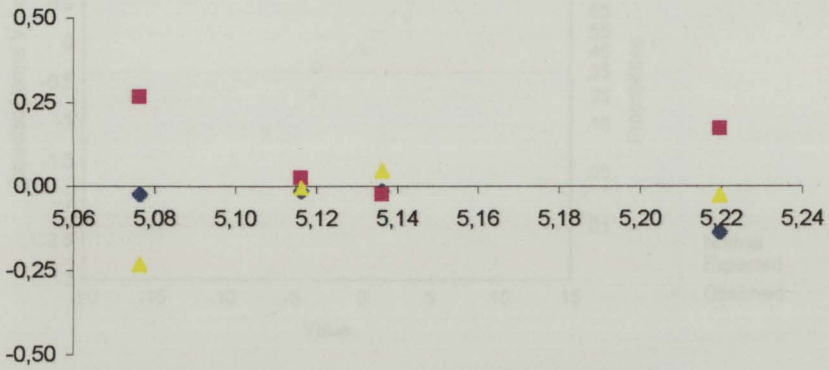

Figura A3.76 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.39 Resultados FCT para cartão 482, programa 2

	Posição				
Longitude	O	C	T	Totais	Média
1	309,0	311,2	321,2	941,4	313,8
2	316,0	321,2	325,4	962,6	320,9
3	315,6	328,4	336,4	980,4	326,8
4	309,2	325,0	322,2	956,4	318,8
Totais	1249,8	1285,8	1305,2	3840,80	
Média	312,5	321,5	326,3		

Tabela A3.40 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	395,1	2	197,56	12,33
Factor Longitude	260,56	3	86,85	5,42
RESIDUAL	96,1	6	16,02	
Total	751,8	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 482 tem influência no resultado do FCT.

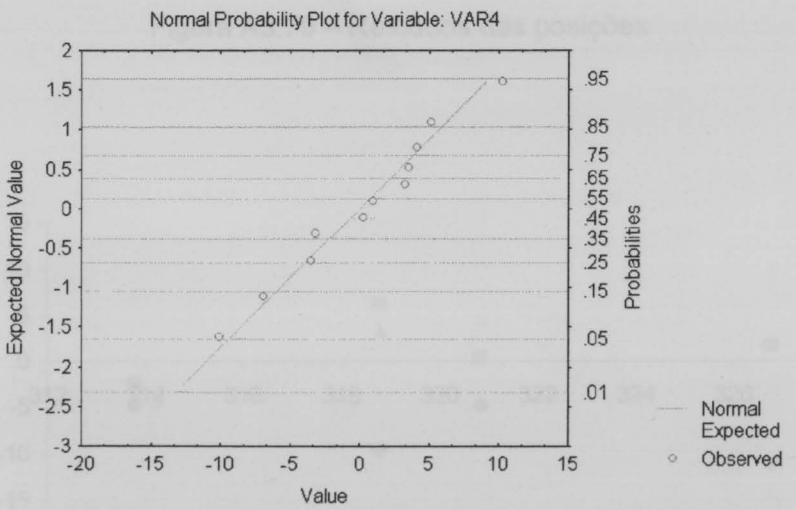

Figura A3.77 – Gráfico de normalidade de resíduos



Figura A3.78 – Resíduos em função do valor estimado

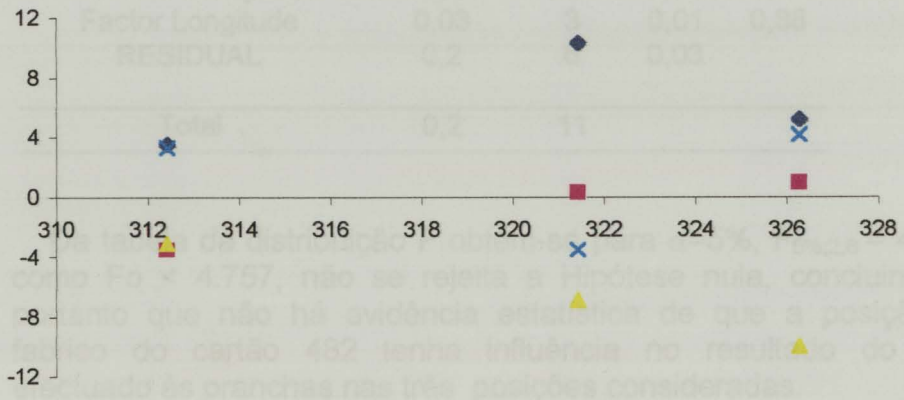

Figura A3.79 – Resíduos das posições

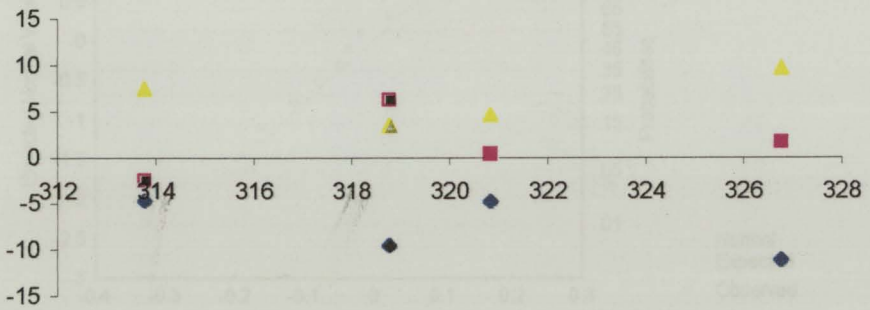

Figura A3.80 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.41 Resultados ECT para cartão 482, programa 3

	Posição				
Longitude	O	C	T	Totais	Média
1	5,78	6,11	6,03	17,9	5,97
2	5,85	6,12	6,19	18,2	6,05
3	6,12	5,91	5,84	17,9	5,96
4	6,07	6,15	5,99	18,2	6,07
Totais	23,8	24,3	24,1	72,16	
Média	5,96	6,07	6,01		

Tabela A3.42 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	0,0	2	0,01	0,55
Factor Longitude	0,03	3	0,01	0,38
RESIDUAL	0,2	6	0,03	
Total	0,2	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 4.757; como Fo < 4.757, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 482 tenha influência no resultado do ECT efectuado às pranchas nas três posições consideradas.

