

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Pesquisa Automática da
Sequência Óptima de Produção
em Linhas Galvânicas

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex – PORTUGAL

788.
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto

Pesquisa Automática da
Sequência Óptima de Produção
em Linhas Galvânicas

UNIVERSIDADE DO PORTO	
Faculdade de Engenharia	
BIBLIOTECA	
N.º	20217-04 M
COU	004 (043)
PARTE	17/1
INCL	2J

N.º. 34688

Manuel Pedro de Almeida Duarte

OUTUBRO 1991

043 M
D87392
2X.2

Tese submetida à Faculdade de Engenharia
da Universidade do Porto
por
Manuel Pedro de Almeida Duarte
para obtenção do grau de mestre
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(Informática Industrial)

Orientada pelo
Professor Doutor José Alfredo Ribeiro da Silva Matos
Professor Associado do Departamento de
Engenharia Electrotécnica da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ÍNDICE

Agradecimentos

Sumário

Capítulo 1 - Introdução do tema

1.1. Introdução	1
1.2. Objectivos propostos neste trabalho	5
1.3. Organização do trabalho	7

Capítulo 2 - Caracterização de uma linha galvânica

2.1. Introdução	9
2.2. Apresentação de uma linha galvânica	11
2.3. Caracterização dos banhos electrolíticos	14
2.4. Funcionamento actual de uma linha galvânica	19
2.5. Objectivos pretendidos com a automatização	22
2.6. Resumo do capítulo	24

Capítulo 3 - Estabelecimento da sequência óptima

3.1. Introdução	25
3.2. O ciclo de uma tarefa	27
3.3. Critério de carga da linha	31
3.3.1. Posição de carga e descarga	32

3.3.2. Rendimentos teórico e real da linha	34
3.4. Tolerância dos tempos nos banhos: critérios	36
3.5. Critério de carga dos tanques electrolíticos	40
3.6. Metodologia para estabelecimento da sequência óptima	44
3.7. Resumo do capítulo	49
 Capítulo 4 - Apresentação do programa	
4.1. Introdução	51
4.1.1. A linguagem "CLIPPER"	54
4.2. Módulo 1: Aquisição de dados	57
4.2.1. Características da linha	57
4.2.2. Características da tarefa	58
4.2.3. Intervalo de carga dos bastidores	66
4.3. Módulo 2: Criação do quadro de tempos	67
4.3.1. Implementação da carga alternada nos tanques electrolíticos	69
4.3.2. Criação de novos registos	70
4.3.3. Modo de construção do quadro de tempos	72
4.4. Módulo 3: Ordenação das operações	73
4.5. Módulo 4: Representação gráfica	80
4.6. Resumo do capítulo	82
 Capítulo 5 - Testes e resultados	
5.1. Introdução	84
5.2. Simulação da produção de circuitos impressos	85
5.3. Simulação de uma linha com oito tanques	105

5.4. Resumo do capítulo	109
Capítulo 6 - Conclusões e desenvolvimentos futuros	
6.1. Introdução	110
6.2. Resumo do trabalho	111
6.3. Conclusões	116
6.4. Desenvolvimentos futuros	118
Referências bibliográficas	120

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Doutor Silva Matos, agradeço a disponibilidade que sempre manifestou na orientação científica deste trabalho, mesmo em épocas de muitos outros afazeres. Agradeço designadamente as valiosas sugestões apresentadas no decorrer da elaboração da dissertação, desde a génese das primeiras hipóteses de trabalho, nascidas da apreciação das necessidades da fábrica Stone, até às observações feitas à última versão do trabalho.

Ao Eng. José Mário Silva agradeço as facilidades oferecidas para a realização prática deste trabalho, quer em termos do empenho que sempre demonstrou relativamente à concretização desta dissertação, quer na qualidade de administrador da fábrica Stone, ao disponibilizar na fábrica todos os meios necessários à investigação e realização de ensaios.

Ao Prof. Doutor Carlos Manuel Espaim agradeço, na sua qualidade de Professor Conselheiro no decorrer de todo o Curso de Mestrado, a orientação e os conselhos dados.

Finalmente, estendo os meus agradecimentos a todos os docentes e colegas do Curso de Mestrado que tornaram a realização deste Curso uma experiência gratificante.

SUMÁRIO

Apresenta-se um algoritmo de Pesquisa Automática da "Sequência Ótima de Produção" em linhas galvânicas.

Partindo do exemplo da linha galvânica da fábrica STONE, Circuitos Impressos, lda, com instalações na Zona Industrial da cidade da Maia, é estudado o problema da Sequenciação e Temporização das placas ao longo da linha.

Procura-se fazer, em seguida, uma generalização do problema, apresentando quais os parâmetros que poderão mudar de linha para linha (número de tanques, tempo em cada banho, etc).

É desenvolvido um programa que permite caracterizar uma linha galvânica qualquer e, a partir de uma determinada tarefa a realizar, gera automaticamente a "Sequência Ótima".

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO DO TEMA

1.1. INTRODUÇÃO

Em Portugal existem várias fábricas dedicadas à construção de linhas galvânicas. Embora a grande maioria funcione ainda manualmente a tendência inequívoca é para que essas linhas sejam automáticas, devido ao aumento do custo da mão de obra, que obriga à necessidade de um melhor aproveitamento de um equipamento que muitas vezes é o mais caro de uma empresa.

Actualmente, no projecto de uma linha galvânica automática, o ciclo de operações que um autómato irá controlar é feito manualmente e de um modo mais ou menos empírico, conduzindo a rendimentos da linha muito abaixo das suas capacidades.

O tema desta dissertação surgiu no âmbito do projecto de automatização da linha galvânica da fábrica STONE- Circuitos Impressos, Lda.

Uma linha galvânica é normalmente constituída por uma sequência de tanques justapostos. As peças a galvanizar, sejam elas armaduras de óculos, botões ou placas de

circuitos impressos como é o caso da fábrica Stone, são carregados em suportes adequados a cada tipo de peça. A estes suportes dá-se normalmente o nome de "Bastidores".

Uma torre transportadora colocada paralelamente à fila de tanques é responsável pelo transporte destes bastidores ao longo da linha, retirando-os de um ponto de partida ou de um tanque qualquer para outro tanque, ou para a posição de descarga.

Cada bastidor deve evoluir ao longo da linha, permanecendo dentro de cada tanque um tempo determinado. Este tempo é função do tipo de operação realizada nesse tanque. Se é uma simples lavagem com água o tempo de imersão no banho pode ser de 1 minuto, mas não é imposta tolerância alguma a esse valor; isto é: se o bastidor permanecer nesse banho 2 minutos ou mais, não haverá prejuízo em termos de qualidade do produto. Mas se num tanque é realizada uma operação electrolítica (por exemplo uma deposição de cobre num circuito impresso), o tempo que as placas estão mergulhadas é crítico, pois a espessura do cobre depositado é função aproximadamente linear do tempo do banho [1]. Neste caso a qualidade final do produto pode ser afectada, se a tolerância do tempo que o bastidor está mergulhado não for uma tolerância apertada.

Por outro lado, para aumentar a capacidade de produção da linha, não se deve esperar que um bastidor saia do último tanque para que o bastidor seguinte entre no primeiro tanque. Esta seria uma situação extrema em que o tempo de imersão em cada banho poderia ser cumprido de forma exacta, por a torre estar dedicada a um único bastidor. Contudo a produção seria mínima. O bastidor seguinte deve entrar na linha "logo que possível", sem que venham a verificar-se situações que originem tempos de espera, em certos banhos, que ultrapassem valores críticos.

O problema que se põe é pois o de determinar a sequência ideal para que a linha funcione na sua máxima cadência, permitindo a sua máxima utilização, isto é , permitindo obter o maior número possível de bastidores por unidade de tempo. Este objectivo deve ser conseguido, respeitando os limites das tolerâncias impostas nos diferentes banhos.

No capítulo 3 são apresentados os parâmetros que, em cada linha, determinam o intervalo de tempo de entrada de dois bastidores consecutivos, e são estabelecidos critérios para cálculo desse intervalo, de modo a aumentar a produção da linha.

Num projecto de automatização de uma linha galvânica, o primeiro problema que surge então é o de saber qual a sequência de deslocações da torre transportadora que

garante, por um lado, aos sucessivos bastidores permanecerem em cada tanque o tempo pretendido e, por outro lado, que se está a tirar o máximo rendimento da linha.

Ora é exactamente o estabelecimento desta sequência de deslocações que actualmente é feita empiricamente e de um modo manual. Trata-se de um trabalho que é feito para cada linha em particular e conduz muitas vezes a rendimentos muito abaixo dos rendimentos teóricos. Verifica-se também que uma pequena alteração na produção traduz-se num imenso trabalho de alterações necessárias ao funcionamento da linha.

O tema central desta dissertação é o desenvolvimento de um programa que cria um ambiente onde podem ser definidas as características de uma dada linha e de uma dada tarefa a realizar nessa linha. Esses dados são armazenados em ficheiros para posterior utilização. Com base nesses ficheiros o programa desenvolve a "Sequência Óptima" das deslocações da torre, segundo determinados critérios também definidos pelo utilizador.

1.2. OBJECTIVOS PROPOSTOS NESTE TRABALHO

Partindo do exemplo concreto da linha galvânica da fábrica Stone, é estudado o problema da Sequênciação e Temporização das operações realizadas sobre as peças a galvanizar (circuitos impressos, por exemplo), na sua evolução ao longo da linha galvânica.

O objectivo inicial proposto pela fábrica Stone consistia apenas no desenvolvimento de um programa que permitisse a um autómato controlar os movimentos da torre transportadora de acordo com uma dada sequência. Entendeu-se porém fazer uma generalização do problema, apresentando quais os parâmetros que poderão mudar de linha para linha, tais como o número de tanques, o tempo de imersão em cada banho, etc. e, desenvolver um método que permita para cada caso determinar a "Sequência Óptima": aquela que garante os tempos de imersão nos tanques e maximiza o número de bastidores por unidade de tempo. Foi desenvolvido um programa que gera automaticamente essa sequência.

Na fase inicial do projecto de automatização da linha galvânica da Stone, depois de observado o trabalho do operador da linha, levantaram-se as seguintes questões:

- Qual a sequência de "viagens" que a torre transportadora realiza ao longo de um dia de trabalho?

- Como garantir que essa é a melhor sequência?
- Quais os critérios a utilizar para garantir ser essa a melhor sequência?
- Como estabelecer essa sequência?

Criada uma metodologia para estabelecer essa sequência, surgiu a ideia de a implementar num programa, para que o programador de autómatos de linhas galvânicas não mais tenha de realizar um sem número de cálculos, mas possa sentar-se diante de um teclado, fornecer as características da linha e da tarefa a realizar, obtendo como resposta a "Sequência Óptima".

O tema da tese nasceu aqui. Trata-se de conseguir uma ferramenta útil numa área onde a automação traz vantagens incalculáveis quer do ponto de vista de qualidade quer do ponto de vista de capacidade de produção. Prevê-se para a linha galvânica da Stone um aumento da produção de cerca de 60%, apenas pelo facto de a torre seguir a sequência estabelecida pelo programa desenvolvido, em vez de uma sequência derivada manualmente pelos processos utilizados presentemente.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 2 é apresentada a linha galvânica da fábrica Stone, suas características e o modo como actualmente está a funcionar. São apresentados ainda os objectivos da Direcção da fábrica neste projecto de automatização, e como eles evidenciam o valor deste trabalho.

No capítulo 3 é feita uma generalização do problema da Sequenciação e da Temporização, são estabelecidos critérios genéricos de optimização e, são indicados os parâmetros que variam de linha para linha e, de tarefa para tarefa dentro da mesma linha. É definida ainda a metodologia seguida para o estabelecimento da sequência óptima.

No capítulo 4 é apresentado o programa que estabelece a sequência óptima. São descritos os diferentes módulos que compõem o programa desenvolvido a que é dado o nome de Sequenciador.

No capítulo 5 são apresentados os resultados de alguns ensaios de simulação realizados com o programa.

Finalmente no 6º e último capítulo são referidas conclusões sobre o trabalho realizado e, os possíveis desenvolvimentos a realizar com base na matéria apresentada. Desenvolve-se a ideia de um programa que, com base na "Sequência Óptima" estabelecida, gere automaticamente o programa numa linguagem

própria para o autômato que irá controlar a linha. Esse programa poderá ser descrito numa linguagem como por exemplo a linguagem STEP 5 desenvolvida pela Siemens para os seus autômatos [2] [3].

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DE UMA LINHA GALVÂNICA

2.1. INTRODUÇÃO

Num certo sentido pode ser afirmado que todas as linhas galvânicas são iguais. Num outro sentido também é verdade que não há duas galvânicas iguais. De facto, se por um lado a maioria delas é constituída por uma fila de tanques onde as peças a galvanizar são mergulhadas por uma torre que as transporta ao longo da linha, por outro lado, é verificado que as operações em cada linha obedecem a características muito próprias. O número de tanques da linha, os tempos de imersão em cada tanque, as tolerâncias impostas a esses valores, as intensidades de corrente eléctrica para as operações electrolíticas são características específicas de cada linha e, em cada linha, de uma dada tarefa.

O processo de deposição de metais por electrólise é algo tão vulgarizado nos processos fabris que não se erra ao se afirmar que, na maioria das fábricas cujos produtos envolvem metalização, existe, em algum canto, uma linha galvânica. Julga-se que a melhor maneira de fazer com que o leitor

desta dissertação fique familiarizado com uma linha galvânica é a apresentação de uma linha concreta.

Apesar das particularidades de cada linha, debruçar a atenção sobre uma em concreto é o primeiro passo para se entrar no assunto desenvolvido ao longo deste trabalho. É apresentada a linha galvânica da fábrica Stone, por o seu projecto de automatização estar na base deste trabalho.

Neste capítulo, além de caracterizada a linha da fábrica Stone, é descrito o processo do seu funcionamento, caracterizando as operações realizadas em cada tanque, especialmente as operações electrolíticas. São também evidenciadas as vantagens da sua automatização.

2.2. APRESENTAÇÃO DE UMA LINHA GALVÂNICA

A linha electrolítica de metalização da fábrica Stone é constituída por uma fila de 14 tanques justapostos.

No Quadro 2.1 são apresentadas as operações realizadas em cada tanque, bem como os tempos de imersão típicos dessas operações.

Ao sair da posição de carga no início da linha, cada bastidor, carregado com as placas dos futuros circuitos impressos, deve ser sucessivamente mergulhado em cada um dos tanques de 1 a 6, e neles permanecer o tempo indicado no Quadro 2.1.

Ao sair do tanque nº6, cada bastidor deve ocupar uma das seis posições livres dos tanques 7 e 8, e aí permanecer 60 minutos. Mais adiante será discutido este valor. É nestes dois tanques que é realizada a deposição de 35 micron de cobre através da electrólise.

Depois de passar nos tanques 9, 10, e 11 (ver Quadro 2.1) o bastidor deve ocupar uma das três posições livres no tanque 12 para nova operação electrolítica. Trata-se da deposição de 10 micron da liga eutética de estanho e chumbo (63% de SN e 37% de PB) [1].

Finalmente, nos tanques 13 e 14 as placas são lavadas com água e transportadas de novo para o início da linha onde são

descarregadas e onde é colocada nova carga para que o bastidor inicie nova viagem ao longo da linha.

CARACTERIZAÇÃO DE UMA LINHA GALVÂNICA

Tanque	Número de Posições	Tempo de imersão (Valor típico)	Tipo de Operação
1	1	5 min	Desengorduramento com AC1022
2	1	2 min	Lavagem com água
3	1	1 min	Lavagem com água
4	1	1/2 min	Desoxidação com P.E. 748
5	1	1 min	Lavagem com água
6	1	1 min	Activação com H ₂ SO ₄
7	3	60 min	Deposição de cobre electrolítico
8	3	60 min	Deposição de cobre electrolítico
9	1	1 min	Lavagem com água
10	1	1 min	Lavagem com água
11	1	1 min	Activação com HFBO ₄
12	3	10 min	Deposição de uma liga SN/PB
13	1	1 min	Lavagem com água
14	1	1 min	Lavagem com água

QUADRO 2.1

2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS BANHOS ELECTROLÍTICOS

Os tanques 7, 8 e 12 são alimentados com correntes eléctricas, cujas intensidades são controladas por três rectificadores independentes. Cada rectificador está dedicado a um tanque electrolítico.

As intensidades de corrente em cada tanque devem ser proporcionais às áreas que se pretendem metalizar e à densidade de corrente pretendida por unidade de superfície. Para o caso específico dos circuitos impressos da fábrica Stone, valores típicos dessas intensidades são: 3 a 4 Ampère/dm² para o cobre, e 2 Ampère/dm² para a liga de estanho e chumbo.

Por outro lado, a espessura conseguida é uma função aproximadamente linear do tempo de imersão no banho. Assim, se for utilizada uma intensidade de 3 Ampère/dm², para se conseguir uma espessura de 35 micron de cobre, o bastidor deverá permanecer um período de tempo de 60 minutos. Mas se a intensidade for aumentada para 4 Ampère/dm², aumentará a velocidade de deposição do cobre. Então para obter a mesma espessura de cobre, o tempo de imersão no banho deverá ser de apenas 45 minutos.

A maior ou menor velocidade de deposição do cobre deve ser escolhida em função do tipo de circuito impresso. Sabe-se que quanto maior for esta velocidade, menor será a qualidade

do cobre depositado. Haverá grandes irregularidades na deposição do cobre, podendo acontecer que apareçam zonas com apenas 20 micron de espessura, enquanto noutras zonas se obtenham espessuras de 50 micron. Então dependendo do tipo de desenho do circuito impresso e das especificações de qualidade do cliente, assim será escolhida uma maior ou menor intensidade, e correspondentemente um menor ou maior tempo de imersão.

O produto do tempo de imersão no banho pela intensidade de corrente deve ser igual a uma constante que caracteriza a espessura do metal depositado. Esta é uma regra absolutamente geral para qualquer metal, conforme nos ensina Faraday.

