

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção
Curso de Engenharia de Produção

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE PPCP NA
MANUFATURA DE PAINÉIS ELÉTRICOS SOB ENCOMENDA
– ESTUDO DE CASO**

Carlos Eduardo Monteiro de Sá

TCC-EP-11-2009

**Maringá - Paraná
Brasil**

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção
Curso de Engenharia de Produção

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE PPCP NA
MANUFATURA DE PAINÉIS ELÉTRICOS SOB ENCOMENDA
– ESTUDO DE CASO**

Carlos Eduardo Monteiro de Sá

TCC-EP-11-2009

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito de avaliação no curso de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Maringá – UEM.

Orientadora: Prof.^a: M.Sc. Maria de Lourdes Santiago Luz

**Maringá - Paraná
2009**

AGRADECIMENTOS

Obrigado à minha família pelo apoio durante toda a minha jornada até o fim desta etapa da vida e começo de muitas outras.

Obrigado à professora Maria de Lourdes, pelos ensinamentos e orientações neste trabalho e em suas aulas.

Agradeço à turma da sala e desejo muito sucesso pela frente e que possamos nos encontrar sempre: Robson, Péricles, João Manoel, João Guilherme, Humberto, Crys, Renata, Josi, Pedro, Mineiro, Casimiro e Madruga.

RESUMO

Com a finalidade de apresentar um modelo-exemplo na obtenção da rede de produção de painéis elétricos sob encomenda, o trabalho irá destacar as metodologias e conceitos aplicados na prática desta atividade em uma empresa de engenharia. Foram realizados estudos referentes ao sistema PERT/CPM (teoria aplicada a essa prática) voltados à obtenção de um modelo de produção que poderá ser usado na organização para planejamento do sistema PPCP da organização. Sob esse sistema, coletou-se e organizaram-se os dados referentes à produção dos painéis elétricos e assim, criou-se a rede PERT/CPM para o sistema produtivo em questão podendo então, através deste, obter o modelo padrão das atividades necessárias para confecção do produto analisado. A empresa obteve assim um cronograma concreto das atividades pertinentes ao seu processo de fabricação, podendo a partir de então avaliar com antecedência seus recursos produtivos e níveis de utilização sob uma perspectiva de curto a longo prazo, além de oferecer mais precisão e flexibilidade de variação quanto às datas de término de processo.

Palavras-chave: Planejamento e Controle da Produção, Produção sob encomenda, PERT/CPM.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	1
1.2 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 <i>Objetivos gerais</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	4
2.1 PPCP: CONCEITOS	4
2.1.1 <i>Componentes do PPCP</i>	4
2.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO	7
2.2.1 <i>Fatores de classificação</i>	8
2.2.1.1 Grau de padronização dos produtos.....	9
2.2.1.2 Tipo de operação	9
2.2.1.3 Ambiente de produção.....	12
2.2.1.4 Fluxo dos processos.....	13
2.2.1.5 Natureza dos produtos	13
2.3 O PPCP E O SISTEMA SOB ENCOMENDA (PROJETOS)	14
2.3.1 <i>A técnica PERT/CPM</i>	15
2.3.1.1 Origem e aplicabilidade.....	16
2.3.1.2 Representando um projeto	17
2.3.1.2.1 Conceituação gráfica	19
2.3.1.2.2 Tempos e métodos.....	22
2.3.1.2.3 Caminho crítico e folgas.....	26
2.3.1.3 Controle de projetos	28
3 ESTUDO DE CASO.....	31
3.1 A EMPRESA	31
3.1.1 <i>Infra-estrutura física</i>	32
3.2 DEMANDA DO ESTUDO	32
3.3 METODOLOGIA	33
3.3.1 <i>Processo produtivo</i>	33
3.3.1.1 Detalhamento da montagem técnica.....	34
3.3.1.2 Caracterização das atividades produtivas	39
3.3.2 <i>Coleta e organização dos dados</i>	43
3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	49
3.4.1 <i>Rede PERT</i>	52
3.4.2 <i>Caminho crítico</i>	54
3.5 AUXÍLIO NA PRODUÇÃO	55
3.5.1 <i>Ajuste de recursos</i>	55
3.5.2 <i>Cronograma</i>	56
4 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICES.....	62
APÊNDICE A – Ficha De Serviço Executado	
APÊNDICE B – Rede Pert na Construção do Painel Elétrico	
GLOSSÁRIO	63