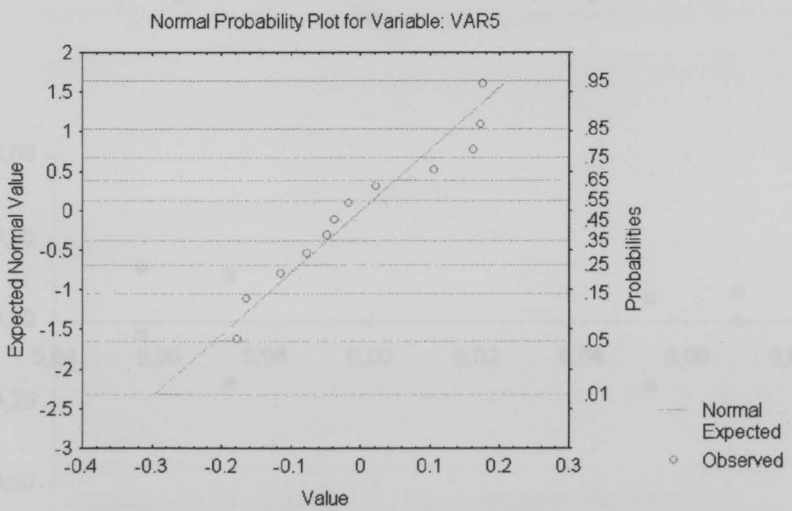

Figura A3.81 – Gráfico de normalidade de resíduos

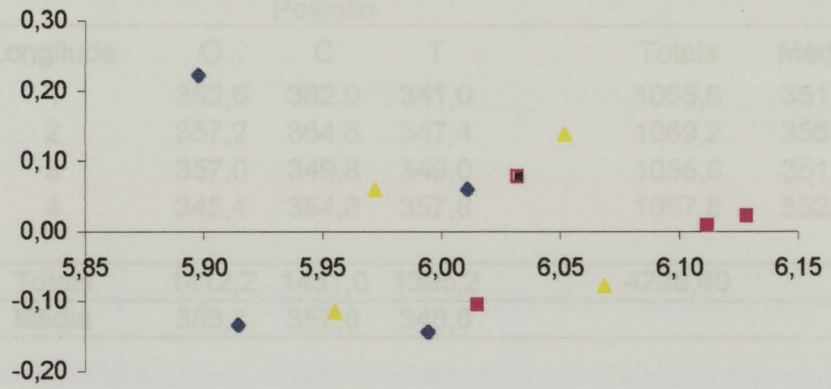

Figura A3.82 – Resíduos em função do valor estimado

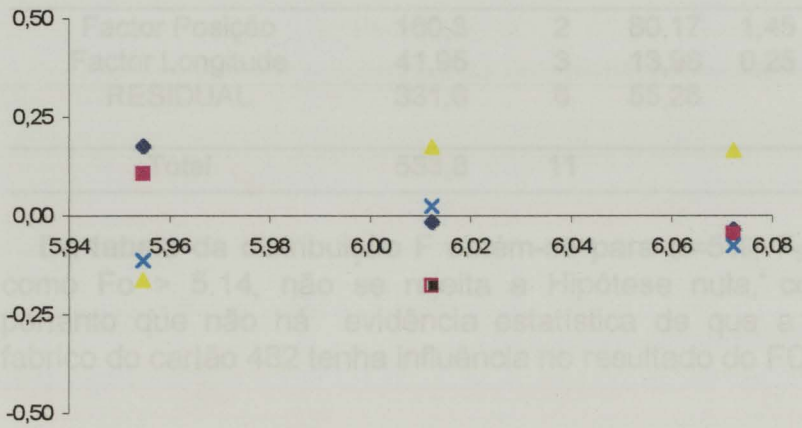

Figura A3.83 – Resíduos das posições

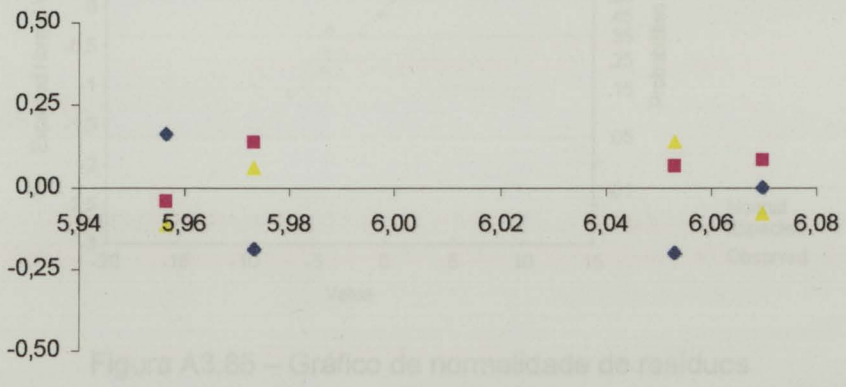

Figura A3.84 – Resíduos das longitudes

Tabela A3.43 Resultados FCT para cartão 482, programa 3

	Posição				
Longitude	O	C	T	Totais	Média
1	352,6	362,0	341,0	1055,6	351,9
2	357,2	364,6	347,4	1069,2	356,4
3	357,0	349,8	349,0	1055,8	351,9
4	345,4	354,6	357,8	1057,8	352,6
Totais	1412,2	1431,0	1395,2	4238,40	
Média	353,1	357,8	348,8		

Tabela A3.44 ANOVA, Dois Efeitos fixos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	160,3	2	80,17	1,45
Factor Longitude	41,95	3	13,98	0,25
RESIDUAL	331,6	6	55,26	
Total	533,8	11		

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,6}$ = 5.14; como Fo > 5.14, não se rejeita a Hipótese nula, concluindo-se portanto que não há evidência estatística de que a posição de fabrico do cartão 482 tenha influência no resultado do FCT.