Tudo o que foi afirmado para os tanques de cobre electrolítico pode ser afirmado também para o tanque número 12, onde é realizada uma operação de deposição da liga eutética de estanho-chumbo.

A existência de 2 tanques para deposição de cobre electrolítico, e cada um deles com 3 posições de carga tem vários objectivos. O primeiro e mais imediato é o de aumentar a capacidade de produção da linha. Sendo este banho o principal, e o mais demorado, se em vez de uma posição para o realizarmos, houver seis, teoricamente a produção pode ser aumentada seis vezes.

Por outro lado, a existência não de 1 tanque com 6 posições, mas de 2 tanques com 3 posições cada, prende-se com os outros objectivos. Se houver 1 tanque com 6 posições e 6 bastidores lá introduzidos, será necessária uma intensidade de corrente igual a 6 vezes a necessária para 1 bastidor, o que se traduz em intensidades de corrente muito elevadas. Se por exemplo um bastidor tiver uma área total de 75 dm² a metalizar, e o tipo de circuito impresso exigir uma intensidade de corrente de 4 A/dm², a um tanque com capacidade para 6 bastidores deveria ser fornecida uma corrente eléctrica de 1800 Ampère; enquanto a 2 tanques com capacidade para 3 bastidores deverá, nas mesmas condições, fornecer 900 Ampère a cada um.

Uma outra razão pela qual se torna preferível a utilização de dois tanques electrolíticos com três posições cada é a possibilidade de a linha funcionar a meia carga em caso de avaria ou em caso de serviço de manutenção dos tanques electrolíticos. Esta poderá ser feita a um tanque de cada vez.

Por último, e talvez a razão mais importante da escolha de 2 tanques electrolíticos, é a possibilidade de serem introduzidas simultaneamente dois tipos diferentes de placas.

Misturar no mesmo banho electrolítico placas para circuitos impressos diferentes, originaria que a intensidade de corrente eléctrica não fosse igualmente distribuída pelos diferentes bastidores. A um bastidor com maior área a metalizar corresponde uma menor resistência eléctrica. Logo a intensidade de corrente seria maior para esse bastidor, aumentando a velocidade de deposição do cobre nos circuitos carregados nesse bastidor. O resultado final seria a obtenção, no mesmo banho, de circuitos impressos com diferentes espessuras. Aqueles que tiverem maior área a metalizar terão uma espessura acima da especificada, enquanto os de menor área terão uma espessura inferior.

Se os bastidores mergulhados num dos tanques electrolíticos estiverem carregados com placas iguais, a corrente eléctrica fornecida a esse tanque será igualmente distribuída por cada bastidor. Será assim garantida uma espessura de cobre igual para qualquer circuito impresso, independentemente do bastidor em que estiver carregado.

Por razões de qualidade, uma regra de ouro [1] é nunca misturar num mesmo tanque electrolítico placas de circuitos impressos de diferentes tipos.

Satisfazer esta regra traz ao Planeamento da Produção dificuldades óbvias, já que este lida com encomendas de diferentes clientes com diferentes tipos de circuitos

impressos, e com prazos de entrega cujas datas muitas vezes se aproximam, e até se sobrepõem.

A existência de 2 tanques permite a produção simultânea de 2 tipos de placas diferentes. Se por exemplo, no início da linha os bastidores forem carregados alternadamente com placas de dois tipos (A e B) e a sequência de "viagens" da torre transportadora estabelecer que os bastidores ao saírem do banho de Activação com HFBO₄ (tanque 6), que precede o banho de cobre electrolítico, vão alternadamente para um tanque (seja o 7), e para o outro (será o 8), então consegue-se garantir que num tanque electrolítico existirá apenas um tipo de circuito impresso.

Veremos adiante que esta alternância de tanques é um critério a ter em conta ao procurar estabelecer a sequência óptima para um determinada linha galvânica. E mesmo dentro da mesma linha é importante ser-se capaz de estabelecer diferentes sequências para diferentes tarefas.

2.4. FUNCIONAMENTO ACTUAL DA LINHA GALVÂNICA

Actualmente, a linha galvânica da fábrica Stone tem montado um autómato programável da Siemens que controla os movimentos da torre transportadora, tanto os horizontais ao longo da linha, como os verticais de subida e descida dos bastidores nos tanques e na zona de descarga e carga. Existem sensores de segurança quer nos extremos da linha quer no topo da torre, e ainda a paragem de emergência. Células fotoeléctricas dispostas na entrada de cada tanque dão informação se o tanque está ou não carregado com um bastidor, para impedir que a torre desça um bastidor para uma posição ocupada. O autómato controla também duas velocidades de deslocamento da torre ao longo da linha (uma dita de baixa e outra alta), conforme a deslocação é para tanques contíguos ou não.

O autómato programável é um SIMATIC S5-100U que apresenta uma configuração modular, constituída por uma fonte de alimentação, uma unidade central que admite módulos de memórias passivas reprogramáveis R PROM nas suas duas versões EPROM e EEPROM, e ainda módulos de entrada e saída analógicos e digitais [2] [3].

Este autómato é programável numa linguagem desenvolvida pela Siemens, denominada STEP 5. Foi desenvolvida para toda a gama de autómatos da Siemens e apesar de muito simples é

bastante poderosa. A sua estrutura é semelhante à de uma linguagem Assembly [3].

Apesar da presença do autómato a sequência de operações na linha está presentemente a ser realizada de um modo manual. Um operador, através de uma alavanca com quatro posições é que determina o avanço ou recuo da torre na linha, e a subida ou descida de um bastidor. As quatro posições desta alavanca são quatro entradas num dos módulos de entrada do autómato. Depois da alavanca ser accionada, um movimento da torre é iniciado até encontrar um fim de curso ou o sensor da posição do tanque seguinte. Aí pára de novo até que nova ordem seja dada pelo operador.

O controle dos tempos de imersão nos banhos é realizado por relógios de contagem regressiva (tipo relógio de cozinha), colocados junto de cada tanque. Sempre que um bastidor entra no tanque é registado no respectivo relógio o tempo que ele deve aí permanecer. Terminado esse período o relógio assinala, e logo o operador deve deslocar para lá a torre a fim de remover o bastidor desse tanque.

Entretanto a hora de entrada e saída de cada bastidor, em cada um dos tanques vai sendo registada pelo operador numa ficha ao longo de todo o dia de trabalho. O objectivo deste registo é a identificação de quaisquer anomalias encontradas posteriormente no controle de qualidade.

Para garantir que a duração dos tempos de imersão dos bastidores em cada tanque permaneça dentro das tolerâncias estabelecidas, é óbvio que o operador não consegue gerir uma quantidade elevada de bastidores simultaneamente presentes na linha.

Para que os circuitos impressos produzidos na fábrica Stone possam continuar a ter a qualidade até aqui verificada e se consiga um aumento de produção com a actual linha galvânica (para enfrentar um mercado em crescimento), torna-se necessário proceder à sua automatização. Caso contrário a empresa vê a médio prazo a sua capacidade de produção limitada.

2.5. OBJECTIVOS PRETENDIDOS COM A AUTOMATIZAÇÃO

Ao promover este projecto de automatização da sua linha galvânica a Stone tem dois objectivos principais.

O primeiro objectivo é que a médio prazo a Stone tenha uma capacidade de produção capaz de fazer face às solicitações do mercado. De facto de momento não existe este problema pois a linha está sobre dimensionada. Por ser uma máquina extremamente cara, na fase de instalação da fábrica construiu-se uma linha cuja capacidade não se esgotasse ao fim de pouco tempo. Por isso ela funciona em dias alternados. Pretende-se otimizar a utilização da capacidade instalada.

Por outro lado, se a linha estiver a funcionar de um modo automático, a produção desta não vai depender da agilidade do operador. A experiência industrial mostra que a produção de um dia de trabalho pode variar com o funcionário que está a operar na linha. Esta variação pode atingir valores de 15%.

O segundo objectivo é o controlo da qualidade: garantir com mais exactidão os tempos de imersão em cada banho e obter um registo histórico de todo o processo de fabricação. Não um registo manual, mas sim um ficheiro obtido por um computador que, em tempo real, vá registando todos os movimentos da torre.

Na verdade, a experiência industrial mostra que na aquisição de tempos realizada manualmente (por um operário), numa elevada percentagem de vezes, os tempos registados são aqueles que deveriam ser, e não os reais. Por isso, este registo será um instrumento muito mais fiável para permitir a detecção de eventuais defeitos de produção, e também poder funcionar junto dos clientes como factor comprovativo de qualidade.

2.6. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi caracterizada uma linha galvânica concreta. Foram apresentadas as suas características específicas e descritas as operações realizadas em cada tanque. Procurou apontar-se os problemas que envolvem o funcionamento de uma linha galvânica, para que o leitor possa acompanhar melhor o tema desenvolvido. Através da descrição do actual funcionamento da linha foram ainda evidenciadas as vantagens da sua automatização.

No capítulo seguinte, em primeiro lugar é colocado o problema da sequenciação de operações durante o ciclo de uma tarefa. São identificadas no ciclo de uma tarefa as fases de carga, regime permanente e descarga. Seguidamente é feita uma generalização do problema definindo os parâmetros que variam de linha para linha e são estabelecidos os critérios segundo os quais a optimização deve ser realizada. Por último é realizada a descrição da estratégia desenvolvida para obtenção da "Sequência Óptima".

CAPÍTULO 3

ESTABELECIMENTO DA SEQUÊNCIA ÓPTIMA

3.1. INTRODUÇÃO

No parágrafo 1.2 do primeiro capítulo foram colocadas algumas questões, cujas respostas constituem o assunto deste terceiro capítulo.

As questões então colocadas dizem respeito a procurar saber qual a sequência de "viagens" que a torre transportadora realiza ao longo de um dia de trabalho, como garantir que essa é a melhor sequência, quais os critérios utilizados e, finalmente, como estabelecer essa sequência.

A resposta a estas perguntas permitiu a obtenção de uma sequência chamada ótima. Poderá ser colocada a questão: porque é que a sequência a que se chega é considerada ótima? Neste capítulo são definidas as necessidades da tarefa, estabelecidas as limitações da linha e apresentados os parâmetros cujos valores queremos ver maximizados ou minimizados (são os critérios de otimização).

Pretende-se maximizar o número de bastidores que sai da linha por unidade de tempo, isto é maximizar a produção da

linha, mas garantindo que os tempos de imersão dos bastidores nos banhos sejam mantidos dentro das tolerâncias especificadas.

Pode então definir-se a "Sequência Ótima" como aquela que satisfaz melhor as especificações da fabricação de um determinado produto (garantindo os tempos de imersão e as suas tolerâncias), e maximiza a produção (número de bastidores por unidade de tempo). Do ponto de vista da produção esta sequência é "ótima" porque é garantida a produção máxima da linha. Para o responsável pelo controle de qualidade esta sequência "ótima" é, porque ele vê os tempos nos banhos cumpridos com precisão.

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste terceiro capítulo é a seguinte: procura-se encontrar resposta para cada uma das perguntas atrás mencionadas com base na linha da fábrica Stone, apresentada no capítulo dois. Seguidamente são generalizadas as conclusões para qualquer linha galvânica, definindo os parâmetros que variam de linha para linha e estabelecendo diferentes critérios que em diferentes casos devem ser tidos em conta, para o estabelecimento de uma ou outra opção na definição da sequência.

3.2. O CICLO DE UMA TAREFA

Neste parágrafo procura-se responder à pergunta: qual a sequência de viagens que a torre realiza ao longo de um dia de trabalho?

Ao longo de um dia de trabalho da linha galvânica existem três etapas perfeitamente distintas. São elas a fase da carga, a fase de regime permanente ou plena carga e a fase de descarga. O esquema da figura 3.1. evidencia esta situação.

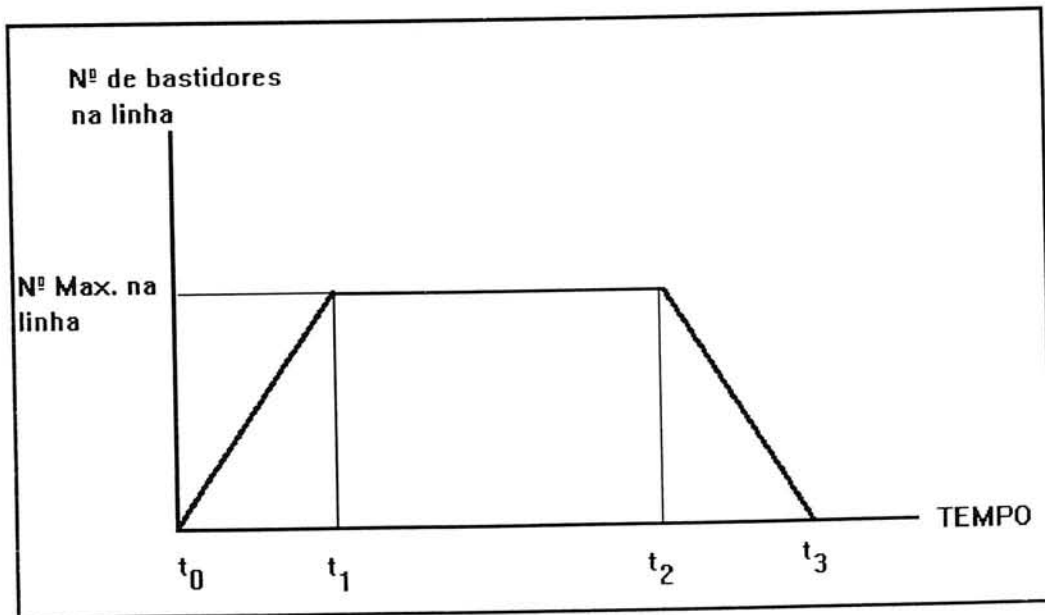


Figura 3.1. O CICLO DE UMA TAREFA

A fase de carga acontece desde o instante t_0 de arranque, em que o primeiro bastidor sai da posição de carga e entra no primeiro tanque, até ao instante t_1 em que esse primeiro

bastidor sai do último tanque no outro extremo da linha. A característica principal desta fase é que o número de bastidores que estão simultaneamente na linha vai sucessivamente aumentando. Quando o primeiro bastidor sai da linha, é levado à posição de descarga (esta posição coincide com a posição de carga) e aí é descarregado e novamente carregado. O próximo bastidor a entrar será ele. Atingiu-se assim a saturação da linha. Em intervalos de tempos regulares sai da linha um bastidor para ser descarregado e novamente carregado, iniciando-se assim a fase de regime permanente.

A fase de regime permanente é o tempo que medeia entre os instantes t_1 e t_2 na figura 3.1. Esta fase é caracterizada pelo facto de o número de bastidores simultaneamente presentes na linha se manter constante. A duração desta fase é variável e depende principalmente do volume de produção da fábrica. No caso da Stone, quando existem encomendas de quantidades muito grandes, pode acontecer que seja necessário a linha trabalhar vários dias seguidos. Enquanto houver placas para serem carregadas num bastidor, manter-se-á a fase de regime permanente.

A fase da descarga da linha é o período de tempo entre os instantes t_2 e t_3 (figura 3.1). Esta fase é caracterizada pela ausência de entrada de novos bastidores na linha, sendo

que o número de bastidores vai diminuindo até que o processo pare com a saída do último bastidor.

É óbvio que os movimentos da torre são cíclicos. No projecto de automatização a primeira coisa que se pretende definir é este ciclo. Contudo, o ciclo de movimentos da torre em regime permanente é diferente do ciclo na fase de carga ou na fase de descarga. De facto, se for aplicado o ciclo de movimentos da torre na fase de regime permanente à fase inicial da carga ou à fase final de descarga, obriga-se a torre a fazer movimentos desnecessários. Isto é, a torre vai a um determinado tanque "buscar" um bastidor que na realidade não está lá.

No arranque quando entra o primeiro bastidor, como não há mais nenhum bastidor na linha, não faz sentido que a torre execute outros movimentos. Ela deve ficar parada no primeiro tanque aguardando o momento em que o bastidor deve passar ao segundo tanque. Do mesmo modo deve permanecer neste tanque, e nos tanques seguintes, até que chega o momento em que o segundo bastidor deve ser tomado da posição de carga e colocado no primeiro tanque. A torre terá agora que se movimentar de acordo com os tempos de saída de 2 bastidores em 2 tanques distintos. Quando entrar o terceiro bastidor os movimentos da torre serão de acordo com os tempos de saída dos 3 bastidores em 3 tanques distintos. A intervalos

regulares irão entrando novos bastidores e por isso a sequência de movimentos da torre nunca é a mesma.

A partir do momento em que o primeiro bastidor sai do último tanque é estabelecido o regime permanente. O número de bastidores a ser gerido agora é constante. A intervalos regulares estará entrando um novo bastidor, mas também a intervalos regulares estará saindo um outro. A torre permanecerá realizando o ciclo de movimentos que se repetem até ao momento em que entra o último bastidor daquela tarefa.

De novo os movimentos da torre vão sendo alterados conforme o número de bastidores vai diminuindo.

Define-se, então o ciclo de tarefa constituído por três fases distintas: o arranque, o regime permanente em que um ciclo é repetido indefinidamente e finalmente a fase de descarga.

Do exposto até agora fica claro o seguinte: o intervalo de tempo entre a carga de 2 bastidores consecutivos, e o número máximo de bastidores que se consegue ter simultaneamente na linha determinam o ciclo de movimentos da torre no regime permanente.

3.3. CRITÉRIO DE CARGA DA LINHA

O primeiro critério estabelecido é aquele que maximiza a produção da linha. Para maximizar a produção é desejável que a fase de carga ocorra no menor tempo possível, e portanto é necessário que o intervalo de tempo entre a carga de dois bastidores consecutivos seja mínima.

No caso da fábrica Stone entende-se estar a tirar o máximo rendimento da linha quando as 6 posições dos tanques de cobre electrolítico (ver capítulo 2, parágrafo 2.2) estiverem todas ocupadas o maior tempo possível.