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: DINÂMICA DO SISTEMA PRODUTIVO.	7
FIGURA 2: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS.	11
FIGURA 3: REDE DE UM PROJETO.	18
FIGURA 4: GRÁFICO DE GANTT.	19
FIGURA 5: EXEMPLO DE RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADES NUMA REDE PERT/CPM.	20
FIGURA 6: EXEMPLO DE ATIVIDADES COM MESMOS NÓS INICIAIS E FINAIS.	21
FIGURA 7: ATIVIDADES FANTASMAS.	22
FIGURA 8: REDE COM TEMPOS PROBABILÍSTICOS.	22
FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO DE EVENTO NA REDE PERT.	25
FIGURA 10: REDE COM TEMPOS PROBABILÍSTICOS.	26
FIGURA 11: ATIVIDADE CRÍTICA.	27
FIGURA 12: CAMINHO CRÍTICO DA REDE PERT.	29
FIGURA 13: EXEMPLO DE CRONOGRAMA.	29
FIGURA 14: ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA EMPRESA.	31
FIGURA 15: FLUXOGRAMA COMPLETO DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DO PAINEL ELÉTRICO.	34
FIGURA 16: EXEMPLO DE PAINEL ELÉTRICO FABRICADO PELA EMPRESA.	35
FIGURA 17: DIAGRAMA UNIFILAR DOS ACIONAMENTOS CONTIDOS EM UM PAINEL ELÉTRICO.	36
FIGURA 18: ARMÁRIO MODULAR PARA MONTAGEM DO PAINEL.	37
FIGURA 19: PORTA E CHAPA DE MONTAGEM DO PAINEL SENDO CORTADOS.	38
FIGURA 20: MONTAGEM DOS COMPONENTES ELÉTRICOS NAS CHAPAS DE MONTAGEM.	38
FIGURA 21: INSTALAÇÃO ELÉTRICA NO PAINEL.	39
FIGURA 22: QUADRO DE ENUMERAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MONTAGEM.	42
FIGURA 23: FLUXO DE CONFECCÃO DO PAINEL ELÉTRICO NO SETOR DE MONTAGEM.	43
FIGURA 24: FICHA DE CONTROLE DE TEMPOS DE PRODUÇÃO NO SETOR DE MONTAGEM.	44
FIGURA 25: GRÁFICO DE DURAÇÃO DA PRODUÇÃO DO PAINEL ELÉTRICO.	51
FIGURA 26: REDE PERT NA CONSTRUÇÃO DE UM PAINEL ELÉTRICO.	53
FIGURA 27: REDE PERT COM RECURSOS ALOCADOS.	54
FIGURA 28: GRÁFICO DE GANTT COM DOIS PROJETOS.	57
QUADRO 1: PRAZOS, ATIVIDADES E OBJETIVOS PARA A TOMADA DE DECISÃO NAS EMPRESAS.	5
QUADRO 2: CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.	8
QUADRO 3: EXEMPLO REDUZIDO DE LISTA DE MOTORES PARA ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA UNIFILAR.	36
QUADRO 4: IDENTIFICAÇÃO NUMÉRICA DAS ATIVIDADES DE MONTAGEM.	41
QUADRO 5: RECURSOS DE MÃO DE OBRA DISPONÍVEL.	51
QUADRO 6: VARIAÇÃO DO TEMPO TOTAL DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DO VOLUME DE RECURSOS.	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: LISTA DE ATIVIDADES E DEPENDÊNCIAS	23
TABELA 2: LISTA DE ATIVIDADES E DEPENDÊNCIAS NO MODELO PROBABILÍSTICO.....	24
TABELA 3: TEMPOS DE PRODUÇÃO NO PAINEL ELÉTRICO (H)	46
TABELA 4: COMPILAÇÃO DOS TEMPOS DE PRODUÇÃO	47
TABELA 5: VARIAÇÃO DO TEMPO CORRIDO DE PRODUÇÃO PELO NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS	48
TABELA 6: ATIVIDADES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAINEL ELÉTRICO JUNTAMENTE COM TEMPOS, RECURSOS E DEPENDÊNCIAS	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PPCP	Planejamento e Controle da Produção
PMP	Plano Mestre de Produção
CODP	<i>Customer Order Decoupling Point</i>
MTS	<i>Make to Stock</i>
ATO	<i>Assemble to Order</i>
MTO	<i>Make to Order</i>
ETO	<i>Enginner to Order</i>
EPE	Empresas de Produção sob Encomenda
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
PDI	Primeira Data de Início
PDT	Primeira Data de Término
UDI	Última Data de Início
UDT	Última Data de Término
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
FSE	Ficha de Serviço Executado
ID	Identificação

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Duração Otimista na distribuição beta
M	Duração Provável na distribuição beta
B	Duração Pessimista na distribuição beta
T	Duração Média na distribuição beta
β	Distribuição Beta
σ^2	Variância
j	Evento de uma rede PERT
i	Atividade de uma rede PERT
$C(j)$	Cedo de uma atividade da rede PERT
$T(j)$	Tarde de uma atividade da rede PERT
D	Duração de uma atividade

1 INTRODUÇÃO

Para uma organização se manter competitiva é notório a necessidade de meios que garantam o melhor controle do sistema produtivo da mesma, reduzindo, direta ou indiretamente, os custos e melhorando a qualidade dos serviços prestados. O estudo será voltado para a coordenação do controle da produção, utilizando os conceitos da técnica PERT/CPM, sob o sistema produtivo sob encomenda em uma empresa de painéis elétricos, com finalidade de auxílio às práticas de PPCP para a organização. Por meio da utilização dos métodos de caminho crítico estabelecerá-se a programação da produção diante da solicitação de um pedido visando, como princípio, atender as datas de entrega, que é um fator crucial para a contratação do serviço por parte dos clientes. Verifica-se atualmente que o sistema produtivo apresenta falhas que comprometem o andamento das obras nas quais esses painéis são necessários.

1.1 Justificativa

Devido ao crescimento da competitividade entre os setores do mercado atual é visível a necessidade de um diferencial produtivo, seja ele interno ou externo, na obtenção de maiores ganhos diretamente ligados à racionalização da produção.

Com o agravamento da crise do início do ano de 2009, algumas empresas no setor de engenharia elétrica proveram cortes de funcionários, muitas vezes especializados, o que irá alimentar a demanda de trabalhos indiretos no mercado, agravando a situação das médias e grandes empresas que possuem toda uma estrutura para manter em função do serviço prestado.

Uma análise feita em uma empresa do ramo de prestação de serviço em engenharia elétrica e montagem de painéis elétricos, localizada em Maringá, que tem seu foco voltado para o setor agroindustrial, apresenta necessidade de um sistema de gestão produtiva, visando racionalizar a contratação e utilização de funcionários e materiais de suprimento na produção dos painéis elétricos, de maneira que melhor se adapte à demanda sazonal do mercado.

Os principais clientes da empresa são, geralmente, grandes armazenadores de cereais (soja e milho) localizados nas regiões norte do Paraná, interior de São Paulo, Mato Grosso e Goiás, e sua demanda tem seu ápice nos extremos do ano, mais precisamente nas épocas de safra (novembro a abril).

A falta de dados do processo produtivo da empresa impede que seja elaborado um sistema de controle na produção dos painéis elétricos, impossibilitando uma análise das capacidades e não fornecendo parâmetros para que se estime o tempo de entrega do produto para o cliente.

O trabalho será realizado no setor de montagem de painéis elétricos, atendendo ao fato da necessidade de melhorias no sistema de manufatura desse produto sob encomenda, com a implantação de um sistema de controle de produção, preparando o setor para a introdução de um sistema maior de Programação e Controle da Produção (PPCP).

O estudo busca, por meio das análises do sistema produtivo e implantação dos sistemas de controle, eliminar a imprecisão ocorrente nas datas de entrega dos painéis que afetam diretamente o planejamento dos clientes e da empresa em questão e racionalizar a compra e manutenção de insumos e equipamentos, pois, segundo Tubino (2007), o PPCP administra e coordena os planos definidos no nível estratégico, tático e operacional de forma a integrar as informações dos setores envolvidos, como engenharia, compras, suprimentos e recursos humanos.

1.2 Definição e Delimitação do Problema

Apesar de ter uma especialização elevada, o sistema de manufatura de painéis elétricos sob encomenda apresenta uma clara caracterização dos módulos encomendados, podendo assim ser estudado táticas de análises para definir um controle da produção consistente ao setor. Isso irá abranger, em primeira etapa, a mensuração da capacidade produtiva (*lead times* de produção), para estudo da melhor forma de trabalhar com o processo, e, posteriormente, um possível ajuste no *layout* produtivo atual, que é hoje posicional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

O trabalho visa elaborar um controle da produção fundamentado nas técnicas de manufatura sob encomenda, que atenda aos prazos e características estabelecidos pelo projeto do cliente e contribuir para a verificação da capacidade produtiva por parte da empresa e elaborar a programação de forma que priorize a data de entrega dos produtos e a aquisição dos recursos necessários.