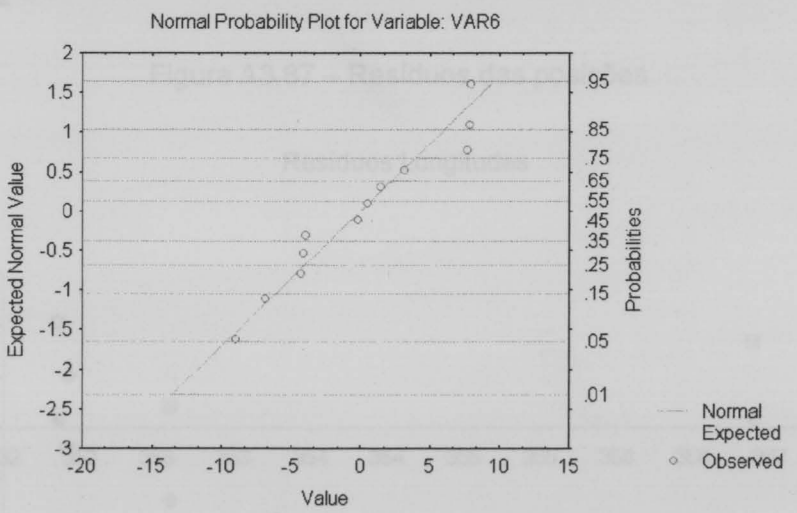

Figura A3.85 – Gráfico de normalidade de resíduos

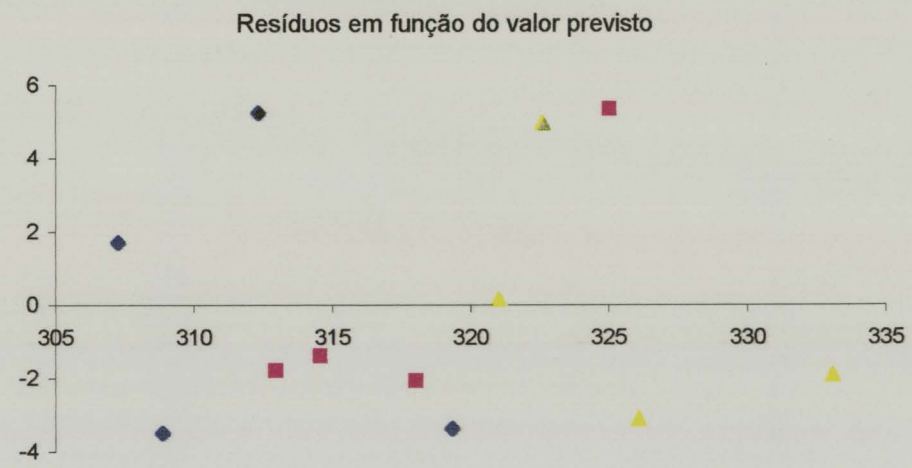

Figura A3.86 – Resíduos em função do valor estimado

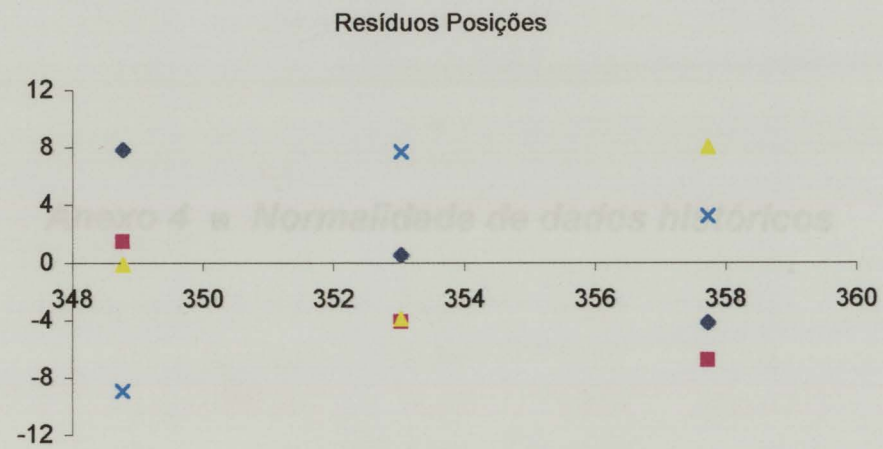

Figura A3.87 – Resíduos das posições

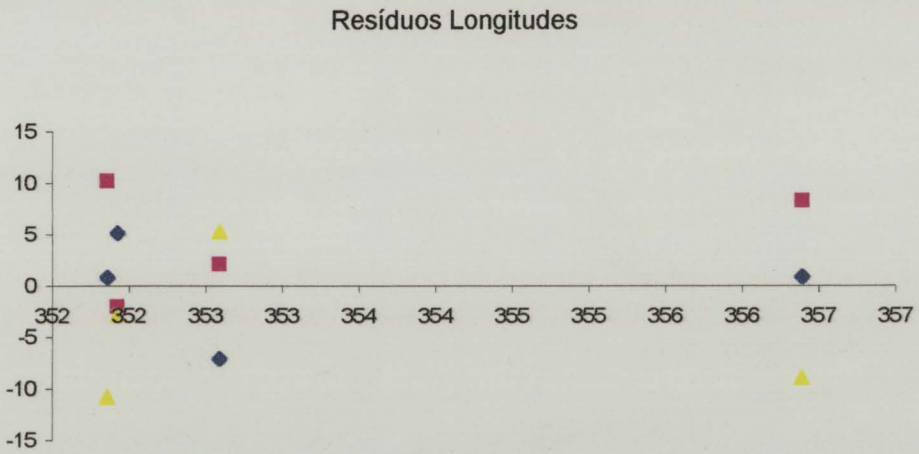

Figura A3.88 – Resíduos das longitudes

Anexo 4 ■ Normalidade de dados históricos

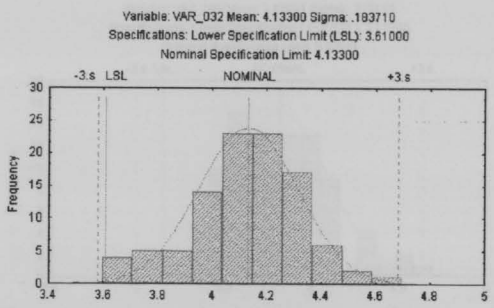

Figura A4.1. Histograma de frequências para cartão 032

K-S d=.14872, p<.05 ; Lilliefors p<.01

Tabela A4.1. Teste do χ^2

Limite Superior da Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada e_k=N.P_k	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
3.60	0	0,186	-0,186	
3.71	4	0,879	3,121	
3.82	5	3,356	1,644	
3.93	5	9,037	-4,037	.0218341
4.04	14	17,177	-3,177	.5875195
4.15	23	23,052	-0,052	.0001163
4.26	23	21,845	1,155	.0610767
4.37	17	14,617	2,383	.3883447
4.48	6	6,906	-0,906	
4.59	2	2,303	-0,303	
+infinty	1	0,643	0,357	.0735494
	N = 100			**Q = 1.1324**

H_o:a distribuição é normal
H_1:a distribuição não é normal

GL=4; com $\alpha = 5\%$ vem $\chi^2(0.05) = 9.48$, maior que Q = 1.1324, a hipótese nula não é rejeitada para um nível de significância de 5%.

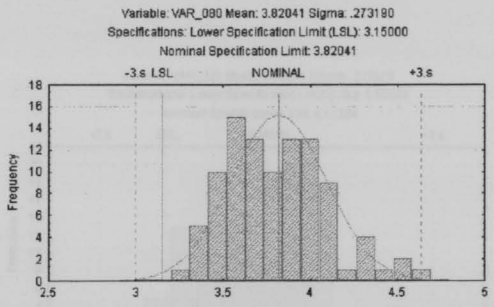

Figura A4.2. Histograma de frequências para cartão 080

K-S d=.11928, p<.15 ; Lilliefors p<.01

Tabela A4.2. Teste do χ^2

Limite Superior da Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada e_k=N.P_k	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
3.10000	0	0,410	-0,410	
3.20625	0	0,794	-0,794	
3.31250	1	1,883	-0,883	
3.41875	5	3,846	1,154	.1255808
3.52500	10	6,765	3,235	1.547248
3.63125	15	10,247	4,753	2.204185
3.73750	13	13,369	-0,369	.0101907
3.84375	10	15,022	-5,022	1.678778
3.95000	13	14,537	-1,537	.1624857
4.05625	13	12,116	0,884	.0645241
4.16250	9	8,697	0,303	.0105644
4.26875	1	5,376	-4,376	
4.37500	4	2,863	1,137	
4.48125	1	1,313	-0,313	
4.58750	2	0,518	1,482	
4.69375	1	0,176	0,824	
+infinty	0	0,068	-0,068	.1674632
	N = 98			**Q = 5.9710**

H_o:a distribuição é normal
H_1:a distribuição não é normal

GL=7; com $\alpha = 5\%$ vem $\chi^2(0.05) = 14.06$, maior que Q = 5.971 a hipótese nula não é rejeitada para um nível de significância de 5%.

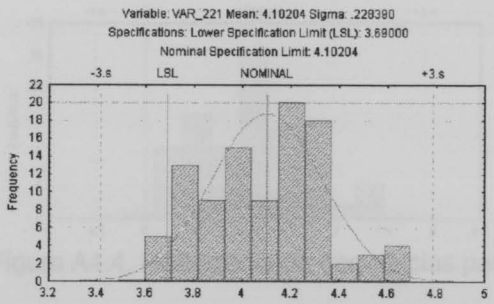

Figura A4.3. Histograma de frequências para cartão 221

K-S d=.14560, p<.05 ; Lilliefors p<.01

Tabela A4.3. Teste do χ^2

Limite Superior da Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada e_k=N.P_k	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
3.60	0	1,369	-1,369	
3.71	5	2,848	2,152	
3.82	13	6,409	6,591	5.116463
3.93	9	11,487	-2,487	.5382917
4.04	15	16,396	-1,396	.1188605
4.15	9	18,641	-9,641	4.986220
4.26	20	16,881	3,119	.5764695
4.37	18	12,176	5,824	2.786254
4.48	2	6,995	-4,995	
4.59	3	3,200	-0,200	
+infinty	4	1,599	2,401	.6618832
	N = 98			**Q = 14.784**

H_o:a distribuição é normal
H_1:a distribuição não é normal

GL=5; com $\alpha = 5\%$ vem $\chi^2(0.05) = 11{,}07$, menor que Q = 14.787, rejeita-se a hipótese nula para um nível de significância de 5%.