Para a tarefa correspondente aos valores típicos indicados no Quadro 2.1 onde se estabelece um valor de 60 minutos para os tempos de imersão dos bastidores no banhos electrolíticos, o intervalo mínimo para a carga de dois bastidores consecutivos será dado pelo quociente $60/6$. Obter-se-á então um valor de 10 minutos. Este valor é valor teórico, porque não são ainda tidos em conta os tempos de deslocação da torre.

Se no arranque os bastidores forem carregados para a linha de 10 em 10 minutos, ao fim de 60 minutos todas as posições de cobre electrolítico estarão ocupadas. Como foram ocupadas em intervalos de 10 minutos, estarão sendo desocupadas em intervalos iguais de 10 minutos. Se no início da linha os bastidores continuarem a ser carregados com o mesmo

intervalo de tempo, sempre que for desocupada uma posição de cobre electrolítico, outro bastidor estará pronto a ocupar essa posição.

São identificados dois parâmetros muito importantes que estabelecem o critério para a determinação do intervalo de carga entre bastidores consecutivos que maximiza a produção. O primeiro é o tempo de imersão mais longo da linha e o segundo é o número de posições onde alternativamente essa operação pode ser realizada. O tempo de imersão no banho é uma característica da tarefa a realizar, enquanto o número de posições é uma característica da linha.

3.3.1. POSIÇÃO DE CARGA E DESCARGA

Uma das grandes limitações da maioria das linhas galvânicas é que o local em que é realizada a carga coincide com o local onde é realizada a descarga. Normalmente é no início da linha que um operador carrega os bastidores. É também aí que o mesmo operador descarrega aquele bastidor que depois de sair do último tanque é transportado pela torre ao longo de toda a linha para ser colocado de novo no início da linha. Isto determina que ao ser calculado o intervalo mínimo para a carga de dois bastidores consecutivos, deve ser tido em conta o tempo necessário para o operário retirar do bastidor uma carga e colocar nova carga.

Aliás, a existência deste factor humano numa sequência que se quer automática leva a pensar nos custos que daí poderão advir. Uma distracção humana, ou qualquer outro factor humano de "força maior" que impeça a descarga atempada de um bastidor faz com que este possa iniciar nova viagem na linha, inutilizando toda a carga desse bastidor. Também pode ocorrer que a torre leve um bastidor ainda não carregado, traduzindo-se isso numa diminuição da produção. Parar a linha para resolver alguma destas destas situações seria uma má solução, pois os tempos nos banhos de todas as cargas presentes na linha ultrapassariam todas as tolerâncias, sendo assim maior o prejuízo.

Daí que em primeiro lugar se aconselha, sempre que possível, que a carga e a descarga sejam realizadas em locais distintos da linha. Garante-se assim que o fluxo de bastidores nunca será interrompido por falha humana.

Sempre que tal não seja possível, quer porque o investimento não o justifique, quer porque seja fisicamente impossível, entende-se ser necessário definir o intervalo de tempo mínimo necessário para que o operador possa proceder à descarga e carga de um bastidor.

Assim sendo, o intervalo de carga entre dois bastidores consecutivos deverá ser o maior dos dois tempos seguintes:

- O quociente entre o tempo de imersão mais demorado e o número de posições desse banho, ou
- O tempo de descarga e carga de um bastidor.

3.3.2. RENDIMENTOS TEÓRICO E REAL DA LINHA

Define-se rendimento teórico de uma linha galvânica para uma determinada tarefa como sendo o número máximo de bastidores que teoricamente poderão sair da linha por unidade de tempo. Por exemplo, no caso da linha Stone, como existem 6 posições de um banho electrolítico que, para a tarefa descrita no capítulo 2 tem uma duração de 60 minutos pode-se afirmar que o rendimento teórico será de 6 bastidores por hora. Na prática esse valor não é atingido por várias razões, que serão discutidas.

Pode-se desde já afirmar que a sequência óptima é aquela que mais aproximar o rendimento real da linha deste rendimento teórico.

Uma das restrições que deve ser observada e que diminui o rendimento da linha é a necessidade de respeitar o tempo necessário para descarga e carga de um bastidor, conforme já foi visto.

Outros factores que afastam o rendimento teórico do rendimento real são:

- O tempo gasto pela torre nas deslocações entre tanques;
- Observância das tolerâncias de tempo impostas aos valores do tempo de imersão em cada banho;
- Imposições do critério de carga dos tanques electrolíticos.

Destes 2 últimos pontos falamos nos parágrafos seguintes.

3.4. TOLERÂNCIAS DE TEMPOS NOS BANHOS: CRITÉRIOS

Ao ser caracterizada a linha galvânica no capítulo 2, já ficou claro como o tempo que os futuros circuitos impressos estão mergulhados em certos banhos é crítico para a qualidade final do produto.

O caso mais típico é a operação realizada no tanque 4 (ver Quadro 2.1), em que é realizada uma desoxidação. O tempo de 30 segundos para este banho é um tempo crítico. A velocidade da reacção química aí realizada cresce exponencialmente com o tempo, o que significa que mais 10 segundos de permanência nesse banho estragam por completo as placas carregadas nesse bastidor. Resulta deste facto que a tolerância imposta a este banho seja nula.

No caso dos banhos electrolíticos, normalmente são estabelecidas tolerâncias proporcionais às tolerâncias especificadas para as espessuras dos materiais depositados. Por exemplo no caso dos circuitos impressos, os 35 micron de espessura do cobre têm uma tolerância de + 1 micron. Isto significa que o banho de 60 minutos previsto para esta operação terá no máximo a duração de 61,7 minutos.

Em relação aos tanques em que se processam lavagens com água as tolerâncias são muito grandes, pois uma estadia exageradamente longa num tanque de água em nada altera a qualidade do produto.

Através destes 3 exemplos da linha da Stone, fica então estabelecido que uma operação em qualquer tanque de uma linha galvânica é sempre caracterizada por 2 valores: o tempo de imersão no banho e a tolerância que pode existir em torno desse valor.

Na grande maioria dos casos conhecidos as tolerâncias variam desde o valor zero até valores que ultrapassam o tempo de imersão previsto (caso dos tanques com água). As operações com tolerâncias zero são chamadas operações críticas.

Para calcular o número máximo de bastidores presentes simultaneamente na linha, no caso da linha da fábrica Stone, procede-se da seguinte forma: - se os bastidores estiverem a entrar na linha em intervalos regulares de 10 minutos, quando o primeiro bastidor sair da linha, ao fim de um tempo estimado em 94 minutos (como será visto no capítulo 5 em que são apresentados resultados), terão entrado na linha 9 bastidores. Como a posição de carga e descarga é a mesma, o 10º bastidor será o 1º que entretanto foi descarregado e voltou a ser carregado.

Generalizando, em qualquer situação o número máximo de bastidores que uma linha pode simultaneamente conter é igual ao maior número inteiro contido no quociente entre o tempo

de saída do 1º bastidor e o intervalo de entrada de 2 bastidores consecutivos.

Se as tolerâncias forem muito apertadas, o mais provável é que a torre não consiga "atender" a todos os bastidores presentes na linha. Daí a necessidade de estabelecer critérios que determinem qual o bastidor que será atendido em 1º lugar. Dois critérios são estabelecidos.

O primeiro diz respeito ao intervalo de tempo de entrada de dois bastidores consecutivos na linha. Este tempo deve ser aumentado sempre que o intervalo de tempo que medeia entre duas operações consecutivas for inferior à soma do tempo de deslocação da torre para a operação seguinte com a tolerância dessa mesma operação.

A primeira consequência da aplicação deste critério é que o número de bastidores simultaneamente presentes na linha vai diminuir, permitindo assim à torre cumprir melhor as tolerâncias impostas.

O segundo critério diz respeito às operações críticas. Se uma operação tem tolerância zero a torre não deve sair desse tanque, se a operação seguinte (incluído o tempo de deslocação da torre) tiver uma duração maior do que o tempo de imersão nesse banho crítico. Isto é, se o tempo da operação seguinte somado ao tempo de retorno da torre ao banho crítico for superior, então esta deve ficar no tanque

em causa, e deve ser trocada a ordem das operações: primeiro remove-se o bastidor do tanque crítico e depois realiza-se a operação seguinte.

3.5. CRITÉRIO DE CARGA DOS TANQUES ELECTROLÍTICOS

Não é só para aumentar a capacidade de produção de uma linha que muitas vezes existe mais do que um tanque electrolítico onde se realiza a mesma operação. Isto ficou claramente entendido quando no capítulo 2 foram caracterizados os banhos electrolíticos da linha galvânica da fábrica Stone.

O modo como estes tanques electrolíticos vão ser carregados, deve ser determinado pelo planeamento da produção. Este é que determina a tarefa a realizar. Contudo esta indicação vai ser determinante no estabelecimento da sequência de viagens da torre.

O Quadro 3.1 mostra a carga dos tanques electrolíticos da linha da Stone de um modo alternado. É claramente evidenciado pela análise deste quadro que os bastidores de ordem par ficam sempre colocados no tanque 2, enquanto os bastidores de ordem impar ficam sempre no tanque 1.

Este critério de carga dos tanques electrolíticos permite a produção simultânea de dois tipos diferentes de circuitos impressos. Basta para tal que na carga os bastidores sejam carregados alternadamente com um e outro tipo de circuitos impressos.

Carga Alternada dos Tanques Electrolíticos

TEMPO	TANQUE 1	TANQUE 2
t0	1	
t1	1	2
t2	1 3	2
t3	1 3	2 4
t4	1 3 5	2 4
t5	1 3 5	2 4 6
t6	3 5	2 4 6
t7	7 3 5	2 4 6
t8	7 3 5	4 6
t9	7 3 5	8 4 6
...

NOTA:

Os números nos quadros representam os números de ordem dos bastidores.

QUADRO 3.1

Quando tal não seja necessário pode ser utilizado o critério de carga sequencial dos tanques conforme mostra o Quadro 3.2. A principal vantagem deste procedimento é permitir um arranque mais rápido da linha no início de um dia de trabalho.

De facto, no início de uma actividade com a linha, é necessário que sejam realizadas análises químicas aos banhos electrolíticos. Logo que é feita a análise ao primeiro tanque, a linha pode arrancar, e entretanto vai ser realizada a análise ao segundo banho. Neste procedimento pode ser poupada cerca de meia hora, o que se pode traduzir em mais 1 ou 2 bastidores por dia. Em termos de facturação, esta economia de tempo poderá significar ao fim de um ano cerca de 10000 contos.

Carga Sequencial dos Tanques Electrolíticos

TEMPO	TANQUE 1	TANQUE 2
t0	1	
t1	1 2	
t2	1 2 3	
t3	1 2 3	4
t4	1 2 3	4 5
t5	1 2 3	4 5 6
t6	2 3	4 5 6
t7	7 2 3	4 5 6
t8	7 3	4 5 6
t9	7 8 3	4 5 6
...

NOTA:

Os números nos quadros
representam os números de
ordem dos bastidores.

QUADRO 3.2

3.6. METODOLOGIA PARA O ESTABELECIMENTO DA SEQUÊNCIA ÓPTIMA

Estabelecidas que foram as "regras do jogo", resta saber como conseguir a "Sequência Ótima". É a resposta à última pergunta colocada no início deste capítulo.

Reconhecido que foi o problema, e estabelecidos os critérios, a etapa seguinte é o projecto conceptual no qual é desenvolvida a estratégia para a solução do problema. Em face dos parâmetros a ter em conta, para tentar cumprir os objectivos de critérios aparentemente opostos, não é possível a análise adequada do problema pelas técnicas matemáticas conhecidas. Esta razão levou-nos à utilização de técnicas de Simulação. Este problema, enquanto problema de Sequenciação, é um problema tipicamente de Simulação [4].

No que se segue, Simulação é entendida, de acordo com Shannon [5], como o processo de criação de um modelo abstracto de um sistema real com o qual se realizam experiências, com o objectivo tanto de permitir uma compreensão do comportamento do sistema real, como avaliar diferentes estratégias (dentro dos limites impostos por um critério ou conjunto de critérios) para o funcionamento do sistema.

De facto a Simulação além de providenciar uma descrição do comportamento do sistema na sua evolução ao longo de um período de tempo determinado, também fornece um

"laboratório" para estudar diferentes soluções, sem o custo da sua construção ou sem a modificação do sistema real.

O método básico de Simulação é facilmente compreensível e de simples aplicação. Contudo, o passo mais crítico num estudo de Simulação é o desenvolvimento do modelo. O modelo é uma representação aproximada do sistema real, sendo impossível a sua representação completa. Ao construirmos um modelo abstracto estamos sempre a fazer uma simplificação da realidade.

A fiabilidade das conclusões retiradas de um estudo de Simulação depende da fiabilidade do modelo criado. Até que ponto este é representativo da realidade? Payne [4] estabelece critérios que permitem "medir" até que ponto o modelo criado é representativo ou não da realidade.

No caso concreto em estudo da sequenciação de bastidores ao longo de uma linha galvânica, o problema não requer, segundo Payne [4], qualquer teoria ou qualquer notação matemática especial. São necessárias somente uma aritmética simples e relações lógicas para a criação do modelo abstracto.

A metodologia seguida para criação do modelo que representa a situação real de uma linha galvânica foi procurar partir daquilo que já existe. Aquilo que existe actualmente é uma tabela em que os tempos das operações de entrada e saída dos

bastidores nos sucessivos tanques vão sendo registados pelo operador. É mostrada uma dessas tabelas na figura 3.2.

O programa que foi desenvolvido funciona com base numa tabela de tempos semelhante à existente.

Em primeiro lugar são especificadas as características físicas da linha galvânica e as características da tarefa a realizar. A partir destas características é gerado um quadro de tempos semelhante ao existente. Esse quadro é construído tendo em conta as limitações da linha (velocidades de deslocamentos da torre, etc.) e atendendo aos critérios definidos nos parágrafos anteriores deste capítulo.

Em seguida, tendo por base esse quadro de tempos, é criada uma base de dados em que o primeiro campo de cada registo é um tempo de saída de um bastidor de um dado tanque. Os outros campos contêm informação importante para a caracterização da operação. É então realizada uma ordenação "inteligente" destes registos pelos tempos. Procura ordenar-se por ordem crescente os tempos em que os bastidores presentes na linha devem sair dos tanques. Chama-se a esta ordenação "inteligente" porque, dentro dos critérios definidos para as tolerâncias dos tempos de imersão, a ordem das operações nem sempre é a estabelecida pelo quadro de tempos; mas este é que vai sendo actualizado, durante a própria ordenação. Na verdade ao fazer-se esta ordenação

está ser simulada a evolução da torre ao longo do um ciclo de tarefa.

É assim criada uma tabela das operações ordenadas por ordem crescente dos instantes em que estas devem ser realizadas. A "Sequência Ótima" é o resultado desta ordenação das operações pelos tempos.

LINHA ELECTROLITICA

CLIENTE : GRUNDIGREF: 554

P.F. Nº _____

OPERADOR : SilvaDATA : 07 / 09 /

BAST	PA/BA	CORRENTES		1022 (10')		748 (10")		Cu I (60)		Cu II (60)		Sn/I (10)
		COBRE	SN/Pb	E	S	E	S	E	S	E	S	E
1	6	330	1,80	1330	1335					1402	1502	1289
2				1340	1345					1412	1512	1299
3				1350	1401			1432	1532		15	1289
4				1410	1415			1442	1542			1280
5				1421	1426			1452	1552			1280
6				1430	1435					1482	1582	1280
7				1440	1445					1512	1612	1280
8				1457	1502			1522	1622			1280
9				1510	1510			1542	1642			1280
10				1520	1520			1552	1652			1280
1				1535	1535					1622	1722	1280
2				1545	1550					1632	1732	1280
3				1550	1551			1632	1732			1280
4				1612	1612			1652	1752			1280
5				1622	1622			1652	1752			1280
6				1635	1635					1702	1802	1280
7				1645	1645					1712	1812	1280
8				1650	1652			1732	1832			1280
9				166	166			1742	1842			1280
10				166	166			1752	1852			1280
1				1683	1684					1802	1902	1280
2				1690	1692					1812	1912	1280
3				1702	1702			1812	1912			1280
4				1712	1712			1852	1952			1280
5				1721	1724			1852	1952			1280

Figura 3.2 Registo manual dos tempos

3.7. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi estudado o problema da Sequenciação em linhas galvânicas.

Procurou definir-se o ciclo de uma tarefa, na qual se identificam 3 fases distintas: a fase de carga, a fase de regime permanente e a fase de descarga.

Apresentou-se um critério de carga para optimização do rendimento da linha. Isto é, procura maximizar-se o número de bastidores que sai da linha por unidade de tempo.

Pela necessidade de observar tolerâncias nos tempos de imersão em certos banhos chamados críticos, foram definidos critérios que estabelecem prioridades nas operações com tempos muito próximos.

Para tornar possível a produção simultânea de peças diferentes foi ainda estabelecido um critério de carga dos tanques electrolíticos.

Ao longo do capítulo, à medida que os critérios foram definidos, procurou fazer-se uma generalização identificando quais os parâmetros envolvidos em cada critério e que mudam de linha para linha e de tarefa para tarefa.

Por último foi apresentada a metodologia que nos conduz à "Sequência Óptima", como resultado da construção de uma tabela de tempos que é actualizada.

No próximo capítulo é apresentada uma descrição do programa que implementa a estratégia definida no parágrafo 3.6. É feita uma descrição de cada um dos módulos que compõem este programa.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o programa desenvolvido que realiza a pesquisa automática da "Sequência Ótima" em linhas galvânicas. No esquema da figura 4.1 está apresentada a estrutura do programa.

O programa é composto por diferentes módulos. O primeiro módulo aceita de um utilizador, através do teclado, as características da linha utilizada e as características da tarefa que vai ser realizada. São criados 2 ficheiros com extensão .DBF (Data Base File) onde são armazenados estes dados.