1.3.2 Objetivos específicos

Analisar o sistema produtivo atual para caracterizar a produção e estratificá-la para as equipes de produção, a fim de contribuir para a implantação do planejamento, programação e controle da produção.

Analisar os insumos de produção para uma melhor integração entre almoxarifado e compras de materiais visando otimizar o processo de programação da produção.

2 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

2.1 PPCP: Conceitos

Para iniciar o estudo de um controle no sistema de produção, deve-se primeiro levantar alguns fatores que englobam tal controle, que, em contexto geral, está inserido nas teorias de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP) e, em cima desse contexto, direcionar as pesquisas para o sistema produtivo.

O PPCP ancora sua importância em um processo produtivo sob a justificativa de aspectos como: melhoria contínua, criação de sistemas flexíveis, sustentáveis, com projeto e desenvolvimento de novos produtos de maneira ágil e redução de *lead times* e estoques (LUSTOSA et al., 2008). Para isso, o PPCP deve agir como um sistema de transformação de informações (MARTINS E LAUGENI, 2005), pois recebe informações de vendas, estoques, linhas de produtos, modo de produzir e capacidade produtiva e as transforma em ordens de fabricação.

Slack et al. (2002) comenta sob a importância da função produção em uma organização em obter vantagem baseada na própria produção e cita cinco fatores de desempenho para alcançar tal vantagem: qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo. Todos esses fatores interferem no custo das atividades da empresa, assim sendo, busca-se a otimização de tais aspectos afim de que se tenha uma redução desses custos para a organização.

2.1.1 Componentes do PPCP

A administração de um sistema produtivo espera ter controle de certos fatores em seu processo que permitam adquirir vantagens nas tomadas de decisões. Corrêa (2001) cita vantagens como planejar as necessidades futuras de capacidade produtiva da organização, planejar os materiais comprados, planejar os níveis adequados de estoques de matérias-primas, semi-acabados e produtos finais nos pontos certos, programar atividades de produção para garantir que os recursos produtivos envolvidos estejam sendo utilizados nas demandas

certas e prioritárias, ser capaz de saber e de informar corretamente a respeito da situação corrente dos recursos e das ordens, de prometer os menores prazos possíveis aos clientes e depois fazer cumpri-los e reagir eficazmente.

Para tal controle, Tubino (2007) define que o processo de transformação de insumos em produtos é realizado sob prazos, onde são feitos planos de produção e disparadas ações afim de que se obtenha a saída desejada (bem ou serviço) nesse prazo.

Lustosa et al.. (2008) comenta que o PPCP vincula-se ao processo produtivo com horizontes de tempo do longo ao curto prazo, evidenciando-se três níveis de planejamento do PPCP: o nível estratégico, com coordenações de longo prazo, o nível tático, de médio prazo e o operacional, com planos de curto prazo.

O PPCP tem suas atividades separadas em três níveis hierárquicos de uma organização, uma para cada horizonte de prazo da produção, para as funções de planejamento e controle das atividades produtivas (TUBINO, 2007). No horizonte de longo prazo desenvolve-se o Plano de Produção, em médio prazo o Plano Mestre e em curto prazo a Programação da Produção (Quadro 1).

Prazos	Atividades	Objetivos
Longo	Plano de Produção	Previsão de Capacidade de Produção
Médio	Plano Mestre	Planejamento de Capacidade
Curto	Programação	Produção

Quadro 1: Prazos, atividades e objetivos para a tomada de decisão nas empresas

Fonte: Adaptado de Tubino, 2007.

- Plano de Produção:

Desenvolvido no nível estratégico da organização, o Plano de Produção busca definir a capacidade de produção da planta segundo dados de demanda e recursos financeiros e produtivos a longo prazo, normalmente trabalhando com famílias de produtos e adequação dos recursos produtivos a essa demanda (TUBINO, 2007). Lustosa et al. (2008) cita algumas

questões, dentre outras, que devem ser respondidas no nível estratégico para definição dos objetivos:

- Qual a demanda do mercado?
- Qual a capacidade da planta a ser instalada?
- Qual o *mix* de produção?

- Plano Mestre:

Atividade de nível tático que estabelece planos de médio prazo à organização. O Plano Mestre de Produção (PMP) estabelece, dentre as famílias de produtos definidas no Plano de Produção, os itens que fazem parte destas famílias e, com o PMP já estabelecido, analisar a necessidade de recursos produtivos para identificar possíveis gargalos no sistema (TUBINO, 2007). Martins e Laugeni (2005) comentam sobre a atuação na oferta de recursos e/ou demanda para controlar as capacidades da empresa frente à demanda avaliada. Essa atuação se dá por admissão/demissão, horas extras, subcontratações e níveis de estoques, para recursos e preço de venda, promoção e atraso na entrega para demanda.

Para a criação do PMP, de acordo com Lustosa et al. (2008), pode-se avaliar, dentre outras, as seguintes questões:

- Que política de produção pode ser empregada?
- Quais insumos necessários?
- Qual o tipo do sistema produtivo?
- Qual o preço final e custo de produção?

- Programação da Produção:

Desenvolvida para o nível operacional, a Programação da Produção gerencia insumos, estoque, ordem de produção, ordem de compras, sequenciamento e controle do processo produtivo (LUSTOSA et al., 2008). Segundo Tubino (2007, p. 4) essa etapa não deve apresentar problemas uma vez que foram providenciados os recursos necessários no Plano de Produção e os gargalos foram equacionados com o PMP.

Lustosa et al. (2008) também define algumas questões para o desenvolvimento da Programação da Produção:

- Qual o tamanho do lote?
- Quanto deve ser produzido?
- Em que máquina deve ser produzido?
- Qual o sequenciamento de produção?

Essas são as atividades desenvolvidas para cada horizonte de planejamento do PPCP. Apesar de serem padrões, suas características variam de acordo com o sistema produtivo da organização e a relação com as atividades produtivas.

2.2 Sistemas de Produção

Para Moreira (1996), sistema de produção é “o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços”.