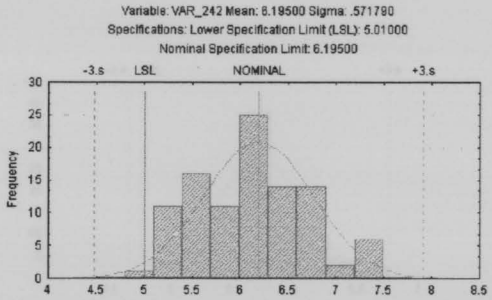

Figura A4.4. Histograma de frequências para cartão 242

K-S d=.08998, p> .20; Lilliefors p<.05

Tabela A4.4. Teste do χ^2

Limite Superior da Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada $e_k=N.P_k$	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
4.8	0	0,735	-0,735	
5.1	1	2,039	-1,039	
5.4	11	5,446	5,554	1.737319
5.7	16	11,112	4,888	2.150322
6.0	11	17,321	-6,321	2.306873
6.3	25	20,631	4,369	.9251823
6.6	14	18,777	-4,777	1.215368
6.9	14	13,059	0,941	.0678744
7.2	2	6,939	-4,939	
7.5	6	2,817	3,183	
+infinty	0	1,124	-1,124	.7620481
	N = 100			**Q = 9.165**

H_o:a distribuição é normal
H_1:a distribuição não é normal

GL=5; com $\alpha = 5\%$ vem $\chi^2(0.05) = 11.07$, maior que Q = 9.165, a hipótese nula não é rejeitada para um nível de significância de 5%.

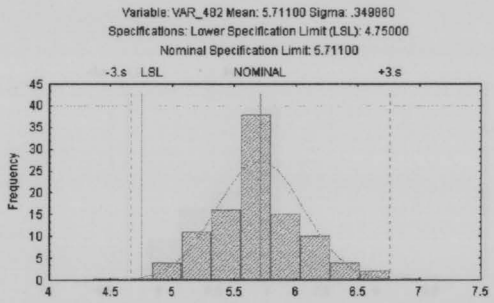

Figura A4.5. Histograma de frequências para cartão 482

K-S d=.10254, p> .20; Lilliefors p<.05

Tabela A4.5. Teste do χ^2

Limite Superior da Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada e_k=N.P_k	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
4.60	0	0,075	-0,075	
4.84	0	0,565	-0,565	
5.08	4	2,925	1,075	
5.32	11	9,622	1,378	.2492246
5.56	16	20,114	-4,114	.8416197
5.80	38	26,739	11,261	4.742894
6.04	15	22,609	-7,609	2.560553
6.28	10	12,158	-2,158	.3829213
6.52	4	4,156	-0,156	
6.76	2	0,902	1,098	
+infinty	0	0,136	-0,136	.1252119
	N = 100			**Q = 8.9024**

H_o:a distribuição é normal
H_1:a distribuição não é normal

GL=4; com $\alpha = 5\%$ vem $\chi^2(0.05) = 9.48$, maior que Q = 8.9, a hipótese nula não é rejeitada para um nível de significância de 5%.

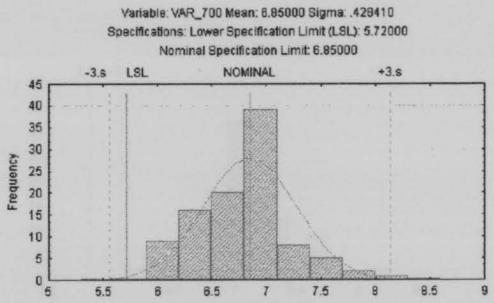

Figura A4.6. Histograma de frequências para cartão 700

K-S d=.11976, p<.15 ; Lilliefors p<.01

Tabela A4.6. Teste do χ^2

Limite Superior da Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada e_k=N.P_k	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
5.6	0	0,176	-0,176	
5.9	0	1,153	-1,153	
6.2	9	5,131	3,869	.9983945
6.5	16	14,237	1,763	.2183626
6.8	20	24,657	-4,657	.8796839
7.1	39	26,669	12,331	5.700962
7.4	8	18,016	-10,016	5.568196
7.7	5	7,598	-2,598	
8.0	2	1,999	0,001	
8.3	1	0,328	0,672	
+infinty	0	0,036	-0,036	.3858121
	N = 100			**Q = 13.751**

H_o:a distribuição é normal
H_1:a distribuição não é normal

GL=4; com $\alpha = 5\%$ vem $\chi^2(0.05) = 9.48$, menor que Q = 13.751, rejeita-se a hipótese nula para um nível de significância de 5%.

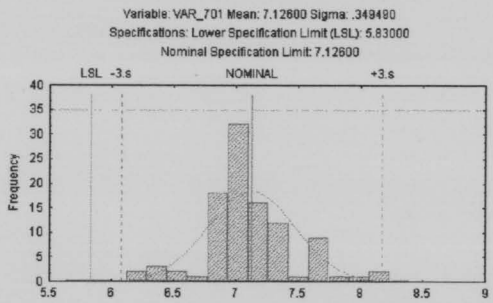

Figura A4.7. Histograma de frequências para cartão 701

K-S d=.15929, p<.05 ; Lilliefors p<.01

Tabela A4.7. Teste do χ^2

Limite Superior da Classe	Frequência Observada N_k	Frequência Esperada e_k	observda-esperada e_k=N.P_k	$\frac{(N_k - e_k)^2}{e_k}$
5.8000	0	0,0074	-0,007	
5.9625	0	0,0361	-0,036	
6.1250	0	0,1655	-0,165	
6.2875	2	0,6125	1,388	
6.4500	3	1,8326	1,167	
6.6125	2	4,4337	-2,434	.0010875
6.7750	1	8,6734	-7,673	6.788713
6.9375	18	13,7208	4,279	1.334577
7.1000	32	17,5528	14,447	11.89102
7.2625	16	18,1594	-2,159	.2567759
7.4250	12	15,1930	-3,193	.6710368
7.5875	1	10,2793	-9,279	8.376616
7.7500	9	5,6241	3,376	
7.9125	1	2,4882	-1,488	
8.0750	1	0,8901	0,110	
8.2375	2	0,2574	1,743	
+infinty	0	0,0736	-0,074	1.440337
	N = 100			**Q = 30.760**

H_o:a distribuição é normal
H_1:a distribuição não é normal

GL=4; com $\alpha = 5\%$ vem $\chi^2(0.05) = 12.59$, menor que Q = 30.76, rejeita-se a hipótese nula para um nível de significância de 5%.