O segundo módulo gera, a partir dos dados contidos nestes ficheiros, um quadro de tempos onde são registados os momentos de entrada e saída de cada um dos bastidores em todos os tanques da linha. Ao ser construído este quadro, é tido em conta o critério de carga da linha (intervalo de tempo entre a carga de 2 bastidores consecutivos), o critério de carga dos tanques electrolíticos (carga



alternada ou sequencial destes tanques) e ainda a velocidade de deslocação da torre ao longo da linha. Foi construído um modelo para simular os tempos de deslocação da torre, conforme a explicação que neste capítulo é realizada.

O terceiro módulo cria, a partir deste quadro de tempos um outro ficheiro (também de extensão .DBF) em que os tempos de saída dos bastidores dos diferentes tanques são ordenados de modo a ser estabelecida uma sequência das operações. O primeiro campo de cada registo deste novo ficheiro é um instante de saída dum bastidor de um dado tanque. Os outros campos de cada registo contêm a informação necessária para que a torre transportadora conheça as posições origem e destino da deslocação que num dado instante deve realizar. Cada um destes campos tem uma função específica que será discutida mais adiante.

Ainda neste terceiro módulo procede-se à ordenação por ordem crescente dos tempos das operações. Esta ordenação é feita de um modo "inteligente". Isto é, o programa não se limita a ordenar por ordem crescente dos tempos, mas em certos casos altera a ordem das operações para poder atender aos critérios definidos para as tolerâncias dos tempos de imersão. O resultado desta ordenação das operações pelos tempos (dentro dos limites impostos pelos critérios) conduz-nos à sequência óptima.

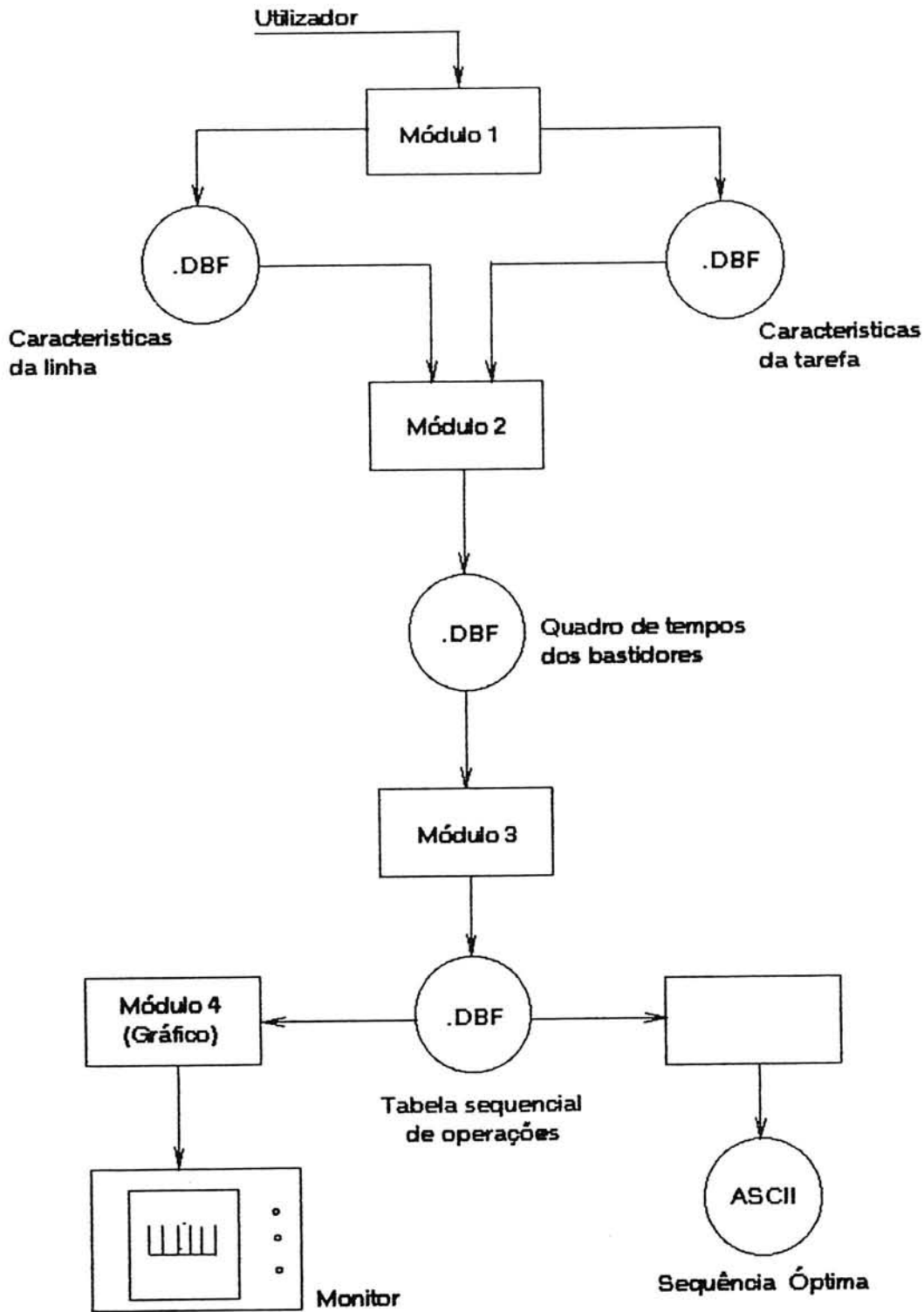


Figura 4.1

O quarto módulo permite visualizar no monitor a linha galvânica em estudo (toda a fila de tanques), e realiza uma animação da torre nos seus movimentos de transporte de bastidores por obediência à sequência estabelecida. Os bastidores são identificados pelo número de ordem da sua entrada na linha. É possível visualizar os movimentos de avanço e recuo da torre, bem como subida e descida para transporte dos bastidores.

Este programa foi desenvolvido de modo a poder ser utilizado não só para a linha galvânica da Stone mas para qualquer linha. Para tal todas as características específicas da linha foram transformadas em variáveis que tomam valores próprios para cada caso em particular.

4.1.1. A LINGUAGEM CLIPPER

O programa apresentado foi desenvolvido na linguagem de programação Clipper [6] [7]. Esta linguagem é uma linguagem de alto nível, poderosa e muito flexível. Possui uma "arquitetura aberta" que possibilita o uso de funções e rotinas escritas em outras linguagens desenvolvidas pelo utilizador.

O Clipper foi escrito em "C", o que se nota nitidamente na sua concepção e na sua funcionalidade. A sua estrutura de

controle é familiar para programadores de "C" e será fácil utilizá-la. Por exemplo a estrutura "DO CASE" é análoga ao "Switch Break", e é muito mais flexível do que esta. Como em "C" o Clipper oferece grande controle sobre a abrangência de variáveis, com variáveis globais e locais. As variáveis em Clipper podem ser declaradas "PUBLIC" ou "PRIVATE", ou podem ser utilizadas sem declaração.

Outra característica inerente a "C" é a sua modularidade. Os programas em Clipper também podem ser escritos de forma completamente modular.

A linguagem Clipper é uma linguagem marcadamente geradora de bases de dados e possui um vasto conjunto de rotinas para manipulação de ficheiros, muito fáceis de utilizar. Quase todo o trabalho árduo de programação é executado directamente por rotinas de alto nível, ficando ao utilizador a estruturação dos algoritmos a implementar.

A grande maioria dos ficheiros desenvolvidos pelo Clipper são compatíveis com o programa DBASE (e vice-versa)[6], o que significa que ficheiros desenvolvidos por programas Clipper podem ser facilmente analisados ou manipulados por um não especialista. Por isso, torna-se desnecessário o desenvolvimento de rotinas especiais para manipulação dos ficheiros criados.

Esta talvez tenha sido a principal razão que levou à escolha desta linguagem para o desenvolvimento deste trabalho. Numa empresa muitas pessoas poderão querer aceder aos ficheiros criados pelo programa e qualquer computador pessoal poderá ter num directório o DBase.

Outra razão que levou à escolha da linguagem Clipper foi o facto de, quando se desenvolveu a estratégia para o estabelecimento da sequência óptima, termos verificado a necessidade da utilização intensiva de ficheiros.

Resta referir, nesta breve apresentação da linguagem, que o Clipper é compilado. Isto significa que o seu tempo de execução é mais rápido e que o código fonte do programa (de extensão .PRG) fica protegido.

Para este trabalho a grande limitação desta linguagem prende-se com o último módulo de programação em que são simulados no monitor os movimentos da torre transportadora. Como a sua vocação é a manipulação de ficheiros, a "animação" da imagem tornou-se um procedimento bastante pesado.

4.2. MÓDULO 1: AQUISIÇÃO DE DADOS

Neste primeiro módulo são pedidos pelo programa, a um operador, as características da linha e as características da tarefa que vai ser executada.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DA LINHA

São pedidos os seguintes parâmetros:

- Número de tanques. Do ponto de vista da programação cada posição de um banho é considerada como um tanque independente. Se um tanque tem 3 posições, vai dar origem a 3 registos distintos.
- Identificação dos tanques (ou posições) onde são realizadas cada uma das operações electrolíticas.
- Tempo de subida da torre, para saída de um bastidor. Este tempo como todos os respeitantes à deslocação da torre são dados em segundos.
- Tempo de descida da torre, para imersão de um bastidor num banho.
- Tempo de avanço (ou recuo) da torre entre 2 tanques consecutivos.
- Tempo de avanço da torre entre tanques não contíguos.

Com os tempos dados para as diferentes deslocações da torre é criado um modelo como o estabelecido na figura 4.2. Considera-se que quando a torre se desloca entre tanques que não estão contíguos, o tempo de passagem pelos tanques intermédios é menor, visto não haver nem arranque nem paragem. Na figura 4.2 são mostradas as diferentes situações possíveis. Os números na figura representam os tempos entre tanques consecutivos, medidos em segundos. Estes tempos devem ser cronometrados para uma determinada linha e fornecidos a este primeiro módulo do programa. Conforme a inércia da torre, é possível ter de um até quatro valores diferentes para estes tempos, conforme é mostrado na figura 4.2.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS DA TAREFA

Para que a tarefa seja plenamente definida o programa pede ao utilizador 2 tipos de dados: os dados que são relativos à tarefa na linha e os dados que são intrínsecos ao produto que está a ser fabricado. No caso da linha Stone os últimos são os dados que caracterizam um dado circuito impresso.

O Quadro 4.1 mostra a informação necessária à caracterização dos circuitos impressos que são produzidos na Stone. Encontra-se de um ficheiro com extensão .DBF.

MODELAÇÃO DOS MOVIMENTOS DA TORRE

N° de tanques que avança	TEMPOS (em segundos)
1	<u>10</u>
2	<u>10</u> <u>10</u>
3	<u>10</u> <u>7</u> <u>10</u>
4	<u>10</u> <u>7</u> <u>7</u> <u>10</u>
5	<u>10</u> <u>7</u> <u>5</u> <u>7</u> <u>10</u>
...	
...	
n	<u>10</u> <u>7</u> <u>5</u> ... <u>5</u> <u>7</u> <u>10</u> ou <u>10</u> <u>7</u> <u>5</u> <u>3</u> ... <u>3</u> <u>5</u> <u>7</u> <u>10</u>

Figura 4.2

Quando se inicia a caracterização da tarefa é pedido o tipo de placa a fabricar. Isto é, é pedido o conteúdo do primeiro campo (TIPOP) da base de dados do quadro 4.1. Se esta base de dados não existir (como acontece na primeira vez que o programa é instalado numa fábrica), então o próprio programa gera esta base de dados e cria o primeiro registo com os dados do primeiro tipo de placa a ser fabricado. Estes são pedidos ao operador.

Se o ficheiro já existe o programa procura o registo do tipo de placa e carrega para as variáveis do programa os dados contidos nos diferentes campos.

Se por acaso se tratar de uma placa nova, cujo registo ainda não exista, então o programa vai pedir ao operador os dados relativos a essa nova placa e vai acrescentar à base de dados um registo carregando os campos com os dados digitados.

Assim esta base de dados é uma tabela de todos os tipos de produtos fabricados, que está continuamente actualizada.

O primeiro campo (TIPOP) serve, simplesmente para identificar a placa. Por uma questão de simplicidade representam-se por ordem numérica crescente da sua primeira fabricação.

CARACTERIZAÇÃO DA TARETA

TABELA COM CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS
DE CIRCUITOS IMPRESSOS

TIPOP	ICU	ISN	AREA	CTCU	CTSN
.001	3	2	10	180	20
.002
...

QUADRO 4.1

O segundo campo (ICU) contém o valor da intensidade de corrente em Ampère/dm² que deve ser utilizado nos tanques de cobre electrolítico para este tipo de placa.

O terceiro campo (ISN) contém o valor da intensidade de corrente, também em Ampère/dm² que deve ser utilizado no tanque onde é depositada a liga de estanho/chumbo.

O quarto campo (ÁREA) contém o valor da área (em dm²) de cobre a metalizar, nessa placa.

O quinto campo (CTCU) contém uma constante característica de cada placa, que vai determinar a espessura do cobre depositado.

O sexto campo (CTSN) contém uma constante que caracteriza a espessura da liga de estanho/chumbo que vai ser depositada.

Outros campos poderão ser aumentados nesta base de dados quando da sua implementação numa fábrica. Por exemplo, o nome do cliente que encomenda esta placa e a data da última fabricação. Os campos aqui apresentados são apenas aqueles considerados necessários para obtenção da sequência óptima.

Caso tenham sido definidas várias posições para a mesma operação electrolítica, continuando a caracterizar a tarefa, é perguntado ao operador se a carga dessas posições deve ser alternada ou sequencial, conforme o critério apresentado no parágrafo 3.5 (ver Quadros 3.1 e 3.2) no capítulo anterior.

Dada essa informação é criada uma outra base de dados idêntica à apresentada no Quadro 4.2. É também um ficheiro com extensão .DBF a que chamamos Caracterização da Linha. É nesta base de dados que registamos as características da linha e é nela que "preparamos" a linha para a fabricação do produto já especificado (no caso da Stone circuitos impressos).

Os registos desta base de dados contêm 4 campos. O primeiro campo (TANK) identifica cada uma das posições onde pode estar um bastidor. O exemplo apresentado no quadro 4.2 diz respeito à simulação de uma tarefa realizada na linha galvânica da Stone. Como existem 14 tanques, sendo que 3 deles têm 3 posições (ver Quadro 2.1 do capítulo 2), o programa criou esta base de dados com 21 registos. O primeiro registo que tem neste campo o número 0 (zero), indica a posição de carga e descarga no início da linha. Não sendo uma posição dentro de um tanque, é contudo uma posição da linha sobre a qual é necessário conhecer se em determinado instante, ela está ocupada ou não.

O segundo campo contém o tempo de imersão em cada banho. É o intervalo de tempo (em minutos) que um bastidor deve permanecer nesse tanque. Como é óbvio para o registo relativo à posição de carga, este campo bem como todos os outros que se seguem devem permanecer em branco.

CARACTERIZAÇÃO DA LINHA GALVÂNICA

TANK	TEMPO DE IMERSÃO	TOLER	TTANK
0			
1	4,5	2	
2	2	2	
3	1	2	
4	0,5	0	
5	1	1	
6	1	2	
7	60	1	C
8	60	1	C
9	60	1	C
10	60	1	C
11	60	1	C
12	60	1	C
13	1	2	
14	1	2	
15	1	2	
16	10	1	S
17	10	1	S
18	10	1	S
19	1	2	
20	1	2	

QUADRO 4.2

Nos registos relativos a operações electrolíticas, este campo (TEMPO DE IMERSÃO) é automaticamente carregado pois a duração dos banhos electrolíticos é função da intensidade de corrente desses banhos e da espessura de metal que se pretende obter. Ora estes valores já foram fornecidos anteriormente ao programa, seja pelo operador, seja por consulta à base de dados que contém as características da peça em fabricação (Quadro 4.1).

Os registos relativos a operações electrolíticas são identificados pelo quarto campo (TTANK), onde é identificada por uma letra o tipo de banho electrolítico. Assim, nos registos relativos às posições de cobre surgiu automaticamente a letra C e nos registo relativos às posições de estanho surgiu a letra S.

O terceiro campo (TOLER) contém a tolerância nesse tanque. É o valor de tempo (em minutos) que um bastidor pode estar no banho além do valor nominal registado no campo anterior.

Nesta fase do processamento, depois de criada esta base de dados é facultada ao operador a possibilidade de carregar todos os campos que não foram automaticamente ocupados, ou seja, os tempos de imersão em cada tanque não electrolítico e o valor da tolerância em cada tanque. É dada também a possibilidade de num caso especial se alterarem os valores que foram automaticamente calculados.

4.2.3. INTERVALO DE CARGA DE BASTIDORES

O último processamento realizado neste primeiro módulo é o cálculo do intervalo de tempo que medeia entre a carga de 2 bastidores consecutivos e que vai otimizar a produção da linha. É a aplicação do critério de carga da linha apresentado no parágrafo 3.3 do capítulo anterior.

Depois de calculado, esse valor é apresentado ao operador num monitor. Este por sua vez pode alterar este intervalo de tempo para um valor maior, caso entenda que o intervalo de tempo calculado não é suficiente para o operador de linha proceder à descarga e carga de um bastidor.

Com um pedido de confirmação dos dados até agora introduzidos, termina o primeiro módulo deste programa.

4.3. MÓDULO 2: CRIAÇÃO DO QUADRO DE TEMPOS

Este segundo módulo do programa vai criar um ficheiro (de extensão .DBF) com base nos dados fornecidos ao programa durante o primeiro módulo. É criado um modelo do quadro existente actualmente na empresa. É uma tabela que contém os tempos de entradas e saídas dos bastidores nos tanques. O Quadro 4.3 representa o ficheiro criado para uma tarefa realizada na linha galvânica da Stone.

Cada registo contém os instantes em que um bastidor deve entrar e sair de cada tanque ao longo da linha.

O primeiro campo (BAST) identifica o bastidor por ordem crescente da sua entrada na linha.

O segundo campo (TOOUT - leia-se: "saída do tanque zero") é onde se regista o instante em que cada bastidor deve sair da posição de carga. Para o primeiro bastidor, este instante é 0 (zero), o que significa o início da tarefa.