Tubino (2007) define que o sistema de produção abrange, além da produção de bens tangíveis, a geração de produtos intangíveis, vindo o sistema produtivo a ser chamado de Prestador de Serviços. Ambos os produtos gerados (bens ou serviços) tem seus sistemas produtivos voltados a transformar insumos em produtos úteis aos clientes, como exemplificado na Figura 1.



Figura 1: Dinâmica do sistema produtivo.

Fonte: LUSTOSA, 2008.

Martins e Laugeni (2005) citam que, além da manufatura de bens ou prestação de serviços, um sistema produtivo tem também por objetivo o fornecimento de informações.

2.2.1 Fatores de classificação

A implantação de um sistema PPCP leva em conta o sistema produtivo de destino que, segundo Tubino (2007), a sua classificação está atrelada à sua complexidade de gerenciamento, a qual está relacionada ao grau de padronização dos produtos e o conseqüente volume de produção demandado pelo mercado. O autor comenta que a classificação do sistema não depende do produto em si, mas da forma como os sistemas são manejados para atender à demanda.

De acordo com Lustosa et al. (2008), além da padronização dos produtos, o sistema produtivo pode ser classificado pelos tipos de operações que os produtos sofrem, o ambiente de produção, o fluxo de processo e a natureza do produto, como apresentado no Quadro 2.

TIPO DE CLASSIFICAÇÃO	CARACTERISTICAS
Grau de padronização dos produtos	<ul style="list-style-type: none"> ● Produtos padronizados ● Produção sob medida ou personalizada
Tipo de Operação	<ul style="list-style-type: none"> ● Processos contínuos (larga escala) ● Processos discretos ● Repetitivos em massa (larga escala) ● Repetitivo em lotes (<i>flow shop</i>, linha de produção) ● Por encomenda (<i>job shop</i>, <i>layout</i> posicional fixo)
Ambiente de Produção	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Make-to-stock</i> (MTS) ● <i>Assemble-to-order</i> (ATO) ● <i>Make-to-order</i> (MTO) ● <i>Enginner-to-order</i> (ETO)
Fluxo dos processos	<ul style="list-style-type: none"> ● Processos em linha ● Processos em lote ● Processos por projetos
Natureza dos Produtos	<ul style="list-style-type: none"> ● Bens ● Serviços

Quadro 2: Classificação dos sistemas de produção.

Fonte: LUSTOSA, 2008.

2.2.1.1 Grau de padronização dos produtos

Refere-se à variação entre a produção de produtos padronizados, que são bens ou serviços com alto nível de uniformidade, geralmente, em grande escala onde os sistemas produtivos podem ser organizados para padronizar os recursos produtivos, métodos de trabalho e controles a produção de produtos sob medida, com alto índice de especificidade, voltado para a preferência do cliente e com alto custo de produção, dificuldade de padronização dos métodos de trabalho e recursos produtivos (LUSTOSA et al., 2008).

Para Strumiello apud Direne (1999, p. 11), o grau de controle sobre a produção é caracterizado da seguinte forma: “[...] quanto mais padronizado o produto, maior a confiabilidade do controle em seu processo e menor a sua flexibilidade”.

2.2.1.2 Tipo de operação

Os sistemas produtivos podem ser classificados em processo contínuos, com a produção de bens ou serviços que não podem ser identificados individualmente, ou discretos, classificados como sistema em massa, lotes ou sob encomenda que podem ser isolados separadamente em lotes ou unidades (TUBINO, 2007).

De acordo com Lustosa et al. (2008), o processo de produção contínuo apresenta alta uniformidade de produção, com produtos e processos altamente interdependentes com baixo nível de flexibilidade, como por exemplo, uma indústria de recebimento, limpeza e armazenamento de cereais (soja, milho, etc.). Já nos processos discretos podem-se avaliar suas variações como:

- Repetitivo em massa:

Assemelham-se ao sistema contínuo de produção, porém, não são passíveis de automatismo por exigir a participação de mão-de-obra especializada para transformação do produto (TUBINO, 2007). O autor acrescenta que a demanda por esses produtos é estável e seu

projeto tem pouca alteração de curto prazo, o que possibilita a utilização de linhas de montagem de alta especialização e baixa flexibilidade.

Slack et al. (1996) acrescenta que as operações nesse sistema são repetitivas e previsíveis devido ao seu alto grau de padronização.

Alguns exemplos desse modelo são as indústrias de automóvel, eletrodomésticos, produtos têxteis, cerâmicos, serviços de transporte aéreo, revista entre outros.

- Repetitivo em lote:

Este sistema apresenta volume médio de bens e serviços padronizados em lotes com a necessidade de programação das operações à medida que outras forem sendo realizadas (LUSTOSA et al., 2008). Possui flexibilidade mediana, com equipamentos de pouca especialização e mão-de-obra polivalente para se ajustar às flutuações da demanda e os diferentes pedidos dos clientes. Para Slack et al. (1996, p. 136), esse processo “[...] pode ser baseado em uma gama mais ampla de níveis de volume e variedade do que outros tipos de processo”.

Tubino (2007) acrescenta que os equipamentos podem ser agrupados em centros de trabalho identificados como departamentos.

O autor comenta também que esse sistema se encontra entre os dois extremos (produção em massa ou por projeto) do tipo de operação, no qual a quantidade solicitada é insuficiente para ser enquadrada como produção em massa, mas justifica a utilização de lotes econômicos para absorver os custos de preparação (*setup*).

Alguns exemplos desse tipo de produção é a fabricação de produtos têxteis em pequena escala, alimentos industrializados, serviços de reparos em bens, etc.

- Por projeto:

Slack et al. (1996) destaca esse processo pelo baixo volume de produção e alta variabilidade dos itens com recursos dedicados exclusivamente para o projeto.

Como citado por Lustosa et al. (2008, p. 21), a produção por projeto “atende a uma necessidade específica do cliente”, onde a organização possui uma estreita relação com o cliente, propiciando alta flexibilidade dos recursos em detrimento da ociosidade.

Essa estreita ligação com o cliente atendendo às suas especificações, segundo Tubino (2007), faz com que a empresa tenha uma organização dedicada ao projeto, impossibilitando assim a preparação com antecedência de estoques intermediários para acelerar o *lead time* de produção.

Podem-se citar exemplos de processo por projetos como a fabricação de navios, avião, usinas, agencia de propaganda, processo judicial, etc.

Com base em todas as características apresentadas, percebe-se que os sistemas de produção apresentam diferentes fatores, que variam entre a produção em massa até a produção sob encomenda e que deve ser levado em conta na caracterização desses sistemas, como demonstra a Figura 2.