Anexo 5 ■ Cartas de Valores Individuais e Amplitudes Móveis

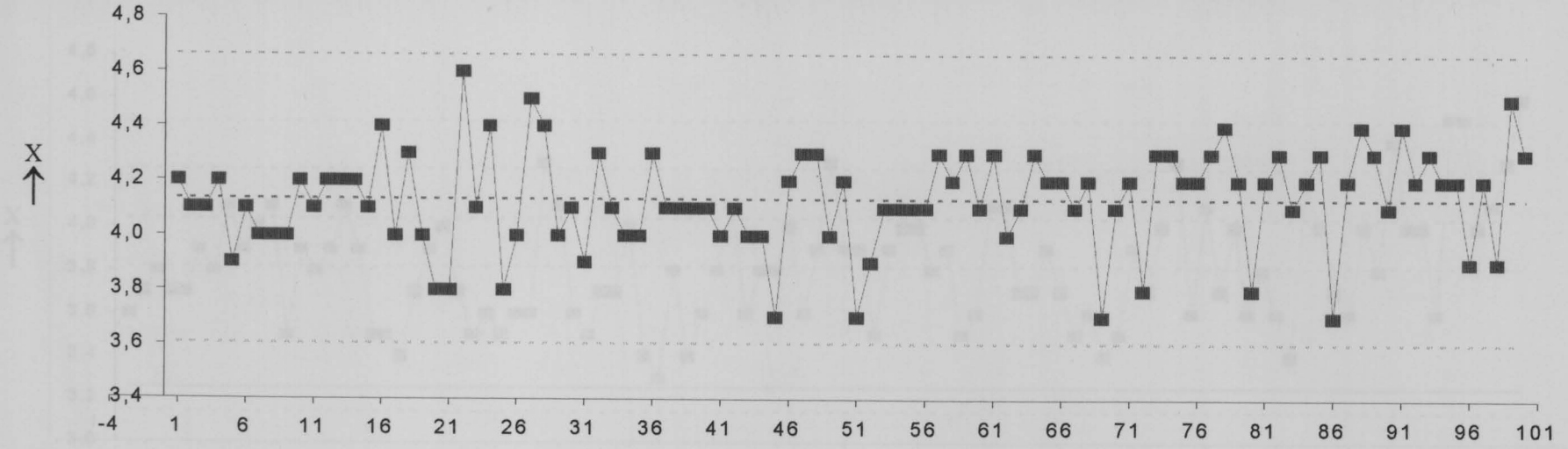

Figura A5.1 Carta X para o cartão 032

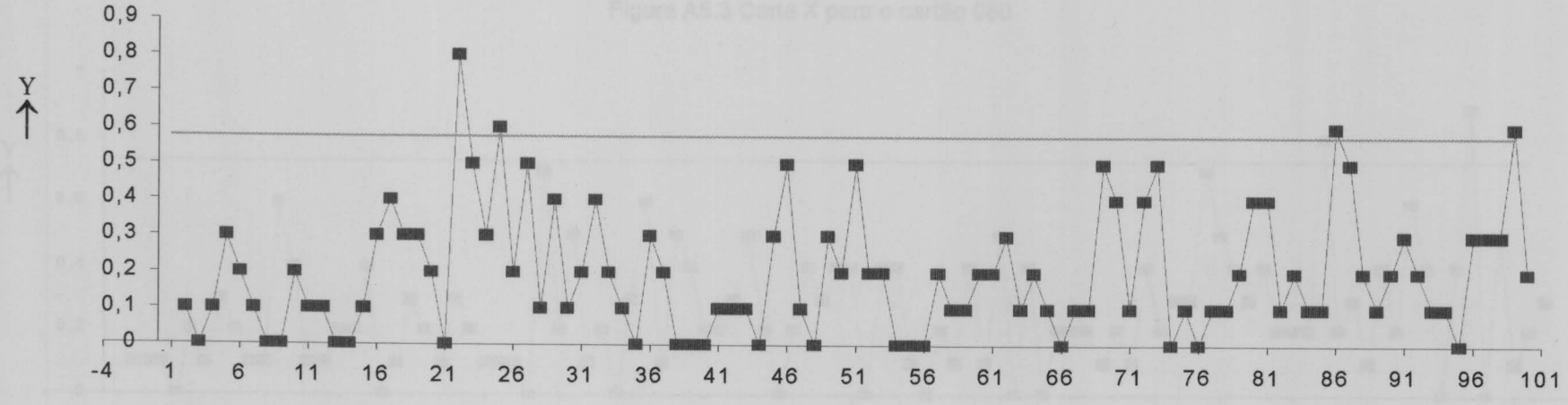

Figura A5.2 Carta AM para o cartão 032

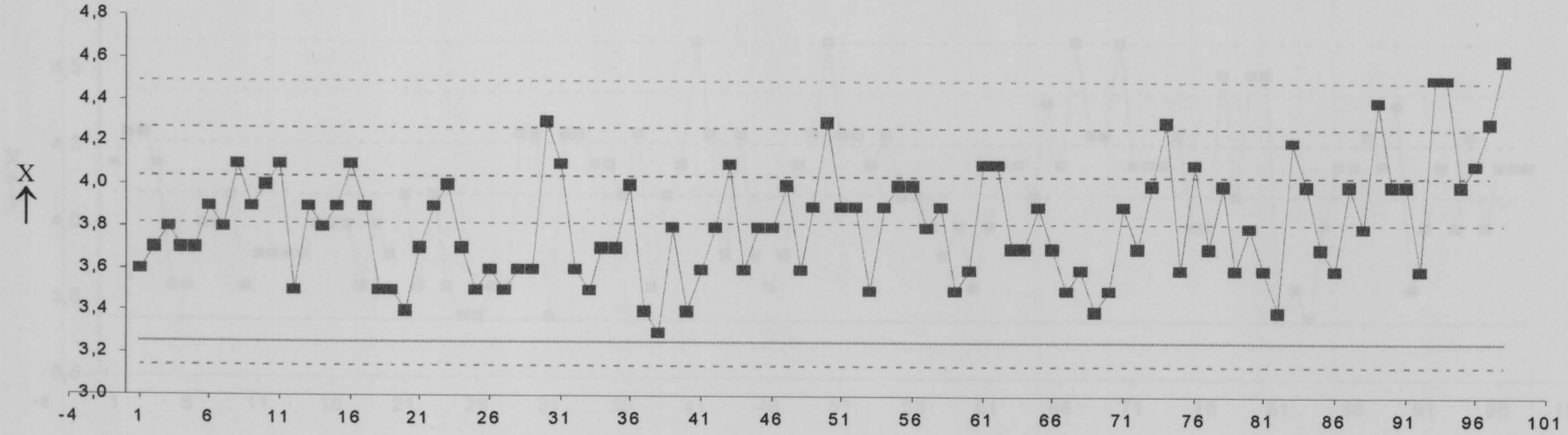

Figura A5.3 Carta X para o cartão 080

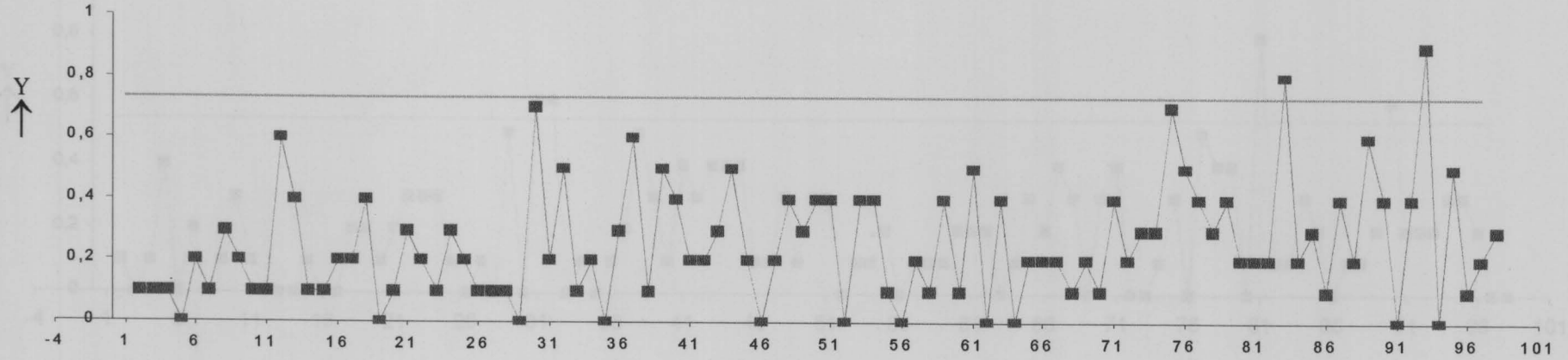

Figura A5.4 Carta AM para o cartão 080

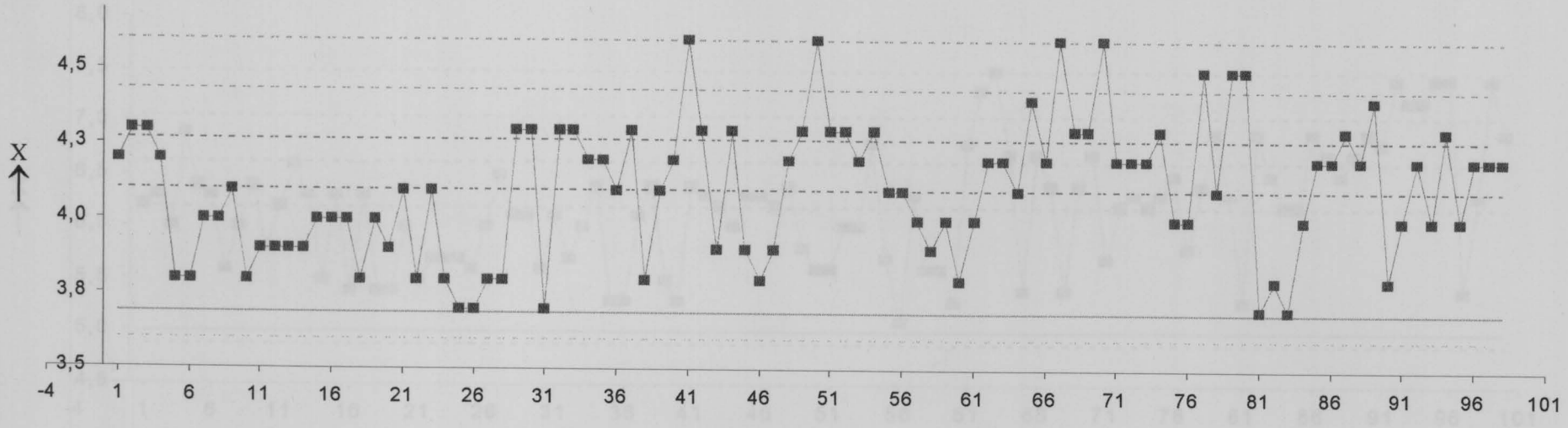

Figura A5.5 Carta X para o cartão 221

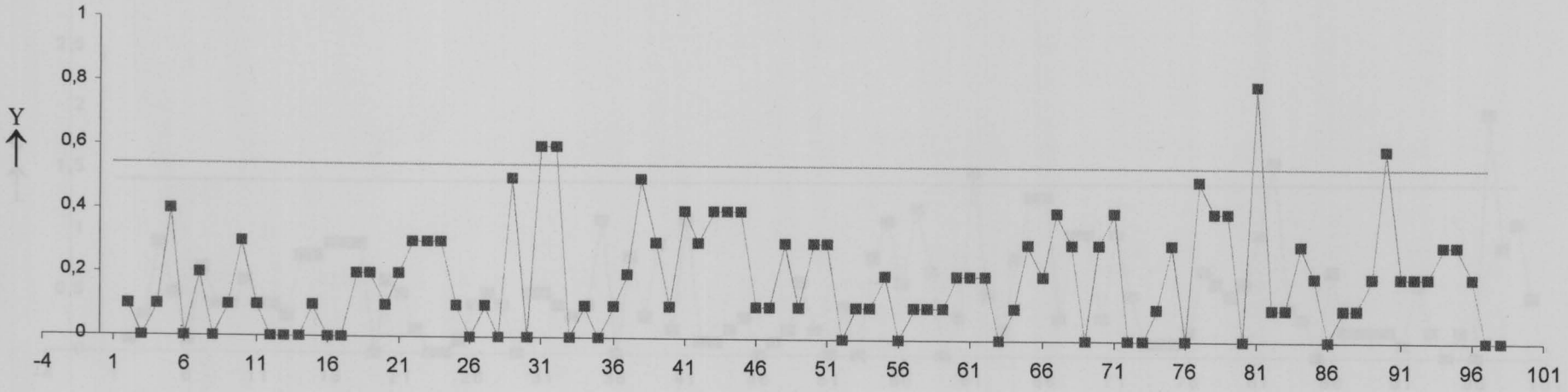

Figura A5.6 Carta AM para o cartão 221

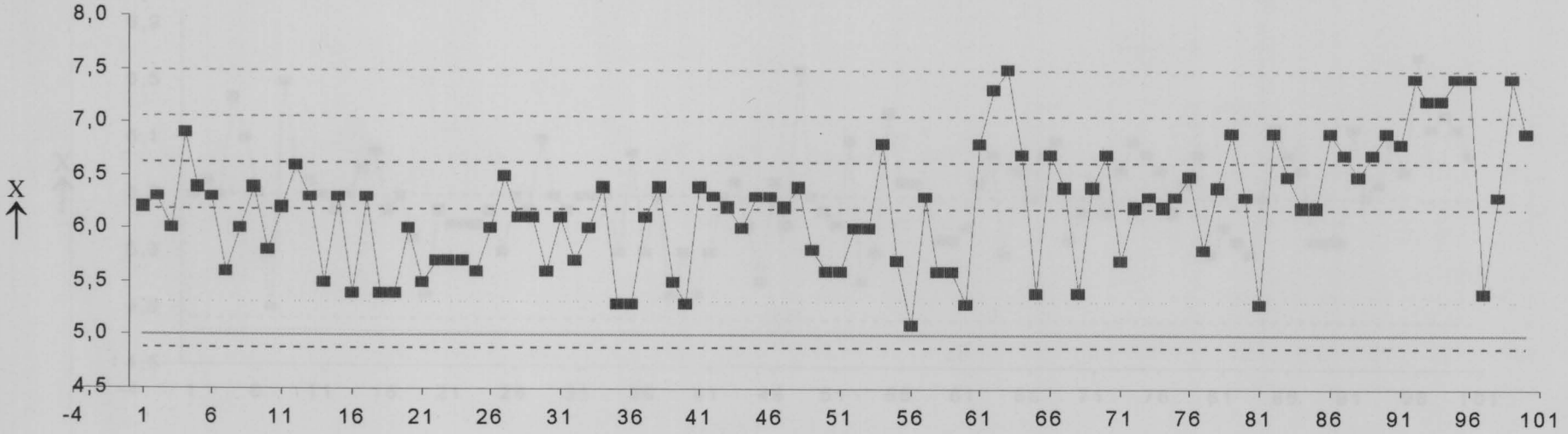

Figura A5.7 Carta X para o cartão 242

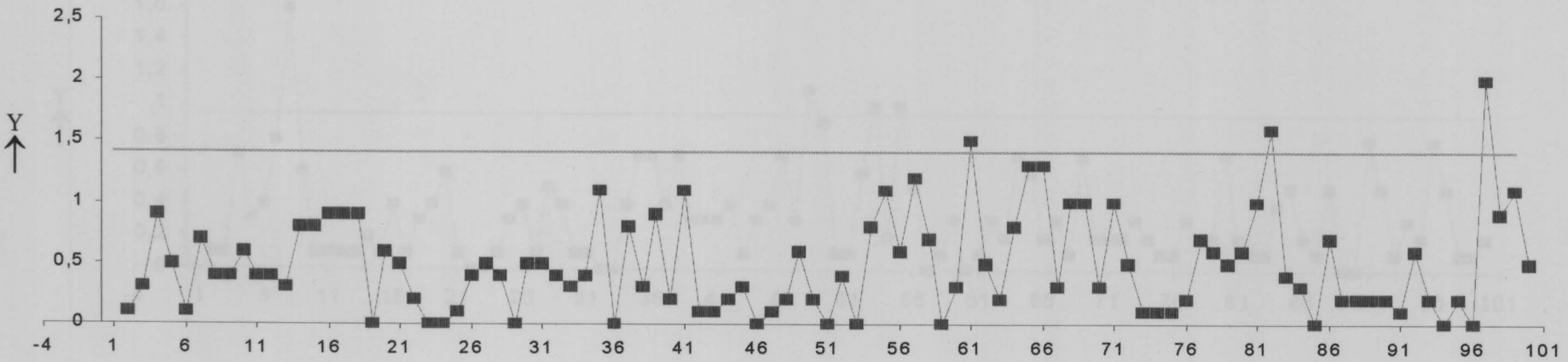

Figura A5.8 Carta AM para o cartão 242

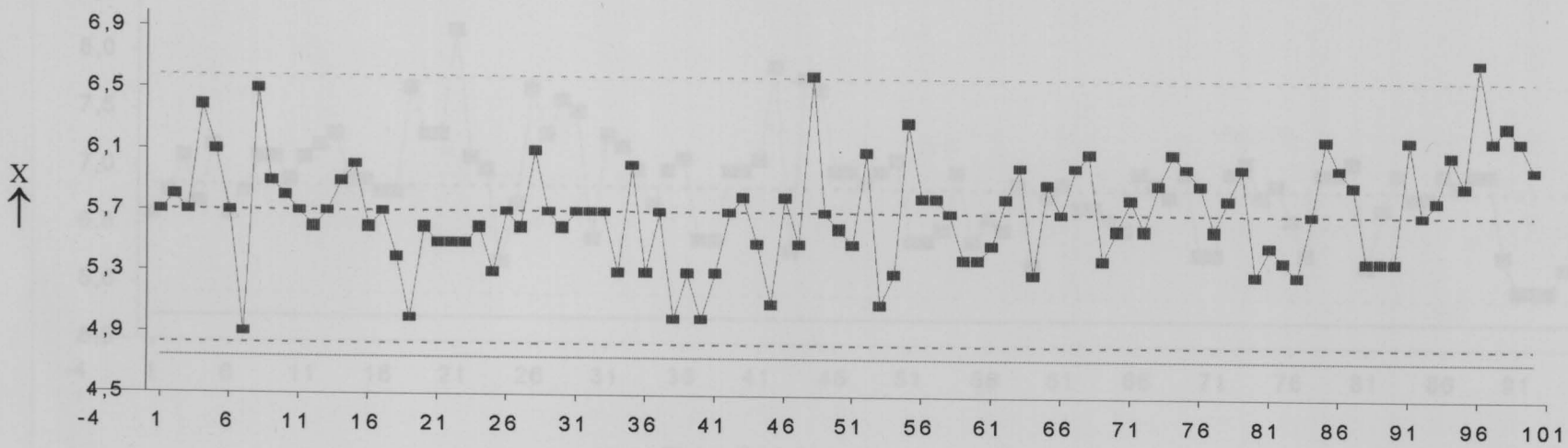

Figura A5.9 Carta X para o cartão 482

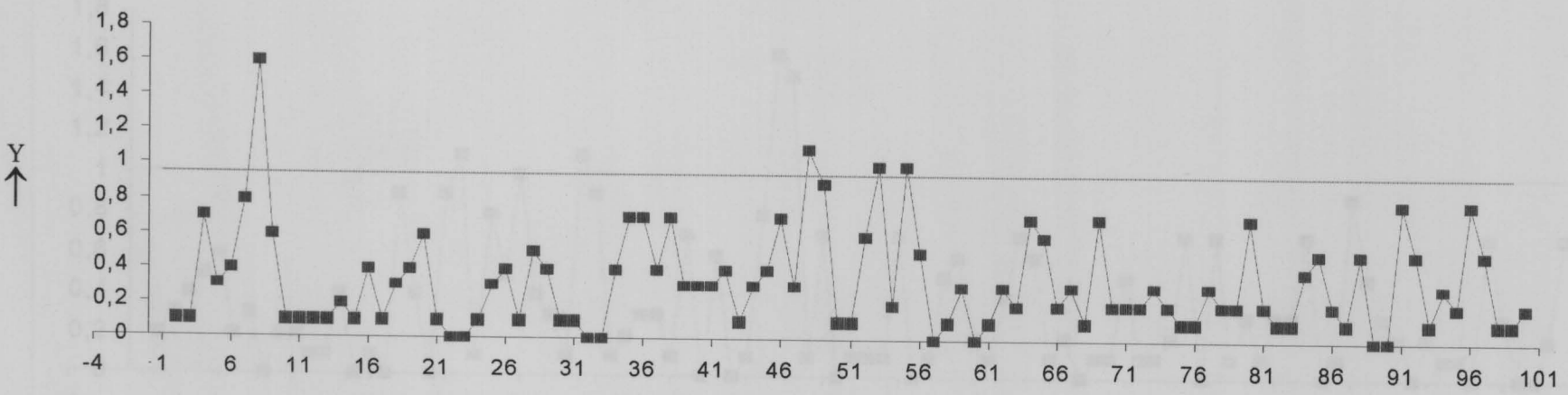

Figura A5.10 Carta AM para o cartão 482