O campo T1IN (leia-se: "entrada no tanque 1") é onde se regista o momento em que cada bastidor entra no primeiro tanque. Este instante é calculado somando ao instante de saída da carga o tempo de subida, o avanço e descida da torre. É calculado o valor correspondente ao momento da saída do bastidor deste tanque.

QUADRO DE TEMPOS

Tabela de entradas e saídas dos bastidores nos tanques

(continua)

BAST	T00UT	T11IN	T11OUT	T21IN	T21OUT	T31IN	T31OUT	T41IN	T41OUT	T51IN	T51OUT	T61IN	T61OUT	T71IN	T71OUT	T81IN	T81OUT	T91IN	T91OUT	T101IN	T101OUT	T111IN	T111OUT	T121IN	T121OUT	T131IN		
1	0,0	0,5	5,0	7,5	8,0	9,0	10,5	11,5	12,0	13,0	13,5	73,5															74,6	
2	11,0	11,5	16,0	18,5	19,0	20,0	21,5	22,5	23,0	24,0											24,9	84,9					85,7	
3	22,0	22,5	27,0	29,5	30,0	31,0	32,5	33,5	34,0	35,0																	96,6	
4	33,0	33,5	38,0	40,5	41,0	42,0	43,5	44,5	45,0	46,0																	107,6	
5	44,0	44,5	49,0	49,5	51,5	52,0	53,0	54,0	55,5	56,0	57,0																118,6	
6	56,9	57,4	61,9	62,4	64,4	64,9	65,9	66,4	66,9	67,4	68,4	68,9	69,9														131,4	
7	69,9	70,4	74,9	75,4	77,4	77,9	78,9	79,4	79,9	80,4	81,4	81,9	82,9	83,4	143,4									71,0	130,9		144,4	
8	82,9	83,4	87,9	88,4	90,4	90,9	91,9	92,4	92,9	93,4	94,4	94,9	95,9														157,5	
9	95,7	96,2	100,7	101,2	103,2	103,7	104,7	105,2	105,7	106,2	107,2	107,7	108,7														170,3	
10	107,0	107,5	112,0	112,5	114,5	115,0	116,0	116,5	117,0	117,5	118,5	119,0	120,0														181,6	
11	118,0	118,5	123,0	123,5	125,5	126,0	127,0	127,5	128,0	128,5	129,5	130,0	131,0														192,6	

(continuação)

BAST	T130UT	T141IN	T141OUT	T151IN	T151OUT	T161IN	T161OUT	T171IN	T171OUT	T181IN	T181OUT	T191IN	T191OUT	T201IN	T201OUT	ID
1	75,6	76,1	77,1	77,6	78,6	79,0	89,0	90,3	100,2	101,4	111,3	111,8	112,8	113,3	114,3	94,4
2	86,7	87,2	88,2	88,7	89,7											105,6
3	97,7	98,2	99,2	99,7	100,7											116,5
4	108,6	109,1	110,1	110,6	111,6	112,1	122,1	123,3	133,2	136,2	146,1	133,9	134,9	135,4	136,4	127,5
5	119,6	120,1	121,1	121,6	122,6											138,6
6	132,4	132,9	133,9	134,4	135,4											151,3
7	145,4	145,9	146,9	147,4	148,4	148,9	158,9	162,2	172,1	175,1	185,0	146,6	147,6	148,1	149,1	164,3
8	158,5	159,0	160,0	160,5	161,5											177,5
9	171,3	171,8	172,8	173,3	174,3	186,1	196,1	197,3	207,2	207,9	208,9	172,8	173,8	174,3	175,3	190,2
10	182,6	183,1	184,1	184,6	185,6	186,1	196,1	197,3	207,2	207,9	208,9	185,5	186,5	187,0	188,0	201,5
11	193,6	194,1	195,1	195,6	196,6											212,6

QUADRO 4.3

Este valor é registado no campo seguinte T10 (leia-se: "saída do tanque 1"), e é calculado somando o tempo de imersão para esse tanque, que é fornecido pela base de dados que caracteriza a linha.

Todos os campos seguintes têm significado idêntico aos descritos até agora. O penúltimo campo regista o tempo de saída do último banho e finalmente o último campo (TD) regista o instante em que o bastidor é colocado novamente no início da linha para ser descarregado. Este tempo é calculado somando ao instante de saída do último tanque o tempo de viagem da torre ao longo de toda a linha.

4.3.1. IMPLEMENTAÇÃO DA CARGA ALTERNADA DOS TANQUES ELECTROLÍTICOS

No Quadro 4.3 é evidenciada a aplicação do critério de alternância na carga dos tanques electrolíticos. As posições 7, 8 e 9 dizem respeito ao primeiro tanque de cobre electrolítico. As posições 10, 11 e 12 dizem respeito ao segundo tanque onde se realiza a mesma operação electrolítica.

Observe-se que o primeiro bastidor vai ocupar a primeira posição do primeiro tanque (posição 7). Terminada a operação neste banho, ele é colocado na posição número 13.

O segundo bastidor vai ocupar a quarta posição (ou seja, a primeira posição do segundo tanque de cobre electrolítico). Depois avança de igual modo para a posição 13, que entretanto já ficou vaga em relação ao primeiro bastidor.

O terceiro bastidor vai ocupar a segunda posição do primeiro tanque electrolítico (posição 8). E, assim acontece sucessivamente. No Quadro 4.3 vê-se claramente a aplicação deste critério de alternância.

4.3.2. CRIAÇÃO DE NOVOS REGISTOS

Outra questão muito importante que se coloca em relação a esta base de dados é a de saber quantos registos deverá ter. Este número deverá ser igual número igual ao de bastidores preparados para essa tarefa.

O problema que surge, porém, é que este número muitas vezes não é conhecido à partida. É lógico que a sequência de deslocações da torre dependa do número de bastidores na linha, conforme já foi referido no capítulo 3 quando foi estabelecido o conceito de o ciclo de uma tarefa.

Para ultrapassar esta questão o segundo módulo do programa prevê dois comportamentos distintos:

O primeiro é ir gerando sempre novos registos relativos a novos bastidores, até que uma indicação é dada pelo teclado identificando o último bastidor. Para tal é digitada uma tecla de função. Nesse instante é interrompida a entrada de novos bastidores. Por outras palavras, é interrompida a criação de novos registos e o processamento continua criando a base de dados até que o último bastidor que entrou na linha saia do último tanque e seja colocado na posição de descarga. Esta é a simulação de uma situação real.

Um segundo comportamento previsto neste módulo é a realização de um ciclo de tarefa completo. No caso anterior a geração de novos registos poderia ser interrompida mesmo antes de ser atingido o número máximo de bastidores na linha. Isto significa que não seria atingida a fase de regime permanente. Seria o caso de uma tarefa realizada para uma pequena produção.

Este segundo comportamento do programa interrompe a geração de novos registos no momento em que o primeiro bastidor termina a sua tarefa, garantindo assim que foi atingida a fase de regime permanente.

4.3.3.MODO DE CONSTRUÇÃO DO QUADRO DE TEMPOS

O quadro de tempos dos bastidores é criado simultaneamente na horizontal e na vertical. Ao iniciar-se o cálculo dos tempos do primeiro bastidor (na horizontal), é calculado o instante da entrada do segundo bastidor (valor fornecido pelo primeiro módulo de programação). Depois vão sendo calculados todos os instantes de entrada e saída do primeiro bastidor dos sucessivos tanques, até que se encontra um valor superior ao tempo de entrada do segundo bastidor na linha. O processamento pára a construção do quadro na horizontal e continua o cálculo na vertical. Assim, o quadro vai crescendo simultaneamente nas 2 direcções até que toda a base de dados é completada.

O módulo termina com a conclusão da construção deste quadro de tempos dos bastidores, que é guardado num ficheiro de extensão .DBF.

4.4. MÓDULO 3: ORDENAÇÃO DAS OPERAÇÕES

A base de dados criada no módulo anterior vai dar origem a uma tabela que, depois de ordenada por ordem crescente dos termos nos conduz à obtenção da sequência óptima. Esta nova base de dados constitui uma Tabela Sequencial de Operações. No Quadro 4.4 apresenta-se a parte inicial desta tabela relativa a uma tarefa realizada na linha Stone.

Sempre que um bastidor é removido de um tanque, inicia-se uma operação que só é concluída com a sua imersão no tanque seguinte. Daí o que determina o início das acções da torre, são os tempos de saída dos bastidores dos tanques. No primeiro campo (TEMPO) desta nova base de dados estão registados os instantes de saída dos bastidores de um dado tanque.

Os outros campos contêm informação necessária à execução da operação e à implementação das prioridades estabelecidas pelos critérios e pelas tolerâncias.

No segundo campo (TN_OUT) de cada registo é guardado o número do tanque de onde vai ser retirado o bastidor. No terceiro campo (TN_IN) é guardado o número do tanque para onde deve o bastidor ser transportado. Através destes 2 campos fica perfeitamente definida a operação que a torre deve executar no instante registado no primeiro campo.

TABELA ORDENADA DAS OPERAÇÕES

TEMPO	TN_OUT	TN_IN	BAST	TOLER	TM_LIM	TM_PREV	TM_REAL	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	SD
0,0	0	1	1																										
5,0	1	2	1	2	4,5																								
7,5	2	3	1	2	2																								
9,0	3	4	1	2	1																								
10,0	4	5	1	0	0,5																								
11,0	0	1	2	2																									
11,5	5	6	1	1	1																								
13,0	6	7	1	2	1																								
16,0	1	2	2	2	4,5																								
18,5	2	3	2	2	2																								
20,0	3	4	2	2	1																								
21,0	4	5	2	0	0,5																								
22,0	0	1	3	2																									
22,5	5	6	2	1	1																								
24,0	6	10	2	2	1																								
27,0	1	2	3	2	4,5																								
...																								
...																								
...																								

QUADRO 4.4

O quarto campo (BAST) contém o número de ordem do bastidor em relação ao qual a torre efectua a operação.

O quinto campo (TOLER) contém o valor da tolerância em minutos que é atribuída ao tempo de imersão que o bastidor deve permanecer nesse tanque. Este tempo por sua vez está contido no sexto campo.

Esta informação é necessária para que sejam implementados os critérios relativos às tolerâncias de tempos nos banhos. Estes critérios poderão impôr a troca da ordem de execução de 2 operações. Traduz-se isso trocando o conteúdo dos registos relativos a essas operações.

Os campos 7 e 8, respectivamente TM_PREV (tempo previsto) e TM_REAL (tempo real), tem a ver com a possibilidade de o programa funcionar em tempo real em paralelo com a torre.

No sétimo campo (TM_PREV) é guardado o momento calculado por simulação para execução da operação. No oitavo campo (TM_REAL) é registada a hora em que essa operação foi efectivamente realizada pela torre, quando o programa estiver a funcionar em tempo real controlando directamente o autómato. Este registo tem muito valor para o controlo de qualidade conforme já foi explicado. Nele ficam registadas quaisquer diferenças em relação ao tempo previsto, que ocorram por funcionamento anormal da linha. Este campo torna possível a indentificação dos bastidores que, por mau

funcionamento da linha tenham ultrapassado as tolerâncias estabelecidas para um banho qualquer.

Cada registo tem ainda mais 21 campos cujos nomes são: s0, s1, s2, ..., s19 e s20. O conteúdo destes campos indica se determinada posição da linha está ocupada ou desocupada.

O número de registos desta base de dados é igual ao número de operações de saída de bastidores previstos no "Quadro de Tempos dos Bastidores" criado no módulo anterior. Este valor depende obviamente do número de bastidores a serem processados na tarefa que está a ser realizada.

Depois de criada esta base de dados o programa vai ordená-la. O primeiro princípio de ordenação é a ordem crescente dos tempos das operações (valores registados no primeiro campo). Mas esta operação não se limita à ordenação dos tempos. No início de cada operação é analisada a situação da operação seguinte para ver se há conflito segundo os critérios estabelecidos. Através de instruções condicionais os critérios sobre as tolerâncias são implementados. Sempre que acontecer uma situação de conflito a ordem de execução das operações é alterada (trocam-se os registos). A operação seguinte sofre então um atraso. O seu tempo deve ser actualizado, e isto desencadeia uma actualização de tempos em cadeia.

O processo repete-se até que aconteça uma ordenação por ordem de tempos, na qual não tenha havido situações de conflito das tolerâncias.

Quando isto acontece, esta base de dados contém a sequência de operações da torre ordenada por ordem crescente dos tempos. Nos campos 2 (tanque origem) e 3 (tanque destino) está a indicação de cada viagem da torre durante o ciclo de tarefa estabelecido no início.

Este modo de programação termina com a criação de um ficheiro ASCII onde, a partir do conteúdo dos campos 2 e 3 se gera a "Sequência Óptima". Este ficheiro está representado no quadro 4.5.

SEQUENCIA
OPTIMA

Página 01

TANQUES	TANQUES	TANQUES	TANQUES	TANQUES
SAIDA	SAIDA	SAIDA	SAIDA	SAIDA
ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA
0	0	2	10	6
1	1	3	13	10
2	5	4	14	13
3	6	5	1	14
4	8	6	2	15
5	1	12	14	17
0	2	0	15	19
1	3	1	16	15
5	4	7	19	18
6	5	13	15	1
7	0	1	17	2
1	1	2	2	19
2	5	13	3	20
3	6	14	19	2
4	11	15	20	3
5	1	2	3	4
0	2	3	4	20
1	3	15	5	0
5	4	16	20	4
6	5	3	0	5
10	6	4	5	11
1	0	5	6	13
2	1	6	8	0
3	6	7	13	1
4	9	0	0	5
5	1	1	1	6
	2	10	6	8

QUADRO 4.5 – SEQUÊNCIA ÓPTIMA

SEQUENCIA
OPTIMA

Página 02

TANQUES	TANQUES	TANQUES	TANQUES	TANQUES
SAIDA	SAIDA	SAIDA	SAIDA	SAIDA
ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA
8	13	19	13	18
13	14	14	14	19
14	15	15	15	15
15	18	19	19	16
18	19	20	20	19
19	15	15	15	20
15	16	18	17	0
16	1	20	20	9
1	2	0	0	13
2	19	7	8	14
19	20	13	13	15
20	2	14	14	16
2	3	18	17	19
3	20	19	19	15
20	0	14	14	17
0	3	15	15	19
3	4	19	19	20
4	5	20	20	0
5	9	15	15	17
9	13	16	18	19
13	0	20	20	20
0	1	0	0	0
1	5	10	11	
5	6	13	13	
6	11	16	14	
11	13	19	15	

QUADRO 4.5 – SEQUÊNCIA ÓPTIMA

4.5. MÓDULO 4: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Este último módulo do programa permite visualizar no monitor os resultados conseguidos nos módulos anteriores. Através da leitura dos dados contidos no ficheiro que contém a caracterização da linha (Quadro 4.2), número de tanques, número de tanques electrolíticos, etc; é desenhado no monitor um esquema da linha galvânica em causa (ver figura 4.3 - a).

Em seguida obedecendo às indicações contidas nos campos 2 e 3 da base de dados gerado no terceiro módulo do programa, é realizada uma animação dos movimentos da torre (ver figura 4.3 - b).

Esta animação é algo rudimentar devido às limitações gráficas da linguagem Clipper. A representação conseguiu-se à custa de instruções de escrita de caracteres ASCII no monitor. Contudo percebe-se nitidamente o movimento da torre, tanto de avanço ou recuo na horizontal, como de subida e descida de bastidores. Estes são representados por segmentos de recta duplos e identificados pelo seu número de ordem de entrada na linha. Este número acompanha sempre o segmento que representa um bastidor em causa. A torre é representada por um pequeno quadrado a cheio.

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA LINHA

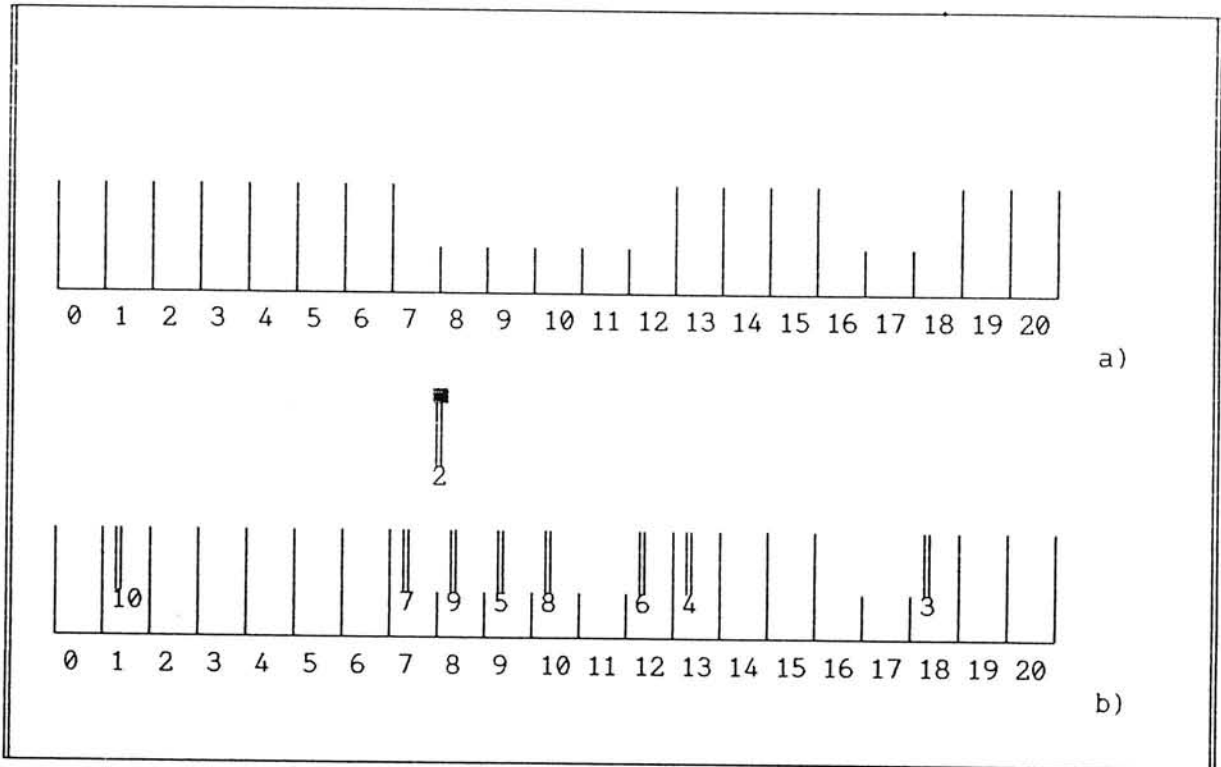


Figura 4.3

- a) Esquema da linha galvânica da fábrica Stone
 b) Esquema da linha em funcionamento
 (o bastidor 2 a ser transportado para a descarga)

4.6. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o programa desenvolvido para implementação do algoritmo explicado no capítulo 3, que permite a obtenção da "Sequência Ótima" em linhas galvânicas.