Contínuos Massa	Repetitivos em Lotes	Sob Encomenda
Alta	Demanda/Volume de Produção	Baixa
Baixa	Flexibilidade/Variedade de itens	Alta
Curto	<i>Lead Time</i> Produtivo	Longo
Baixos	<i>Custos</i>	Altos

Figura 2: Características básicas dos sistemas produtivos.

Fonte: TUBINO, 2007.

Assim, na análise de um sistema PPCP, leva-se em conta as características da produção, como tamanho e/ou número do lote e a possibilidade de alterações das especificações dentro do mesmo lote. Leva-se em conta também a interação com o cliente e as relações de demanda e

cabe salientar que uma organização pode apresentar um pouco dos diferentes sistemas produtivos inseridos em uma mesma fábrica.

2.2.1.3 Ambiente de produção

Lustosa et al. (2008) cita essa classificação como sendo usada para caracterizar o posicionamento dos estoques e informar a complexidade do fluxo de materiais.

Para Martins e Laugeni (2005), em um sistema de manufatura discreta é função do ambiente de produção o sistema de PPCP. Esse ambiente pode ser visualizado pelo aspecto do ponto de desacoplamento ou *Customer Order Decoupling Point* (CODP), que é definido pelo autor como “[...] o ponto a partir do qual o material é identificado com um pedido específico de um determinado cliente.”. O autor acrescenta que o CODP é importante, pois define o que será produzido com base nos pedidos dos clientes.

Fora o CODP, o ambiente de produção pode ser dado pelo posicionamento dos estoques segundo alguns ambientes:

- a) **MTS** (*Make to Stock*): significa Produzir para estoque e é caracterizado por produtos padronizados para o rápido atendimento ao cliente;
- b) **ATO** (*Assemble to Order*): significa Montagem sob Encomenda e possui módulos que podem ser pré-fabricados para constituírem uma montagem posterior do produto de acordo com o pedido do cliente;
- c) **MTO** (*Make to Order*): significa Produzir sob Encomenda e é onde a produção somente se inicia depois de formalizado o pedido do cliente para com a organização;
- d) **ETO** (*Enginner to Order*): significa Engenharia por Encomenda e é utilizado quando o cliente participa desde o início do projeto.

2.2.1.4 Fluxo dos processos

Classifica-se um processo produtivo quanto ao seu fluxo na modalidade Processos em Linha, Processos em lote e Processos por projetos onde, segundo Lustosa et al. (2008):

Processo em linha: caracteriza-se pela seqüência de operações bem definida de forma linear. Os produtos fluem de uma operação a outra sob uma seqüência bem definida e preestabelecida. Esse processo pode ser classificado em produção em massa ou contínua.

Processo em lote: criação de lotes de produtos onde cada lote pode possuir uma seqüência própria de tarefas e serem produzidos em intervalos diferentes de ocupação dos recursos produtivos. Possui maior flexibilidade, porém, maior dificuldade de controle da produção.

Processo por projetos: sistemas de produção caracterizados por possuírem um único produto ou uma gama limitada e de grande porte onde as atividades são organizadas de modo que possam atender as datas de conclusão pré-estabelecidas.

2.2.1.5 Natureza dos produtos

É a diferenciação entre produtos de resultados tangíveis, como fabricar um carro, um eletrodoméstico, etc., e a fabricação de produtos que são intocáveis, ou seja, intangíveis, e podem ser sentidos ou vividos, como o transporte de pessoas, consultas ao médico ou ver um filmes (TUBINO, 2007). Esta diferenciação classifica os produtos em Bens ou Serviços, como já comentados.

A comparação se dá, além da quantificação da produção, também sob a forma de relacionamento, uma vez que em serviços o contato com o cliente é maior (FITZSIMMONS apud ZATTAR, 2001).

2.3 O PPCP e o Sistema Sob Encomenda (Projetos)

Na ótica da produção sob encomenda o relacionamento com o cliente apresenta-se como uma característica primordial. É um sistema com baixas demandas, com lotes pequenos e tendendo para a unidade. Geralmente existe uma data específica, negociada com o cliente, para entrega.

Em relação à integração com o PPCP, Tubino (2007, p. 12) diz que “A dinâmica do PPCP começa com a negociação de um projeto específico com o cliente, que necessita saber em que data o sistema produtivo consegue elaborar seu projeto”.

Nesse contexto, não se pode ter uma concepção do produto com antecedência em relação à demanda de longo prazo, mas a compra de matéria prima e peças podem ser estudadas em alguns casos (TUBINO, 2007).

Loiola (2003, p. 22) afirma ainda que os produtos “são desenvolvidos para um cliente em específico e não são estocáveis, pois os sistemas produtivos esperam a manifestação do cliente para produzir”.

Um novo projeto sendo executado é, geralmente, diferente (ou parcialmente diferente) de outro executado anteriormente, dificultando o sequenciamento da produção pela incapacidade de definir com certeza sobre o que será produzido, quando será produzido ou como será produzido, ficando essas informações definidas com a chegada do pedido e somente a partir deste que o roteiro de produção é definido, são encomendados os materiais e demais itens e iniciado a produção (NUNES et al. apud QUEZADO, 1996).

Devido ao fato dos produtos serem feitos sob encomenda para atender a necessidade específica do cliente, a mão-de-obra utilizada na confecção do produto é altamente especializada e, conseqüentemente, o produto é mais caro se comparado a outro produzido em massa (STRUMIELLO apud DIRENE, 1999). Os recursos produtivos para atender o sistema sob encomenda são organizados por centros de trabalho ou departamentos produtivos por função executada (TUBINO, 2007).

O preço desses produtos também pode ser considerado variável, uma vez que cada projeto apresenta características diferentes, repercutindo em utilização de recursos diferentes e materiais diferentes para confeccioná-lo. Kingsman e Hendry apud Souza (2002) explicam

que as Empresas de Produção sob Encomenda (EPE) participam de concorrência para adquirirem o direito de executar um serviço sendo necessário a apresentação de um preço para o serviço pretendido.

No que se refere à programação da produção, Tubino (2007) esclarece que para a empresa se comprometer com as datas de entrega, o PPCP deve dispor de um sistema de informações (APS) baseado na capacidade e recursos disponíveis para poder visualizar a data de conclusão da nova encomenda. Assim o sistema se ajustará para priorizar essa data de entrega, talvez relevando alguns fatores como ociosidade, folgas entre datas de projetos diferentes, entre outros.