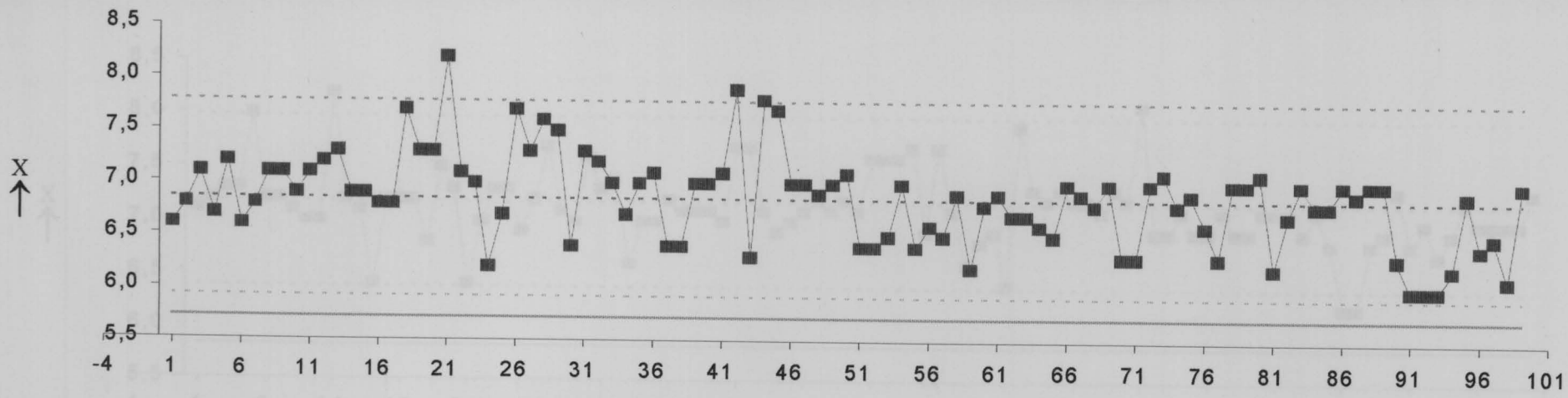

Figura 5.11 Carta X para o cartão 700

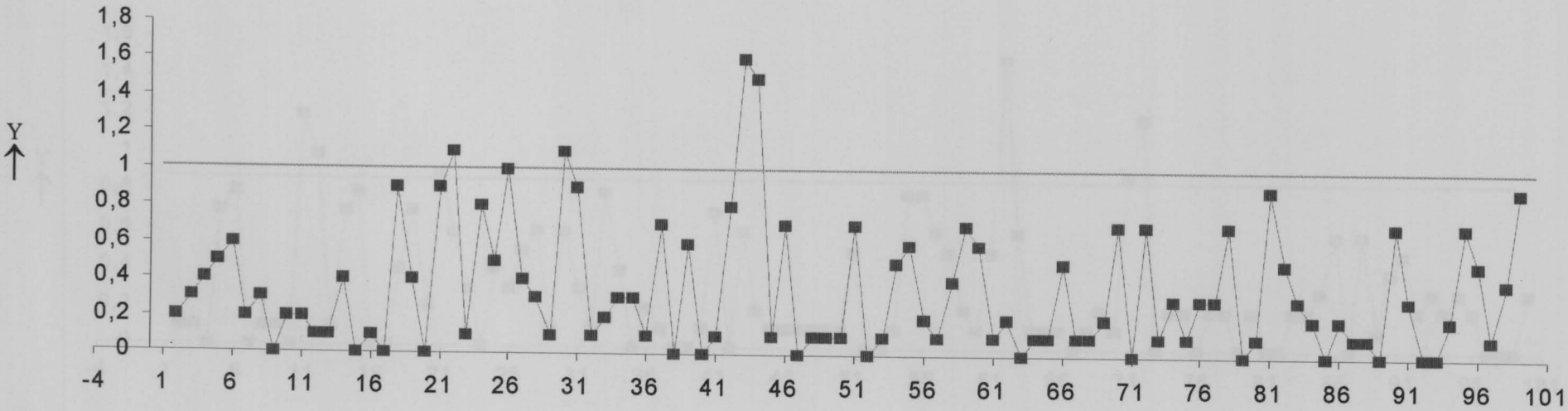

Figura 5.12 Carta AM para o cartão 700

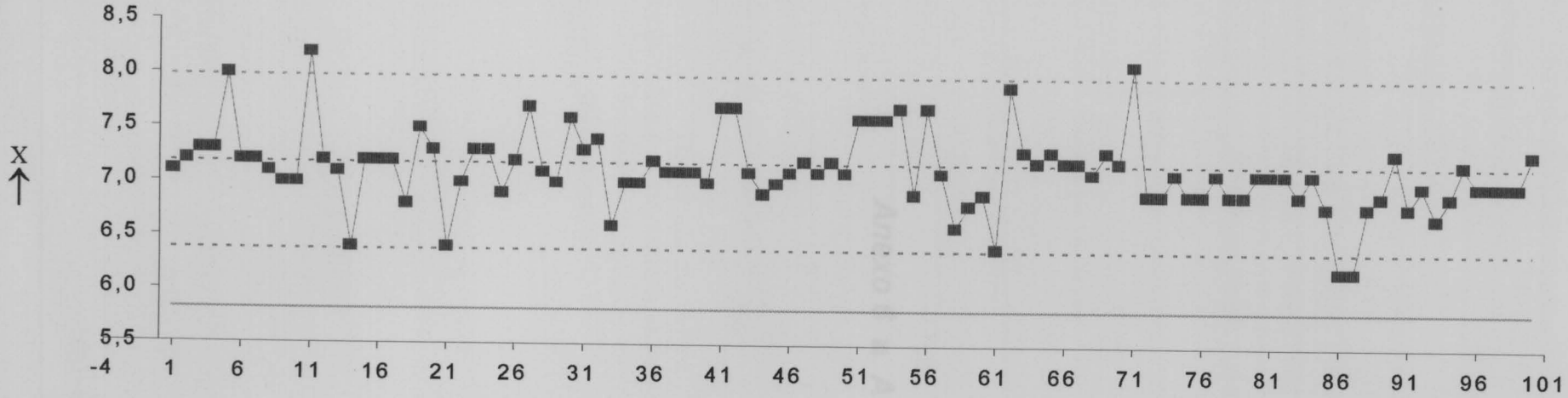

Figura 5.13 Carta X para o cartão 701

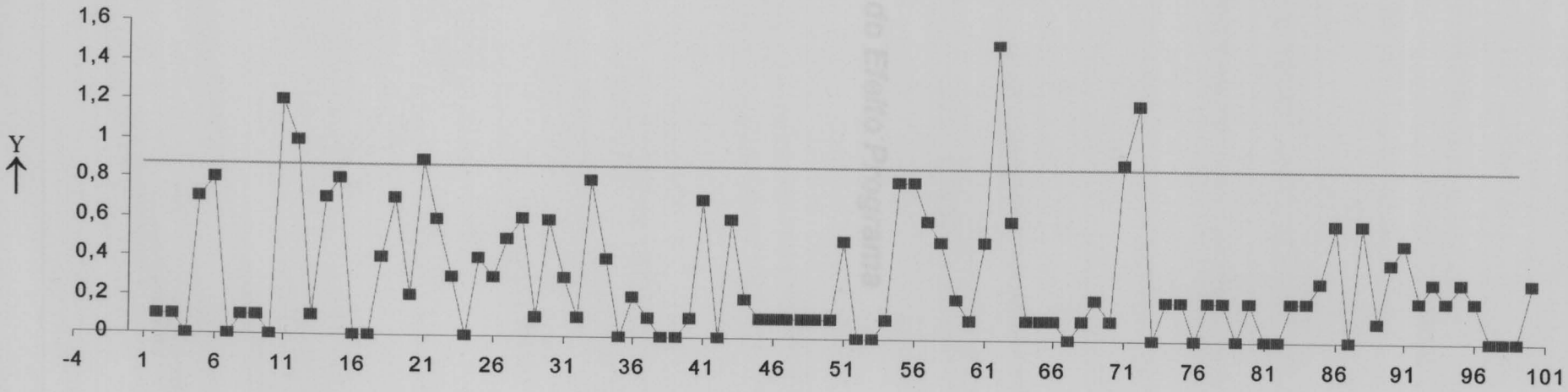

Figura 5.14 Carta AM para o cartão 701

Anexo 6 ■ Análise do Efeito Programa

Tabela A6.1. Resultados ECT (Cartão 221)

	Posição				
Programa	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	4,55	4,37	4,38	13,3	4,43
2	5,03	5,03	4,96	15,0	5,01
3	4,46	4,51	4,49	13,5	4,49
Totais	14,0	13,9	13,8		
Média	4,68	4,64	4,61		

Tabela A6.2. ANOVA, Efeitos Mistos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	0,60	2	0,00	0,86
Factor Programa	0,01	2	0,30	**68,75**
RESIDUAL	0,02	4	0,00	
Total	0,63	8		

As hipóteses são:

$H_o: \mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_n$
$H_1: \mu_i \neq \mu_\kappa$