Um primeiro módulo do programa realiza a aquisição de dados que caracterizam a linha e a tarefa. Estes dados são fornecidos por um operador através de um teclado. O programa gera 2 bases de dados onde esses dados são guardados.

Um segundo módulo do programa gera um quadro de tempos de entradas e saídas dos bastidores em cada banho. Este quadro é criado tendo em conta os critérios que optimizam a produção da linha, o critério de carga alternada (ou sequencial) dos tanques de cobre electrolítico e ainda os tempos de deslocação da torre transportadora.

O terceiro módulo do programa estabelece a "Sequência Ótima" de viagens da torre, organizando a informação contida no Quadro de Tempos dos Bastidores, de uma outra forma: cria uma base de dados em que as operações estão ordenadas por ordem crescente dos tempos. Esta ordenação é uma ordenação "inteligente" no sentido que ela atende às restrições impostas pelos critérios das tolerâncias dos tempos de imersão em cada banho, fazendo os ajustes de tempo

necessários e reiniciando a ordenação. O resultado desta ordenação das operações fornece-nos a "Sequência Ótima".

Um quarto módulo do programa permite visualizar no monitor uma animação que representa os movimentos da torre ao longo do ciclo de uma tarefa.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados de aplicações deste programa. São apresentados e comentados os resultados da aplicação deste programa a uma tarefa específica da linha Stone. Procura evidenciar-se o aumento de produção perspectivado. Esta aplicação já tem sido utilizada ao longo do texto desta dissertação para explicação do funcionamento do programa.

São também apresentados os resultados da aplicação do programa a uma outra linha para evidenciar como o programa tem facilidade de caracterizar rapidamente qualquer linha.

CAPÍTULO 5

TESTES E RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados e comentados os resultados de dois ensaios realizados. Num primeiro ensaio é feita a simulação de uma tarefa real executada na linha galvânica da Stone. Trata-se da produção de circuitos impressos para a Grundig. Estes circuitos impressos constituem as placas base dos auto-rádios do topo de gama da Grundig (RDS 5500).

Apresenta-se a definição da tarefa, é descrito o processamento realizado e são apresentados os resultados sob a forma de quadros gerados pelo próprio programa. Os resultados deste ensaio evidenciam um aumento da produção na linha, e uma grande estabilidade dos tempos de imersão dos bastidores em cada banho. O programa apresenta, como resultado final, a sequência óptima que foi obtida.

Num segundo ensaio, é simulada a realização de uma tarefa numa linha hipotética. O objectivo deste ensaio é evidenciar a capacidade que o programa tem de construir um modelo para uma linha galvânica qualquer.

5.2. SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CIRCUITOS IMPRESSOS

São conhecidos os seguintes dados sobre a tarefa a realizar:

Linha galvânica : STONE

Cliente : GRUNDIG

Produto : CIRCUITOS IMPRESSOS REF. 19372-4700.02

Ref. de fabricação : REF. 001

Quantidade : 11 BASTIDORES (360 placas)

As especificações de fabricação relativas aos circuitos impressos com referência 001 constam do Quadro 5.1.

ESPECIFICACOES DAS PLACAS					
TIPOP	ICU	ISN	AREA	CTCU	CTSN
001	3	2	10	180	20

QUADRO 5.1. Especificações de fabricação

No início do processamento é realizada a aquisição dos dados através de janelas, conforme mostra a figura 5.1. Relativamente à linha galvânica da fábrica Stone, são fornecidos os seguintes valores: número de tanques, número de posições onde são realizadas operações electrolíticas;

qual a sua localização na linha, os tempos de deslocação da torre ao longo da linha (conforme um dos modelos apresentados na figura 4.2) e os tempos de subida e descida da torre.

Relativamente ao tipo de circuito impresso, são dados os valores constantes no quadro 5.1:

Referência de fabricação (TIPOP - Tipo da Placa): Ref. 001;

Intensidade de corrente eléctrica para a alimentação dos tanques onde se realiza a operação de deposição de cobre (ICU): 3 Ampère/dm²;

Intensidade de corrente eléctrica para a alimentação dos tanques onde se realiza a operação de deposição da liga de estanho/chumbo (ISN): 2 Ampère/dm²;

A área de cobre da placa (ÁREA): 10 dm²;

A constante que determina a espessura do cobre depositado (CTCU): 180 [1];

A constante que determina a espessura da liga de estanho/chumbo depositada (CTSN): 20 [1].

Com estes valores o programa cria um ficheiro com extensão .dbf que está representado no quadro 5.1. Em futuras utilizações bastará indicar a referência de fabricação, e o programa lerá do ficheiro as especificações de fabricação.

Características da linha		Características da tarefa	
Quantidade de tanques:	20	Tipo de placa:	001
Intervalo saída bastidores:	0.0	Área da placa:	10
Velocidade de aceleração:	A	Intensidade :	3 2 0
V1 V2 V3 V4 SUB DES			
A->10	7 5 10 10		
B->10	7 5 3 10 10		
TANQUES:			
Alternância Tipo e Posições			
B	CU 7 12		
A	SN 16 18		
A	0 0		

Características da linha		Características da tarefa	
Quantidade de tanques:	20	Tipo de placa:	
Intervalo saída bastidores:	0.0		
Velocidade de aceleração:	A		
V1 V2 V3 V4 SUB DES			
A->10	7 5 10 10		
B->10	7 5 3 10 10		
TANQUES:			
Alternância Tipo e Posições			
B	CU 7 12		
A	SN 16 18		
A	0 0		
		Record 1/1	
		TIPOPOP	ICU ISN AREA CTCU CTSN
		001	3 2 10 180 20

Características da linha		Características da tarefa	
Quantidade de tanques:	20	Tipo de placa:	001
Intervalo saída bastidores:	10.0	Área da placa:	10
Velocidade de aceleração:	A	Intensidade :	3 2 0
V1 V2 V3 V4 SUB DES			
A->10	7 5 10 10		
B->10	7 5 3 10 10		
TANQUES:			
Alternância Tipo e Posições			
B	CU 7 12		
A	SN 16 18		
A	0 0		
		Record 3/21	
		TANK	EST_TEMP TOLER TTANK
		2	2 2
		3	1 2
		4	.5 0
		5	1 1

Figura 5.1 - Aquisição de Dados

Sempre que a referência de fabricação de uma nova placa é digitada, este ficheiro é actualizado. É-lhe acrescentado um registo com os dados da nova placa.

O programa cria também outro ficheiro (com extensão .DBF) com a mesma estrutura do Quadro 5.2. Cada registo é relativo a uma posição na linha. Observe-se que tendo a linha 20 posições previstas, o programa acrescentou a posição 0 (zero) que é relativa à posição de carga no início da linha. Cada posição na linha é identificada pelo primeiro campo (TANK).

LINHA: STONE			
TANK	TP IM	TOLER	TTANK
0			
1	4.5	2	
2	2	2	
3	1	2	
4	.5	0	
5	1	1	
6	1	2	
7	60.0	2	C
8	60.0	2	C
9	60.0	2	C
10	60.0	2	C
11	60.0	2	C
12	60.0	2	C
13	1	2	
14	1	2	
15	1	2	
16	10.0	1	S
17	10.0	1	S
18	10.0	1	S
19	1	2	
20	1	3	

Quadro 5.2 - Caracterização da linha

No segundo campo (TM_IM) é registado o valor do tempo de imersão estabelecido para cada banho. Os valores de 60 minutos para os tempos de imersão nos tanques onde se realiza a deposição de cobre e os valores de 10 minutos para o tanque onde se realiza a deposição da liga de estanho e chumbo são calculados pelo próprio programa uma vez que estes dependem das intensidades de corrente eléctrica especificadas no Quadro 5.1. Os tempos de imersão estabelecidos para as operações nos outros tanques são digitados pelo operador.

No terceiro campo (TOLER) são registadas as tolerâncias permitidas em cada um dos tanques. Este valor é dado em minutos, sendo fornecido pelo operador.

No quarto campo (TTANK) é identificado o tipo de operação realizada em cada tanque para que o programa durante o processamento identifique aqueles tanques onde são realizadas operações electrolíticas.

Após a confirmação dos valores acima referidos, o programa inicia o processo de estabelecimento da sequência óptima, conforme é descrito no capítulo 4. São criadas a tabela de entradas e saídas dos bastidores nos tanques (Quadro 5.3), a tabela ordenada das operações (Quadro 5.4) e a sequência óptima conforme é indicado no Quadro 5.5.

TABELA DE ENTRADAS E SAIDAS DOS BASTIDORES NOS TANQUES

(continua)

BAST	T8OUT	T11IN	T11OUT	T2IN	T2OUT	T3IN	T3OUT	T4IN	T4OUT	T5IN	T5OUT	T6IN	T6OUT	T7IN	T7OUT	T8IN	T8OUT	T9IN	T9OUT	T10IN	T10OUT	T11IN	T11OUT	T12IN	T12OUT	T13IN	
1	0	0.5	5.0	5.5	7.5	8.0	9.0	9.5	10.00	10.50	11.5	12.0	13.0	13.5	73.50					24.9	84.00					74.56	
2	11.0	11.5	16.0	16.5	18.5	19.0	20.0	20.5	21.00	21.50	22.5	23.0	24.0			35.7	95.66									85.68	
3	22.0	22.5	27.0	27.5	29.5	30.0	31.0	31.5	32.00	32.50	33.5	34.0	35.0													96.65	
4	33.0	33.5	38.0	38.5	40.5	41.0	42.0	42.5	43.00	43.50	44.5	45.0	46.0									47.0	106.9			107.6	
5	44.0	44.5	49.0	49.5	51.5	52.0	53.0	53.5	54.00	54.50	55.5	56.0	57.0					57.8	117.7							118.6	
6	56.0	57.4	61.9	62.4	64.4	64.9	65.9	66.4	66.90	67.40	68.4	68.9	69.9														131.4
7	69.0	70.4	74.9	75.4	77.4	77.9	78.9	79.4	79.90	80.40	81.4	81.9	82.9														144.4
8	82.0	83.4	87.9	88.4	90.4	90.9	91.9	92.4	92.90	93.40	94.4	94.9	95.9														157.5
9	95.0	96.2	100.7	101.2	103.2	103.7	104.7	105.2	105.70	106.2	107.2	107.7	108.7														170.3
10	107.0	107.5	112.0	112.5	114.5	115.0	116.0	116.5	117.0	117.5	118.5	119.0	120.0														181.6
11	118.0	118.5	123.0	123.5	125.5	126.0	127.0	127.5	128.0	128.5	129.5	130.0	131.0														192.6

(continua)

BAST	T13OUT	T14IN	T14OUT	T15IN	T15OUT	T16IN	T16OUT	T17IN	T17OUT	T18IN	T18OUT	T19IN	T19OUT	T20IN	T20OUT	T0
1	75.56	76.06	77.0	77.5	78.5	79.0	89.00	90.3	100.2	101.4	111.3	89.78	90.78	91.28	92.2	94.4
2	86.68	87.18	88.1	88.6	89.6							100.9	101.9	102.4	103.4	105.6
3	97.65	98.15	99.1	99.6	100.6							111.8	112.8	113.3	114.3	116.5
4	108.6	109.1	110.1	110.6	111.6	112.1	122.1	123.3	133.2	136.2	146.1	122.8	123.8	124.3	125.3	127.5
5	119.6	120.1	121.1	121.6	122.6	112.1	122.1	123.3	133.2	136.2	146.1	133.9	134.9	135.4	136.4	138.6
6	132.4	132.9	133.9	134.4	135.4	148.9	158.9	162.2	172.1	175.1	185.0	146.6	147.6	148.1	149.1	151.3
7	145.4	145.9	146.9	147.4	148.4	148.9	158.9	162.2	172.1	175.1	185.0	159.6	160.6	161.1	162.1	164.3
8	158.5	159.0	160.0	160.5	161.5	161.5	162.2	172.1	172.1	175.1	185.0	172.8	173.8	174.3	175.3	177.5
9	171.3	171.8	172.8	173.3	174.3	174.3	162.2	172.1	172.1	175.1	185.0	185.5	186.5	187.0	188.0	194.2
10	182.6	183.1	184.1	184.6	185.6	186.1	162.2	172.1	172.1	175.1	185.0	196.8	197.8	198.3	199.3	201.5
11	193.6	194.1	195.1	195.6	196.6	196.6	197.3	207.2	207.2	207.2	207.2	207.9	208.9	209.4	210.4	212.6

QUADRO 5.3 - Tabela de tempos dos bastidores nos tanques

TABELA ORDENADA DAS OPERACOES

TEMPO	TN_OUT	TN_IN	BAST	TOLER	TM_IM	TM_PREV	TM_REAL	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	SD
0.0	T00	T11	1			15:11:07																							
5.5	T10	T21	1	2	5	15:16:37																							
8.0	T20	T31	1	2	2	15:19:07																							
9.5	T30	T41	1	2	1	15:20:37																							
10.5	T40	T51	1	0	0.5	15:21:37																							
11.0	T00	T11	2	2	2	15:22:07																							
12.0	T50	T61	1	1	1	15:23:07																							
13.0	T60	T71	1	2	1	15:24:07																							
16.5	T10	T21	2	2	5	15:27:37																							
19.0	T20	T31	2	2	2	15:30:07																							
20.5	T30	T41	2	2	1	15:31:37																							
21.5	T40	T51	2	0	0.5	15:32:37																							
22.0	T00	T11	3	2	2	15:33:07																							
23.0	T50	T61	2	1	1	15:34:07																							
24.0	T60	T101	2	2	1	15:35:07																							
27.5	T10	T21	3	2	5	15:38:37																							
30.0	T20	T31	3	2	2	15:41:07																							
31.5	T30	T41	3	2	1	15:42:37																							
32.5	T40	T51	3	0	0.5	15:43:37																							
33.0	T00	T11	4	2	2	15:44:07																							
34.0	T50	T61	3	1	1	15:45:07																							
35.0	T60	T81	3	2	1	15:46:07																							
38.5	T10	T21	4	2	5	15:49:37																							
41.0	T20	T31	4	2	2	15:52:07																							
42.5	T30	T41	4	2	1	15:53:37																							
43.5	T40	T51	4	0	0.5	15:54:37																							
44.0	T00	T11	5	2	2	15:55:07																							
45.0	T50	T61	4	1	1	15:56:07																							
46.0	T60	T111	4	2	1	15:57:07																							
49.5	T10	T21	5	2	5	16:00:37																							
52.0	T20	T31	5	2	2	16:03:07																							
53.5	T30	T41	5	2	1	16:04:37																							
54.5	T40	T51	5	0	0.5	16:05:37																							
56.0	T50	T61	5	1	1	16:07:07																							
56.9	T00	T11	6	2	2	16:08:01																							
57.0	T60	T91	5	2	1	16:08:07																							
62.4	T10	T21	6	2	5	16:13:31																							

QUADRO 5.4 - Tabela ordenada das operações

TABELA ORDENADA DAS OPERAÇÕES

TEMPO	TN_OUT	TN_IN_A_BAST	TOLER	TM_IM	T_PREVISTO	TREALIZADO	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	SD
64.9	T20	T31	6	2	16:16:01																							
66.4	T30	T41	6	2	16:17:31																							
67.4	T40	T51	6	0	16:18:31																							
68.9	T50	T61	6	1	16:20:01																							
69.9	T60	T121	6	2	16:21:01																							
69.9	T00	T11	7	2	16:21:01																							
73.5	T70	T131	1	2	16:24:37																							
75.4	T10	T21	7	2	16:26:31																							
76.0	T130	T141	1	2	16:27:07																							
77.5	T140	T151	1	2	16:28:37																							
77.9	T20	T31	7	2	16:29:01																							
78.5	T150	T161	1	0	16:29:37																							
79.4	T30	T41	7	2	16:30:31																							
80.4	T40	T51	7	0	16:31:31																							
81.9	T50	T61	7	1	16:33:01																							
82.9	T60	T71	7	2	16:34:01																							
82.9	T00	T11	8	2	16:34:01																							
84.9	T100	T131	2	2	16:36:01																							
87.1	T130	T141	2	2	16:38:13																							
88.4	T10	T21	8	2	16:39:31																							
88.6	T140	T151	2	2	16:39:43																							
89.0	T160	T191	1	1	16:40:07																							
89.6	T150	T171	2	3	16:40:43																							
90.9	T20	T31	8	2	16:42:01																							
91.2	T190	T201	1	2	16:42:19																							
92.4	T30	T41	8	2	16:43:31																							
93.4	T40	T51	8	0	16:44:31																							
94.4	T200	TK	1	3	16:45:31																							
94.9	T50	T61	8	1	16:46:01																							
95.6	T80	T131	3	2	16:46:43																							
95.7	T00	T11	9	2	16:46:49																							
95.9	T60	T101	8	2	16:47:01																							
98.1	T130	T141	3	2	16:49:13																							
99.6	T140	T151	3	2	16:50:43																							
100.2	T170	T191	2	1	16:51:19																							
100.6	T150	T181	3	2	16:51:43																							

QUADRO 5.4 - Tabela ordenada das operações (continuação)