Quando o produto possui um alto *lead time*, o PPCP passa a ser efetivado através de um conceito de redes, voltado para o gerenciamento de projetos. Esse método de gerenciamento produtivo se encaixa na ótica do sistema PERT/CPM, onde se permite a identificação do caminho crítico de um projeto, ou seja, levando-se em conta as atividades realizadas para formação do produto final e seus tempos de execução, desse modo, encontrando os pontos de maiores ou menores folgas. Esse tipo de análise permite a avaliação das datas de entrega e ajustar a execução das tarefas de vários projetos visando a necessidade momentânea da organização.

2.3.1 A técnica PERT/CPM

Para realização do PPCP no sistema de projetos a prioridade é alocação dos recursos para a conclusão do mesmo, visto que os prazos para entrega são fatores primordiais na contratação do serviço por parte dos clientes. Assim, utilizam-se métodos compatíveis com sistema de produção único e não repetitivo, vinculado a um PPCP de processo por projetos que possuem o início das atividades e suas conclusões correta e controladamente encadeados entre as atividades que estão acontecendo, explica Tubino (2007), essas características são direcionadas pela técnica de caminho crítico PERT/CPM.

2.3.1.1 Origem e aplicabilidade

Essas técnicas foram desenvolvidas na década de 50. Ambas foram criadas independentemente, o PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e o CPM (*Critical Path Method*), este último tendo como objetivo primordial o controle de custo do projeto explica Santos (2003), mas por apresentarem soluções semelhantes são referenciadas juntamente, como cita Tubino (2007).

Hoare (1976) comenta que a diferença entre o método PERT e o CPM é o objetivo que cada uma visa atingir. No caso do PERT, a duração das atividades e, no caso do CPM, a redução de custos. O autor ainda comenta que os métodos do caminho crítico “[...] são particularmente úteis onde um grande número de tarefas inter-relacionadas devam ser executadas, podendo qualquer uma delas ocorrer simultaneamente”.

Para Casarotto (1999), essa diferença se dá pela forma como é tratado o tempo em cada vertente, como a utilização de valores determinísticos no caso do CPM e estimativas de tempo, levando em consideração três valores distintos e a distribuição Beta, no caso do PERT.

A aplicação das técnicas PERT/CPM é possível para o planejamento e controle na produção de itens com início e fim bem definidos (HOARE, 1976). Assim, os métodos do Caminho Crítico são aplicados em áreas de produção para reforma ou manutenção em geral, pesquisa e desenvolvimento, empreendimentos de construção (prédios, navios, maquinários, entre outros) e introdução de produtos e processos.

Essas técnicas são ferramentas úteis para solucionar problemas de coordenação de atividades com determinada ordem de execução. Algumas atividades de um projeto se interrelacionam com outras para serem executadas sequencialmente (em série) ou simultaneamente (em paralelo), fazendo com que a rede PERT/CPM possibilite uma melhor visualização das relações de interdependências entre essas atividades (CASAROTTO, 1999).

Martins e Laugeni (2005) citam fatores essenciais aos empreendimentos como prazo, custo e qualidade onde o método do caminho crítico é utilizado na avaliação da utilização dos recursos empresariais para desenvolvimento dos projetos solicitados.

Tubino (2007) completa que a técnica permite que os administradores tenham em mãos informações como a visão gráfica das atividades do projeto, visão das atividades críticas e visão dos tempos de folga, onde se podem avaliar esses recursos comentados anteriormente.

Tais vantagens seriam comuns a qualquer atividade produtiva se não fosse às características do sistema de produção por projeto, onde este está sensível a imprevistos na etapa produtiva e demanda grande número de atividades, materiais, recursos (mão-de-obra) que devem ser avaliadas e corretamente programadas para que se possa obter as vantagens citadas e privar a organização de ter um projeto inviabilizado.

Para Hoare (1976, p. 15) os métodos do caminho crítico “[...] constituem uma metodologia que proporciona um modelo de tarefas para atingir os objetivos do empreendimento”.

Casarotto (1999) cita que as técnicas do caminho crítico permitem uma visão dos tempos disponíveis para execução das tarefas de um projeto, assim como a visualização desse projeto em andamento.

2.3.1.2 Representando um projeto

Segundo Martins e Laugeni (2005, p. 419) “Um projeto é constituído por um conjunto de atividades independentes, mas logicamente ligadas, e pode ser representado por meio de uma rede”. Essa rede é a representação gráfica de um projeto e apresenta as atividades individuais a cerca do mesmo, que devem ser executadas para a sua conclusão, de maneira que o foco das atenções seja voltado para aquelas atividades críticas no desenvolvimento do projeto (DAVIS, 2001).

Para Casarotto (1999, p.61), ambos os métodos (PERT e CPM) são baseados nas teorias dos grafos e “[...] classificados como modelos pictóricos de pesquisa operacional”.

Desse modo, o projeto de um produto é estratificado em uma relação das atividades executadas (representados por setas) e eventos (representados por nós delimitando o início e fim das atividades), como exemplificado na Figura 3.

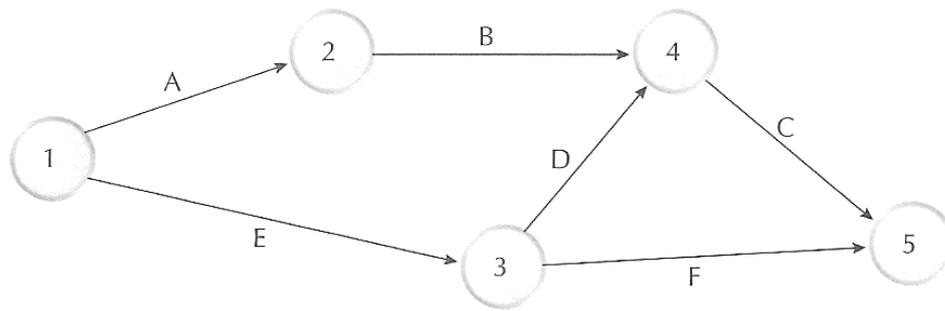


Figura 3: Rede de um projeto.

Fonte: Martins e Laugeni, 2005.

A essa representação gráfica do projeto dá-se o nome de Rede PERT. Santos (2003, p. 36) comenta ainda que “[...] através desta representação gráfica é possível visualizar a seqüência lógica do projeto, com as interdependências das atividades que compõem o projeto”.

Martins e Laugeni (2005) explicam que para representar um projeto em uma rede PERT/CPM primeiramente define-se o contexto do projeto, ou seja, o seu princípio e fim, assim, até onde o estudo dos caminhos irá abranger o projeto. Essa é uma das características fundamentais para que o projeto possa ser representado nas técnicas de PERT/CPM. Posteriormente, divide-se o projeto em atividades específicas de forma que nenhuma sobreponha a outra e que estejam dentro do contexto do projeto.