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,4}$ = 6.94; como Fo > 6.94, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que os as amostras recolhidas em programas distintos apresentam médias de ECT diferentes.

Tabela A6.3. Resultados ECT (Cartão 242)

	Posição				
Programa	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	6,42	6,34	6,72	19,5	6,49
2	5,38	6,00	5,83	17,2	5,74
3	6,57	6,46	6,79	19,8	6,61
Totais	18,4	18,8	19,3		
Média	6,12	6,27	6,45		

Tabela A6.4. ANOVA, Efeitos Mistos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	1,34	2	0,08	1,71
Factor Programa	0,16	2	0,67	**14,55**
RESIDUAL	0,18	4	0,05	
Total	1,68	8		

As hipóteses são:

$H_o: \mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_n$

$H_1: \mu_i \neq \mu_\kappa$

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,4} = 6.94$; como Fo > 6.94, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que os as amostras recolhidas em programas distintos apresentam médias de ECT diferentes.

Tabela A6.5. Resultados ECT (Cartão 482)

	Posição				
Programa	**O**	**C**	**T**	**Totais**	**Média**
1	5,67	5,37	5,93	17,0	5,66
2	5,05	5,34	4,84	15,2	5,08
3	5,78	6,11	6,03	17,9	5,97
Totais	16,5	16,8	16,8		
Média	5,50	5,61	5,60		

Tabela A6.6. ANOVA, Efeitos Mistos

Fonte de Variação	SS	g.l.	DQM	Fo
Factor Posição	0,02	2	0,01	0,13
Factor Programa	1,24	2	0,62	**7,73**
RESIDUAL	0,32	4	0,08	
Total	1,6	8		

As hipóteses são:

H_o: $\mu_1=\mu_2=....=\mu_n$
H_1: $\mu_i \neq \mu_\kappa$

Da tabela da distribuição F obtém-se para α=5%, $F_{5\%;2,4}$ = 6.94; como Fo < 6.94, rejeita-se a Hipótese nula, concluindo-se portanto que os as amostras recolhidas em programas distintos apresentam médias de ECT diferentes.


FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA

0000068089