TABELA ORDENADA DAS OPERACOES

TEMPO	TN_OUT	TN_IN_A	BAST	TOLER	TM_IM	T_PREVISTO	TREALIZADO	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	SD
101.2	T10	T21	9	2	5	16:52:19				■	■																		
102.4	T190	T201	2	2	1	16:53:31					■																	■	
103.7	T20	T31	9	2	2	16:54:49					■																		
105.2	T30	T41	9	2	1	16:56:19						■																	
105.6	T200	TK	2	3	1	16:56:43						■																	
106.2	T40	T51	9	0	0.5	16:57:19							■																
106.9	T110	T131	4	2	60.	16:58:01								■															
107.0	T00	T11	10	2		16:58:07									■														
107.7	T50	T61	9	1	1	16:58:49								■															
108.7	T60	T81	9	2	1	16:59:49									■														
109.1	T130	T141	4	2	1	17:00:13										■													
110.6	T140	T151	4	2	1	17:01:43											■												
111.3	T180	T191	3	1	10.	17:02:25																							
111.6	T150	T161	4	2	1	17:02:43																							
112.5	T10	T21	10	2	5	17:03:37																							
113.3	T190	T201	3	2	1	17:04:25																							
115.0	T20	T31	10	2	2	17:06:07																							
116.5	T200	TK	3	3	1	17:07:37																							
116.5	T30	T41	10	2	1	17:07:37																							
117.5	T40	T51	10	0	0.5	17:08:37																							
117.7	T90	T131	5	2	60.	17:08:49																							
118.0	T00	T11	11	2		17:09:07																							
119.0	T50	T61	10	1	1	17:10:07																							
120.0	T60	T111	10	2	1	17:11:07																							
120.1	T130	T141	5	2	1	17:11:13																							
121.6	T140	T151	5	2	1	17:12:43																							
122.1	T160	T191	4	1	10.	17:13:13																							
122.6	T150	T171	5	2	1	17:13:43																							
123.5	T10	T21	11	2	5	17:14:37																							
124.3	T190	T201	4	2	1	17:15:25																							
126.0	T20	T31	11	2	2	17:17:07																							
127.5	T200	TK	4	3	1	17:18:37																							
127.5	T30	T41	11	2	1	17:18:37																							
128.5	T40	T51	11	0	0.5	17:19:37																							
130.0	T50	T61	11	1	1	17:21:07																							
130.9	T120	T131	6	2	60.	17:22:01																							

QUADRO 5.4 - Tabela ordenada das operações (continuação)

TABELA ORDENADA DAS OPERACOES

TEMPO	TN_OUT	TN_IN_A	BAST	TOLER	TM_IM	T_PREVISTO	TREALIZADO	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	SD	
131.0	T60	T9I	11	2	1	17:22:07											■					■	■							
132.9	T130	T14I	6	2	1	17:24:01																	■	■						
133.2	T170	T19I	5	1	10.	17:24:19																	■	■						
134.4	T140	T15I	6	2	1	17:25:31																	■	■						
135.4	T190	T20I	5	2	1	17:26:31																	■	■						
135.4	T150	T18I	6	2	1	17:26:31																	■	■						
138.6	T200	TK	5	3	1	17:29:43																	■	■						
143.4	T70	T13I	7	2	60.	17:34:31																	■	■						
145.9	T130	T14I	7	2	1	17:37:01																	■	■						
146.1	T180	T19I	6	1	10.	17:37:13																	■	■						
147.4	T140	T15I	7	2	1	17:38:31																	■	■						
148.1	T190	T20I	6	2	1	17:39:13																	■	■						
148.4	T150	T16I	7	2	1	17:39:31																	■	■						
151.3	T200	TK	6	3	1	17:42:25																	■	■						
156.8	T100	T13I	8	2	60.	17:47:55																	■	■						
158.9	T160	T19I	7	1	10.	17:50:01																	■	■						
159.0	T130	T14I	8	2	1	17:50:07																	■	■						
160.5	T140	T15I	8	2	1	17:51:37																	■	■						
161.1	T190	T20I	7	2	1	17:52:13																	■	■						
161.5	T150	T17I	8	2	1	17:52:37																	■	■						
164.3	T200	TK	7	3	1	17:55:25																	■	■						
169.3	T80	T13I	9	2	60.	18:00:25																	■	■						
171.8	T130	T14I	9	2	1	18:02:55																	■	■						
172.1	T170	T19I	8	1	10.	18:03:13																	■	■						
173.3	T140	T15I	9	2	1	18:04:25																	■	■						
174.3	T190	T20I	8	2	1	18:05:25																	■	■						
174.3	T150	T18I	9	2	1	18:05:25																	■	■						
177.5	T200	TK	8	3	1	18:08:37																	■	■						
180.9	T110	T13I	10	2	60.	18:12:01																	■	■						
183.1	T130	T14I	10	2	1	18:14:13																	■	■						
184.6	T140	T15I	10	2	1	18:15:43																	■	■						
185.0	T180	T19I	9	1	10.	18:16:07																	■	■						
185.6	T150	T16I	10	2	1	18:16:43																	■	■						
187.0	T190	T20I	9	2	1	18:18:07																	■	■						
190.2	T200	TK	9	3	1	18:21:19																	■	■						
191.7	T90	T13I	11	2	60.	18:22:49																	■	■						

QUADRO 5.4 - Tabela ordenada das operações (continuação)

TABELA ORDENADA DAS OPERACOES

TEMPO	TN_OUT	TN_IN_A	BAST	TOLER	TM_IN	T_PREVISTO	TREALIZADO	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	SD
194.1	T130	T14I	11	2	1	18:25:13																							
195.6	T140	T15I	11	2	1	18:26:43																							
196.1	T160	T19I	10	1	10.	18:27:13																							
196.6	T150	T17I	11	2	1	18:27:43																							
198.3	T190	T20I	10	2	1	18:29:25																							
201.5	T200	TK	10	3	1	18:32:37																							
207.2	T170	T19I	11	1	10.	18:38:19																							
209.4	T190	T20I	11	2	1	18:40:31																							
212.6	T200	TK	11	3	1	18:43:43																							

QUADRO 5.4 - Tabela ordenada das operações (conclusão)

SEQUENCIA OPTIMA			SEQUENCIA OPTIMA (continuacao)			SEQUENCIA OPTIMA (continuacao)		
TN_OUT	TN_IN	BAST	TN_OUT	TN_IN	BAST	TN_OUT	TN_IN	BAST
0	1	1	6	9	5	13	0	
1	2	1	9	1		0	1	9
2	3	1	1	2	6	1	6	
3	4	1	2	3	6	6	10	8
4	5	1	3	4	6	10	13	
5	0	1	4	5	6	13	14	3
0	1	2	5	6	6	14	15	3
1	5		6	12	6	15	17	
5	6	1	12	0		17	19	2
6	7	1	0	1	7	19	15	
7	1		1	7		15	18	3
1	2	2	7	13	1	18	1	
2	3	2	13	1		1	2	9
3	4	2	1	2	7	2	19	
4	5	2	2	13		19	20	2
5	0	2	13	14	1	20	2	
0	1	3	14	15	1	2	3	9
1	5		15	2		3	4	9
5	6	2	2	3	7	4	20	
6	10	2	3	15		20	0	2
10	1		15	16	1	0	4	
1	2	3	16	3		4	5	9
2	3	3	3	4	7	5	11	
3	4	3	4	5	7	11	13	4
4	5	3	5	6	7	13	0	
5	0	3	6	7	7	0	1	10
0	1	4	7	0		1	5	
1	5		0	1	8	5	6	9
5	6	3	1	10		6	8	9
6	8	3	10	13	2	8	13	
8	1	4	13	14	2	13	14	4
1	2	4	14	1		14	15	4
2	3	4	1	2	8	15	18	
3	4	4	2	14		18	19	3
4	5	4	14	15	2	19	15	
5	0	4	15	16		15	16	4
0	1	5	16	19	1	16	1	
1	5		19	15		1	2	10
5	6	4	15	17	2	2	19	
6	11	4	17	2		19	20	3
11	1	5	2	3	8	20	2	
1	2	5	3	19		2	3	10
2	3	5	19	20	1	3	20	
3	4	5	20	3		20	0	3
4	5	5	3	4	8	0	3	
5	6	5	4	5	8	3	4	10
6	0	5	5	20		4	5	10
0	1	6	20	0	1	5	9	
1	6		0	5		9	13	5
			5	6	8	13	0	
			6	8		0	1	11
			8	13	3	1	5	
						5	6	10

QUADRO 5.5 - Sequência Ótima

SEQUENCIA OPTIMA
(continuacao)

	TN_OUT	TN_IN	BAST
	6	11	10
	11	13	
	13	14	5
	14	15	5
	15	16	
	16	19	4
	19	15	
	15	17	5
	17	1	
	1	2	11
	2	19	
	19	20	4
	20	2	
	2	3	11
	3	20	
	20	0	4
	0	3	
	3	4	11
	4	5	11
	5	6	11
	6	12	
	12	13	6
	13	6	
	6	9	11
	9	13	
	13	14	6
	14	17	
	17	19	5
	19	14	
	14	15	6
	15	19	
	19	20	5
	20	15	
	15	18	6
	18	20	
	20	0	5
	0	7	
	7	13	7
	13	14	7
	14	18	
	18	19	6
	19	14	
	14	15	7
	15	19	
	19	20	6
	20	15	
	15	16	7
	16	20	
	20	0	6
	0	10	
	10	13	8
	13	16	
	16	19	7

(continua)

SEQUENCIA OPTIMA
(continuacao)

	TN_OUT	TN_IN	BAST
	19	13	
	13	14	8
	14	15	8
	15	19	
	19	20	7
	20	15	
	15	17	8
	17	20	
	20	0	7
	0	8	
	8	13	9
	13	14	9
	14	17	
	17	19	8
	19	14	
	14	15	9
	15	19	
	19	20	8
	20	15	
	15	18	9
	18	20	
	20	0	8
	0	11	
	11	13	10
	13	14	10
	14	15	10
	15	18	
	18	19	9
	19	15	
	15	16	10
	16	19	
	19	20	9
	20	0	9
	0	9	
	9	13	11
	13	14	11
	14	15	11
	15	16	
	16	19	10
	19	15	
	15	17	11
	17	19	
	19	20	10
	20	0	10
	0	17	
	17	19	11
	19	20	11
	20	0	11

QUADRO 5.5 - Sequência Ótima (continuação)

O Quadro 5.3 indica os tempos de entrada e saída de cada bastidor em cada um dos tanques, relativamente a um instante 0 (zero) de início da tarefa. Por exemplo, o bastidor 1 sai da posição de carga 0 (campo T0OUT) e entra no tanque 1 (campo T1IN) no instante 0,5 minutos, de acordo com o tempo de deslocação da torre. Como o tempo de imersão estabelecido para o banho de desengorduramento realizado neste tanque é de 4,5 minutos (ver Quadro 5.2), o tempo calculado para a sua saída (campo T1OUT) é de 5,0 minutos. Um cálculo idêntico é realizado para cada bastidor em cada tanque.

Da análise deste quadro dois aspectos principais são focados. O primeiro é que foi conseguida a carga alternada dos tanques onde se realiza a deposição de cobre electrolítico. Observe-se que o 1º bastidor ocupa a posição 7 no instante 13,5 minutos (1ª posição do 1º tanque de cobre electrolítico), enquanto o 2º bastidor ocupa a posição 10 no instante 24,9 minutos (1ª posição do 2º tanque de cobre electrolítico). No instante 35,7 minutos o 3º bastidor vai ocupar a posição 8 (2ª posição do 1º tanque de cobre electrolítico). E assim acontece sucessivamente.

Outro aspecto é o aumento da produção da linha. Actualmente a linha consegue produzir no máximo 50 bastidores num dia de trabalho (16 horas). Se fôr utilizada a sequência do Quadro 5.5, que tem por base os tempos da tabela do Quadro 5.3,

conseguimos uma produção de 80 bastidores no mesmo período.
Este valor é calculado do seguinte modo:

Tempo total de tarefa: 16 horas (=960 minutos);

Tempo da fase de carga (instante de saída do 1º bastidor):
94.4 minutos (ver Quadro 5.3, 1ª linha e última coluna,
(campo TD);

Tempo de saída do último bastidor: 212.6 minutos;

O número de bastidores que sai da linha por unidade de
tempo, durante a fase de regime permanente, é igual a:

$$\frac{11}{(212,6 - 94,4)} * 60 = 5,6$$

Subtraíndo ao tempo total da tarefa o tempo da fase de
carga, obtém-se o período de tempo em que a linha está a
funcionar no regime de plena carga.

$$960 - 94,4 = 865,6 \text{ minutos } (14,4 \text{ horas})$$

O número total de bastidores no final do dia de trabalho
será de:

$$14,4 * 5,6 = 80,7 \text{ bastidores}$$

Este valor traduz um aumento de 60% (30/50) na capacidade de produção da linha galvânica da Stone.

A tabela apresentada no Quadro 5.4 indica a sequência das operações ordenada por ordem crescente dos tempos. Estes tempos constam no primeiro campo (TEMPO).

Os campos TN_OUT e TN_IN indicam respectivamente o tanque de onde deve ser removido um bastidor, e o tanque para onde deve ser deslocado esse bastidor. Por exemplo, no instante 24,0 minutos, o bastidor 2, conforme se pode verificar no 4º campo (BAST) do Quadro 5.4 deve ser removido do tanque 6 (T6OUT deve ler-se: saída do tanque 6) e deve ser colocado no tanque 10 (T10IN deve ler-se: entrada no tanque 10).

O campo TN_PREV (tempo previsto) contém a hora prevista para execução de uma operação. Estes valores são calculados por simulação para uma tarefa suposta iniciada às 15 horas e 11 minutos.

O campo TM_REAL está reservado para quando o programa estiver a funcionar em tempo real com a linha, controlando directamente o autómato. Nele será registada a hora efectiva em que a operação foi realizada. Qualquer anomalia no funcionamento da linha será registada, e poderão ser identificados os bastidores que ultrapassaram as tolerâncias dos tempos de imersão em banhos críticos. Este campo

permitirá a realização de um ficheiro com o historial de uma tarefa.

Os campos seguintes (S0 a S20 e SD), têm como objectivo indicar se determinada posição na linha está ou não ocupada. A sua utilidade é interna ao programa, para que durante a ordenação das operações não aconteça a torre pretender colocar um bastidor numa posição ocupada.

Da análise do Quadro 5.4 o aspecto mais importante a realçar é o da estabilidade dos tempos de imersão em cada tanque. Por exemplo, ainda relativamente ao instante 24,0 minutos (Quadro 5.4) a hora prevista por simulação para a operação saída do bastidor 2 do tanque 6 e sua colocação no tanque 10, é 15 h 35 m e 7 s. A hora prevista para saída deste mesmo bastidor do tanque 10 para o tanque 13 é 16 h 36 m e 01 s. (ver instante 84,9 minutos, campo TM_PREV do Quadro 5.4).

A diferença de tempo registada em relação ao tempo de imersão previsto (60 minutos) é de 0,9 minutos (54 segundos), que é exactamente o tempo de deslocação da torre do tanque 6 para o tanque 10 (ver Quadro 5.3 campos T6OUT e T10IN, para o bastidor 2).

A máxima diferença observada é de 6 segundos em 60 minutos para alguns bastidores. Por exemplo no instante 131 minutos (Quadro 5.4) o bastidor 11 sai do tanque 6 para o tanque 9 à

hora prevista por simulação de 17 h 22 m e 7 s., e sai do tanque 9 para o tanque 13 (instante 191,7) à hora prevista de 18 h 22 m e 44 s. A diferença é de 0,7 minutos. Como o tempo previsto para a deslocação da torre é de 0,8 minutos (ver Quadro 5.3) há uma diferença de 0,1 minutos (6 segundos). Estes valores realçam a estabilidade dos tempos de imersão nos tanques.

A figura 5.2 mostra diferentes imagens da visualização gráfica da simulação realizada. Este módulo realiza a animação dos movimentos da torre. As alíneas a) e b) referem-se a instantes da fase de carga. A alínea a) refere o instante em que o bastidor 1 está a ser retirado do tanque 5 para ser colocado no tanque 6. Observe-se a presença do bastidor 2 no tanque 1.

A alínea b) evidencia a carga alternada dos tanques electrolíticos. O bastidor 1 está na posição 7 (1ª posição do 1º tanque de cobre electrolítico) e o bastidor 2 está a ser colocado na posição 10 (1ª posição do 2º tanque de cobre electrolítico).

A alínea c) evidencia a plena carga dos tanques de cobre electrolítico (posições 7 a 12). O bastidor 1 foi removido da posição 7 e colocado no tanque 13 e a torre avança com o bastidor 7 para ocupar a posição deixada livre.

A alínea d) evidencia uma situação de regime permanente. Estão presentes na linha um número máximo de bastidores possível. As alíneas e) e f) da figura 5.2 mostram a fase final de descarga.