Na adaptação de um projeto sob a ótica do caminho crítico, Russomano (2000) explica algumas fases que devem ser seguidos para a sua coordenação:

- a) **Análise:** coleta dos dados do processo do projeto, construção da rede e identificação dos elementos críticos;
- b) **Programação:** utilização das informações obtidas para melhor gerenciar o projeto, definindo tempos de início de atividades e alocação de recursos;
- c) **Controle:** monitoração do andamento do projeto para identificação de desvios do cronograma pré-estabelecido.

Assim, para início dos estudos de adequação do projeto ao sistema PERT/CPM, deve-se identificar as atividades que constituem o projeto (DAVIS, 2001). Essas podem ser mais bem

estratificadas no decorrer do projeto, caso tenham sido esquecidas na etapa inicial. O importante é não deixar de atualizar os dados do projeto com essas novas inserções, afim de que o mesmo seja consistente.

Com as atividades relacionadas ao projeto identificadas, define-se a lógica sequencial dessas atividades, incluindo atividades paralelas, atividades dependentes ou sem dependência, então assim, monta-se a rede do projeto, determinando então os tempos de cada atividade e demais fatores que influenciam no processo produtivo, como custo e a quantidade de recursos necessários para realização da mesma.

Com a rede devidamente elaborada, tem-se a situação de produção atual, havendo a necessidade agora de aplicar as técnicas que abrangem o estudo do sistema PERT/CPM para encontrar o caminho crítico e definir, posteriormente, um cronograma da programação da produção desse projeto.

2.3.1.2.1 Conceituação gráfica

Segundo Hoare (1976), na representação de projetos, podem ser usados gráficos de Gantt (Figura 4) ou de barras, que auxiliam na alocação manual de recursos, quando as atividades são avaliadas em termos de sua programação e grau de flexibilidade. Esses gráficos são, segundo Slack (2002, p. 530), “[...] a forma mais simples de mostrar o plano do projeto global, porque eles têm um excelente impacto visual e são fáceis de entender”, sendo úteis na representação do status do projeto para o nível gerencial.

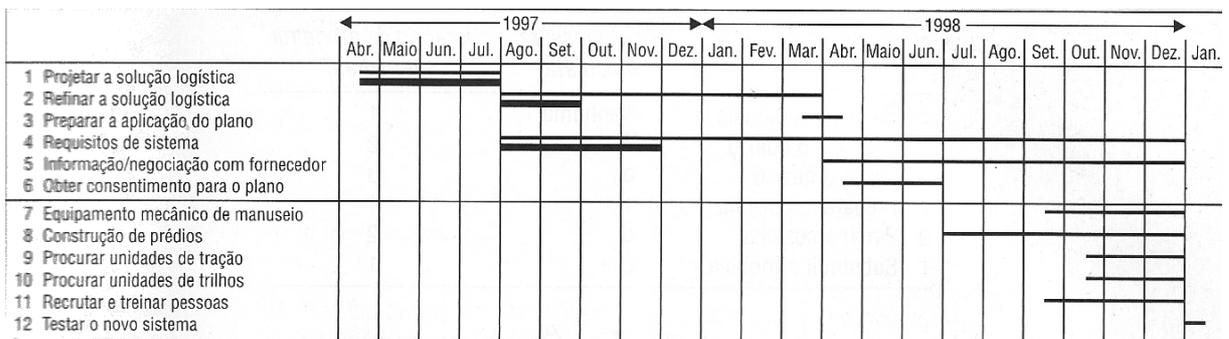


Figura 4: Gráfico de Gantt.

Fonte: Slack, 2002.

Porém, Hoare (1976) afirma que os gráficos de Gantt não são tão vantajosos como o método do caminho crítico, pois não apresentam de imediato as atividades críticas de um projeto nem a flexibilidade das atividades não críticas e não é fácil avaliar mudanças no plano de ação nesse gráfico.

No PERT ou CPM, as tarefas são representadas por flechas que começam e terminam em um ponto identificado do projeto denominados eventos (HOARE, 1976).

Como explicado anteriormente, uma rede PERT/CPM é composta por atividades representadas por setas e nós. De acordo com Hoare (1976), as setas representam as atividades, normalmente referenciadas por letras, e representam uma série de ações necessárias para se completar um projeto. Cada atividade é composta pelas ações necessárias para realizar uma tarefa específica (seja essas ações consumidoras ou não de recursos, ex.: fresar peça ou aguardar o endurecimento do cimento). Já os nós são os eventos, geralmente representados por números, e ocorrem em um único ponto do tempo para delinear um resultado atingido por uma ou mais atividades do projeto. O tempo de duração da atividade é inserido logo abaixo da seta que a representa, como indica a Figura 5.

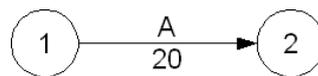


Figura 5: Exemplo de relação entre atividades numa rede PERT/CPM.

Fonte: Adaptado de Tubino, 2007.

No exemplo da Figura 5, para que as atividades que se iniciam após o nó dois, é necessário que a atividade A esteja concluída e isso levará 20 (vinte) unidades de tempo para se concretizar.

Para o desenho desse diagrama de rede, Slack (2002) estabelece três regras:

- Um evento não pode ser atingido antes das atividades que o antecedem estarem concluídas;

- Uma atividade não pode começar até que tenha se atingido o evento inicial dessa atividade;
- Duas atividades não podem ter o mesmo evento de início e fim.

Existem casos em que duas atividades podem possuir os mesmos nós inicial e final e isto, em sistemas computacionais, poderia causar conflitos. Assim, para evitar isso, cria-se uma atividade que não consome tempo nem recurso, explica Tubino (2005), e a ela dá-se o nome de Atividade Fantasma.

A Figura 6 faz uma representação de duas atividades que possuem os mesmos nós de início e fim.

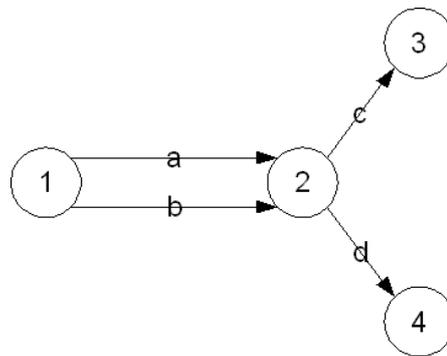


Figura 6: Exemplo de atividades com mesmos nós iniciais e finais.