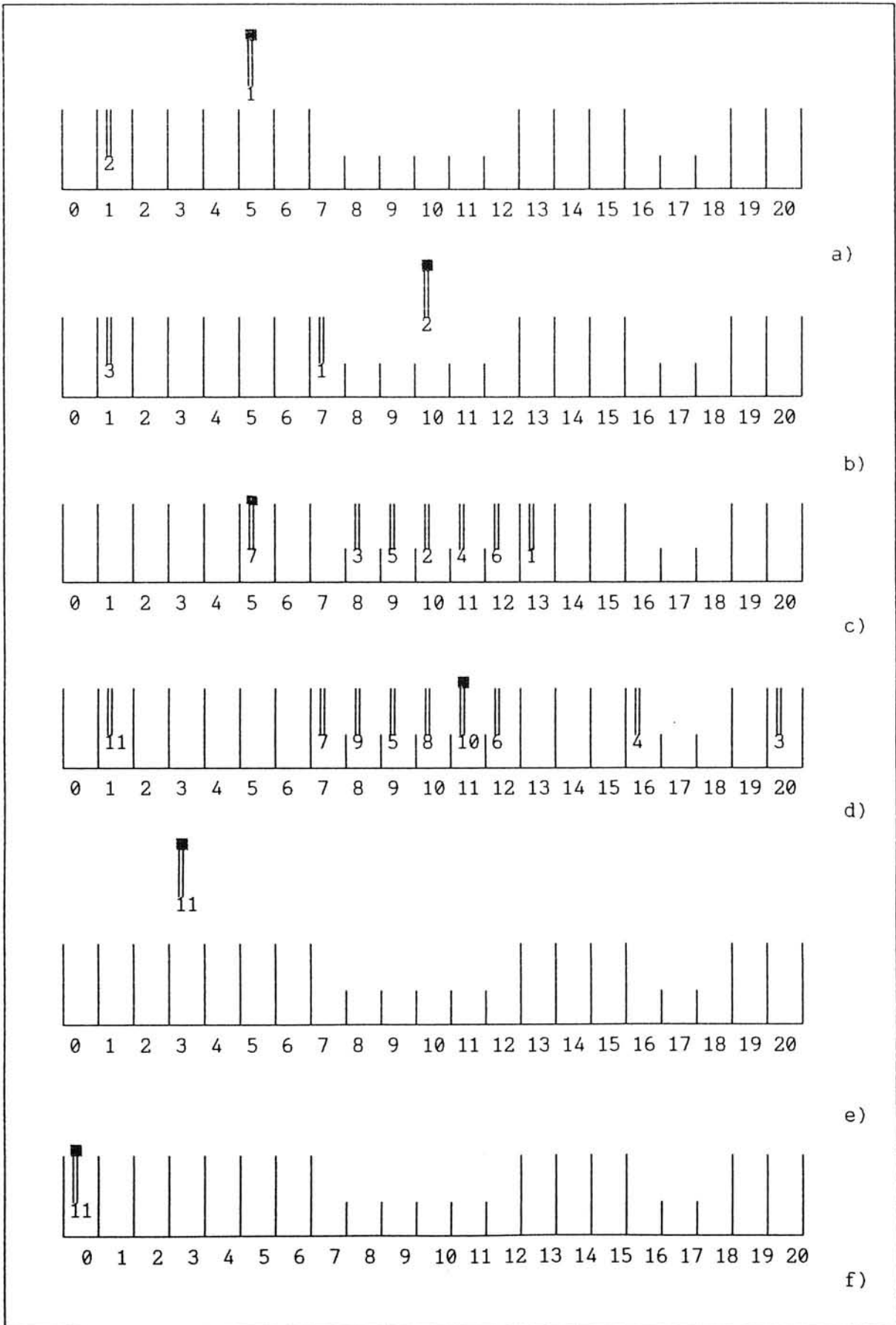


Figura 5.2 - Imagens da animação realizada pelo programa

5.3. SIMULAÇÃO DE UMA LINHA COM 8 TANQUES

Os quadros que se seguem são em tudo idênticos aos apresentados e comentados no parágrafo anterior. São relativos à simulação de uma tarefa numa linha hipotética com 8 tanques.

O objectivo principal é evidenciar a capacidade do programa em criar exactamente a mesma estrutura de ficheiros para linhas galvânicas com parâmetros diferentes.

ESPECIFICACOES DAS PLACAS			
TIPOP	ICU	AREA	CTCU
001	3	10	180

QUADRO 5.6 - Especificações de fabricação

LINHA: HIPOTETICA			
TANK	TM IM	TOLER	TTANK
0		0	
1	4.5	2	
2	8	2	
3	1	2	
4	60.0	0	CU
5	60.0	0	CU
6	60.0	0	CU
7	8	2	
8	1	2	

QUADRO 5.7 - Caracterização da Linha

QUADRO DE ENTRADAS E SAIDAS DOS BASTIDORES NOS TANQUES

BAST	T0OUT	T1IN	T1OUT	T2IN	T2OUT	T3IN	T3OUT	T4IN	T4OUT	T5IN	T5OUT	T6IN	T6OUT	T7IN	T7OUT	T8IN	T8OUT	TD
1	0	0.5	5.0	5.5	13.5	14.0	15.0	15.5	75.50	35.7	95.66			76.28	84.28	84.78	85.7	86.9
2	20.0	20.5	25.0	25.5	33.5	34.0	35.0							96.33	104.3	104.8	105.8	107.0
3	41.9	42.4	46.9	47.4	55.4	55.9	56.9					57.7	117.6	118.1	126.1	126.6	127.6	128.8
4	63.8	64.3	68.8	69.3	77.3	77.8	78.8	79.3	139.3	101.5	161.4			140.0	148.0	148.5	149.5	150.7
5	85.8	86.3	90.8	91.3	99.3	99.8	100.8							162.1	170.1	170.6	171.6	172.8

QUADRO 5.8 - Tabela de tempos dos bastidores nos tanques

TABELA ORDENADA DAS OPERACOES

TEMPO	TN_OUT	TN_IN	BAST	TOLER	TM_IN	TM_PREV	TM_REAL	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	SD
0.0	T00	T11	1														
5.5	T10	T21	1	2	5												
14.0	T20	T31	1	2	8												
15.0	T30	T41	1	0	1												
20.0	T00	T11	2	2													
25.5	T10	T21	2	2	5												
34.0	T20	T31	2	2	8												
35.0	T30	T51	2	0	1												
41.9	T00	T11	3	2													
47.4	T10	T21	3	2	5												
55.9	T20	T31	3	2	8												
56.9	T30	T61	3	0	1												
63.8	T00	T11	4	2													
69.3	T10	T21	4	2	5												
75.5	T40	T71	1	0	60.												
77.8	T20	T31	4	2	8												
78.8	T30	T41	4	0	1												
84.7	T70	T81	1	2	8												
85.8	T00	T11	5	2													
86.9	T80	TK	1	2	1												
91.3	T10	T21	5	2	5												
95.6	T50	T71	2	0	60.												
99.8	T20	T31	5	2	8												
100.8	T30	T51	5	0	1												
104.8	T70	T81	2	2	8												
107.0	T80	TK	2	2	1												
117.6	T60	T71	3	0	60.												
126.6	T70	T81	3	2	8												
128.8	T80	TK	3	2	1												
139.3	T40	T71	4	0	60.												
148.5	T70	T81	4	2	8												
150.7	T80	TK	4	2	1												
161.4	T50	T71	5	0	60.												
170.6	T70	T81	5	2	8												
172.8	T80	TK	5	2	1												

QUADRO 5.9 - Tabela ordenada das operações

SEQUENCIA OPTIMA

TN_OUT	TN_IN	BAST
0	1	1
1	2	1
2	3	1
3	4	1
4	0	
0	1	2
1	2	2
2	3	2
3	5	2
5	0	
0	1	3
1	2	3
2	3	3
3	6	3
6	0	
0	1	4
1	2	4
2	4	
4	7	1
7	2	
2	3	4
3	4	4
4	7	
7	8	1
8	0	
0	1	5
1	8	
8	0	1
0	1	
1	2	5
2	5	
5	7	2
7	2	
2	3	5
3	5	5
5	7	
7	8	2
8	0	2
0	6	
6	7	3
7	8	3
8	0	3
0	4	
4	7	4
7	8	4
8	0	4
0	5	
5	7	5
7	8	5
8	0	5

QUADRO 5.10 - Sequência Ótima

5.4. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, através de dois ensaios realizados são evidenciados os resultados seguintes:

1. O programa implementa a carga alternada dos tanques electrolíticos;
2. Existe um aumento efectivo da produção da linha. No caso da simulação de uma tarefa na linha galvânica da fábrica Stone, calculou-se um aumento de produção de 60%;
3. Verifica-se grande estabilidade nos tempos de imersão dos bastidores nos tanques onde se realizam operações electrolíticas;
4. O programa consegue criar a mesma estrutura de ficheiros para linhas com parâmetros diferentes.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. INTRODUÇÃO

Neste último capítulo é apresentado, em primeiro lugar, um resumo do trabalho desenvolvido durante a elaboração do projecto que conduziu à apresentação desta dissertação.

Num segundo parágrafo são apresentadas conclusões extraídas do estudo realizado sobre linhas galvânicas e que realçam as vantagens do produto do trabalho realizado: o programa Sequenciador.

Finalmente num último parágrafo são referidos os desenvolvimentos futuros possíveis. São referidos trabalhos que é possível desenvolver relativamente ao problema abordado. São também referidos outros problemas que, não estando directamente relacionados com o problema da sequenciação abordado, estão directamente ligados a um projecto de automação de uma linha galvânica.

6.2. RESUMO DO TRABALHO

A primeira etapa realizada neste trabalho, durante a análise do problema (primeira fase do projecto de automação), foi um estudo de linhas galvânicas. Foram estudados desde os princípios físicos e químicos das operações realizadas nos tanques até aos aspectos mecânicos e técnicos, para um entendimento claro dos problemas que envolvem o funcionamento de uma linha galvânica.

No capítulo 2 é realizada a descrição de uma linha galvânica concreta. São apresentadas as suas características, são descritas as operações realizadas em cada tanque e é também apresentado o seu modo actual de funcionamento.

Actualmente a maioria das linhas galvânicas funciona ainda manualmente. Contudo, mesmo aquelas que já têm um controlo automático dos movimentos da torre transportadora funcionam segundo ciclos rígidos. São ditos rígidos estes ciclos, por que eles são independentes do número de bastidores presentes na linha. Isto é, a torre executa sempre os mesmos movimentos, independentemente da presença ou não de bastidores.

Num projecto de automatização de uma linha galvânica, além desta rigidez verificada no ciclo de movimentos da torre, este ciclo é estabelecido manualmente, e de um modo empirico. Esta é uma das principais razões conducentes à

obtenção de rendimentos de produção das linhas muito abaixo das suas possibilidades.

A pesquisa automática deste ciclo de movimentos da torre constitui o tema central desta dissertação. O problema que se põe é pois o de determinar, não um ciclo rígido, mas a sequência ideal, para que a linha funcione na sua máxima cadência, permitindo assim a sua máxima utilização. Trata-se de uma sequência que maximiza a produção (isto é permite o maior número possível de bastidores por unidade de tempo), garantindo os tempos de imersão em cada banho.

No capítulo 3 é apresentada uma metodologia para o estabelecimento dessa sequência: a "Sequência Ótima".

É feita uma generalização do problema da Sequenciação e Temporização, de modo a que o trabalho realizado seja directamente aplicável a uma linha galvânica qualquer, e não apenas ao projecto de uma em particular (como é o caso da linha galvânica da fábrica Stone).

Para tal é realizada a identificação dos parâmetros que variam de linha para linha e de tarefa para tarefa, e que determinam a sequência de movimentos da torre; por exemplo, o número de tanques da linha e o tempo de imersão em cada tanque.

São também estabelecidos critérios gerais segundo os quais a otimização deve ser feita. São apresentados, por um lado, critérios para maximizar o número de bastidores na linha e, por outro lado, critérios para garantir as tolerâncias impostas aos tempos de imersão em cada tanque.

Estabelecidos os critérios, e definidos os parâmetros, é apresentada a metodologia para obter a Sequência Ótima. Partindo do que já existia na fábrica Stone (o que existe é uma tabela em que os tempos das operações de entrada e saída dos bastidores nos sucessivos tanques vão sendo registados pelo operador), foi criado um modelo sobre o qual é feita a simulação da evolução da torre durante o período do ciclo de uma tarefa, sendo calculados os instantes de entrada e saída dos bastidores em cada tanque. Este cálculo é feito tendo em conta os tempos gastos pela torre transportadora ao longo da linha. Esses tempos, sendo ordenados por ordem crescente estabelecem a ordem pela qual as operações devem ser feitas. Esta ordenação ao ser realizada tem em conta as prioridades estabelecidas pelos critérios. É assim realizada a gestão automática de uma tabela de tempos dinamicamente actualizada.

No capítulo 4 é apresentado o programa desenvolvido em linguagem Clipper, a que se dá o nome de Sequenciador, que realiza a estratégia estabelecida.

Um primeiro módulo do programa realiza a aquisição de dados. Um segundo módulo gera uma base de dados (ficheiro com extensão .DBF) que constitui um Quadro de Tempos de entradas e saídas dos bastidores em cada banho, semelhante ao que é manualmente escrito pelo operador.

Com base nesta DBF um terceiro módulo do programa realiza a pesquisa da Sequência Óptima, procedendo à ordenação por ordem crescente dos tempos de saída dos bastidores de cada tanque. Contudo esta ordenação é uma ordenação "inteligente" porque dentro das imposições estabelecidas pelos critérios, esta ordenação nem sempre é aquela estabelecida pelo quadro de tempos. A Sequência Óptima é o resultado desta ordenação das operações pelos tempos, respeitando as restrições dos critérios estabelecidos.

Um último módulo de programa permite visualizar no monitor, a simulação dos movimentos da torre ao longo da linha de acordo com a sequência estabelecida.

No capítulo 5 são apresentados e comentados os resultados relativos a dois ensaios realizados.

No primeiro é simulada uma operação realizada na linha galvânica da fábrica Stone. Os parâmetros são os que caracterizam essa linha e a produção de um dado circuito impresso. Ressaltam nesta simulação dois aspectos

fundamentais: a estabilidade dos tempos de imersão em cada tanque e o aumento da produção da linha em cerca de 60%.

No segundo ensaio é testada a capacidade do programa gerar a sequência óptima para uma linha galvânica qualquer. É realizada uma simulação de uma linha hipotética com um número diferente de tanques e o programa realiza todo o processamento normal indicando qual a sequência óptima.

6.3. CONCLUSÕES

Foi criada uma ferramenta não só para gestores de linhas galvânicas mas também para projectistas de linhas galvânicas automáticas. Esta ferramenta gera automaticamente a "Sequência Óptima" de deslocações da torre transportadora ao longo da linha. O programador do autómato que irá controlar a linha não mais terá um trabalho prévio moroso para se estabelecer a sequência de operações a implementar.

A utilização do programa desenvolvido traz as vantagens que a seguir se referem.

1. Até agora o ciclo de movimentos da torre estabelecido era um ciclo rígido. A torre executava sempre os mesmos movimentos independentemente do número de bastidores presentes na linha. A sequência gerada por este programa é sensível ao número de bastidores na linha. Na fase de carga e na fase de descarga o ciclo de movimentos é diferente daquele que é executado durante o regime permanente. Estabelece-se o conceito de ciclo de tarefa.

2. Consegue-se um aumento da qualidade devido à estabilidade obtida nos tempos de imersão dos bastidores nos tanques electrolíticos. A igualdade dos tempos de imersão traduz-se numa igualdade de espessuras de cobre nos circuitos impressos numa mesma série de produção.

3. Verifica-se uma diminuição da mão-de-obra necessária ao funcionamento da linha e também uma diminuição de erros devidos a falha humana.

4. Consegue-se um aumento da produção. A linha funciona na sua máxima cadência permitindo assim tirar o máximo rendimento duma máquina que muitas vezes é o mais caro equipamento de toda a fábrica.

5. Este programa consegue a realização de um registo histórico de uma tarefa, pela sua possibilidade de funcionar em tempo real controlando directamente o autómato.

6. O Planeamento da Produção pode utilizar o programa para simulação de diferentes situações de produção, e permite uma melhor definição de tarefas a realizar.

6.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Na continuação do problema abordado, prespectiva-se o desenvolvimento de um programa que a partir do ficheiro ASCII que contém a Sequência Óptima, gera automaticamente o programa para o autómato. A dificuldade é a especificidade das linguagens próprias dos autómatos (cada marca tem a sua). Numa primeira abordagem julga-se razoável desenvolver esse programa para uma linguagem específica, como por exemplo a linguagem STEP 5, própria para os autómatos da Siemens.

Em áreas directamente ligadas à automação de uma linha galvânica, apontam-se os seguintes tópicos para desenvolvimentos futuros.

1. Desenvolver um módulo de programação para controlo das intensidades de corrente eléctrica nos tanques electrolíticos. Estas correntes, sendo função da área a metalizar, devem ser ajustadas de cada vez que um bastidor sai de um tanque electrolítico, para que os bastidores que ainda permanecem nesse tanque não fiquem sujeitos a uma intensidade de corrente superior à que para ele foi estabelecida. Actualmente esta correcção de intensidades é realizada manualmente. Como o programa tem, em cada instante a informação da ocupação dos tanques electrolíticos (quantas posições estão ocupadas e qual a área a metalizar em cada

bastidor) torna-se possível desenvolver um programa para controlo das intensidades de corrente.

2. A robotização da carga e descarga para eliminar o último elo humano numa cadeia automática.

3. Projectar mecanismos de remoção dos bastidores dos tanques críticos em caso de avaria. Prever a instalação de um autómato que funcione em paralelo com o sistema e que, no momento da avaria memorize a posição do programa, corte as correntes que alimentam os tanques electrolíticos e remova os bastidores que estejam colocados em tanques críticos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] STONE: Manuais de processos fabris.
- [2] SIEMENS: Manual de programação da linguagem "Step 5".
- [3] MANDADO PEREZ, Enrique; MARCOS ACEVEDO, Jorge; PEREZ LOPEZ, Serafin Alfonso: Controladores Logicos y Automatas Programables. Marcombo: 1990.
- [4] PAYNE, James A.: Introduction to Simulation. Programming Techniques and Methods of Analysis. McGraw-Hill: 1988.
- [5] SHANNON, R.E.: "System Simulation: The Art and Science". Prentice-Hall, Englewood Cliffs: 1975.
- [6] ZINKY, Margaret; WERNER, Justin; DONALSON, Bruce: Programming in Clipper. McGraw-Hill: 1989.
- [7] RAMALHO, José António: Clipper 5.0. Guia de Referência do Programador. Makron Books: 1991.
- [8] HABERKORN, Ernesto M.; COSENTINO, Laércio J.L.: Clipper: Modelos de Programas. Atlas: 1990.
- [9] TREMBLEY, Jean-Paul; SORENSON, Paul G.: An Introduction to Data Structures with Applications. McGraw-Hill: 1984.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000034688