Fonte: Adaptado de Casarotto, 1999.

Para representar essa ocasionalidade, gera-se uma atividade inexistente, a Atividade Fantasma, e interliga o nó final dessas atividades com o nó que recebeu a outra atividade que foi descomissionada desse nó final, como exemplifica a Figura 7.

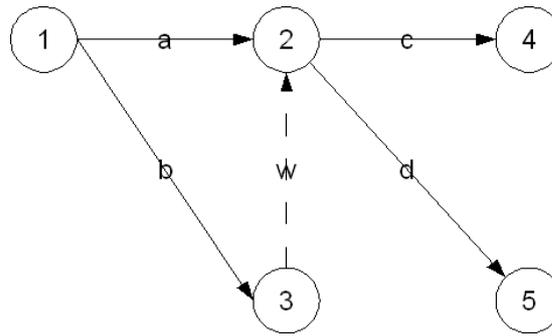


Figura 7: Atividades fantasmas.

Fonte: Adaptado de Tubino, 2007.

A representação dessa atividade fantasma é feita por uma linha tracejada na seta da atividade e com tempo de duração nulo.

Ao final, a rede PERT/CPM montada se assemelha a Figura 8.

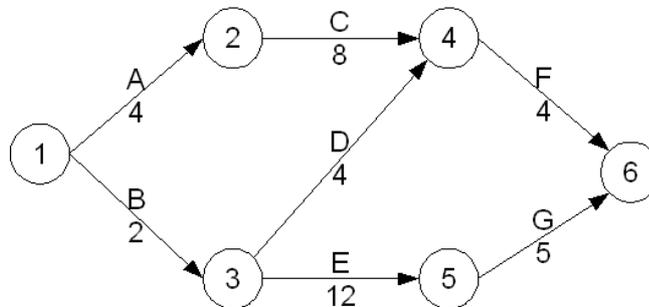


Figura 8: Rede com tempos probabilísticos.

Fonte: Adaptado de Tubino, 2007.

2.3.1.2.2 Tempos e métodos

Nesta avaliação serão estudados os tempos envolvidos a cada atividade de um projeto. São elas que proporcionam ao encarregado de gerenciamento do projeto, uma programação dos eventos e dessas atividades Hoare (1976). Uma vez concluída, essa avaliação dos tempos pode servir ao gerente de projeto como uma ferramenta de auxílio para reduzir o tempo das

atividades críticas, que são aquelas que podem comprometer o período previsto para o término do projeto.

Para início do cálculo dos tempos associados a cada atividade, desenvolve-se uma tabela de precedências e seqüência de atividades, onde constam as interdependências entre os eventos e a duração das atividades, assim como o exemplo da Tabela 1.

Tabela 1: Lista de atividades e dependências.

Atividade	Dependência	Nós	Duração
A	-	1-2	10
B	-	1-3	6
C	A	2-4	7
D	B	3-4	5
E	B	3-5	9
F	C e D	4-6	5
G	E	5-6	4

Fonte: Tubino, 2007.

O método CPM utiliza conceitos levando em conta uma única duração para cada atividade. Este método em particular prioriza a determinação dos custos de produção.

Para determinar o tempo de uma atividade segundo métodos probabilísticos (para que esse possa ser usado na determinação do cedo e tarde dos eventos), utiliza-se o método PERT que, segundo Martins e Laugeni (2005), leva em consideração três durações distintas: otimista (A), mais provável (M) e pessimista (B). Em cima desses tempos é definida uma média levando em consideração que a duração não é fixa e sim aleatória, e assume uma distribuição β (Beta) de probabilidade. A duração média (T) dessa atividade é representada pela expressão 1.

$$T = \frac{(A + 4 \times M + B)}{6} \quad (1)$$

A distribuição Beta é extremamente flexível, podendo assumir diversas formas que ocorrem em atividades de projeto, cujos tempos são, geralmente, variáveis. A distribuição Beta possui

pontos de conclusão finitos, limitando os possíveis tempos de uma atividade entre os extremos A e B, permitindo o cálculo da média e desvio-padrão (DAVIS, 2001).

Unido a isso existe o a variância (σ^2), que representa o grau de incerteza associado á previsão de tempo (T) apresentado anteriormente e reproduzido na equação 2.

$$\sigma^2 = \left(\frac{B - A}{6} \right)^2 \quad (2)$$

Com isso, pode-se obter uma tabela de precedências que respeita essa variação de tempos e ainda informa qual o desvio médio dos tempos das atividades, como ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2: Lista de atividades e dependências no modelo probabilístico.

Atividade	Dependência	Nós	Duração				
			A	M	B	T	s ²
A	-	1-2	8	10	11	9,83	0,25
B	-	1-3	4	6	7	5,83	0,25
C	A	2-4	5	7	7,5	6,75	0,17
D	B	3-4	4,5	5	6	5,08	0,06
E	B	3-5	8	9	11	9,16	0,25
F	C e D	4-6	4,5	5	6,5	5,16	0,11
G	E	5-6	2	4	5	3,83	0,25

Fonte: Tubino, 2007.

Com os tempos das atividades estabelecidos, segue-se para a montagem da rede e análise dos tempos relevantes para avaliação dos caminhos.

Para cada evento, ou nó, de uma rede PERT/CPM, admite-se dois tempos, chamados de “cedo” e “tarde” do evento. Esses parâmetros são utilizados como pontos de controle ou metas no acompanhamento e controle do projeto (LUSTOSA, 2008).

O cedo corresponde à data mais cedo que se pode dar início as atividades que emanam deste evento (desde que não haja atraso nas atividades de antecederam esse evento) com relação á

data de início do projeto todo, e o tarde corresponde à data mais tarde que se pode concluir o evento sem que isso atrase o término do projeto, ou seja, sem que atrapalhe a execução das atividades que emanam desse evento (TUBINO, 2007).

Segundo Tubino (2007) o cedo de um evento é calculado pelo valor máximo obtido dos “cedos” adicionados à duração de cada atividade que chega ao nó em questão. Sendo $C(j)$ o cedo do evento em questão, D a duração de cada atividade i , o cedo pode ser representado pela equação 3.

$$C(j) = \max_i [C(i) + D(i, j)] \quad (3)$$

Semelhantemente, o tarde de um evento, segundo o autor, pode ser encontrado pelo valor mínimo entre a última data possível para o término das atividades que partem do evento subtraindo, para cada atividade, a sua duração. Sendo T a representação de tarde, i a atividade e j o evento. O tarde pode ser representado pela equação 4.

$$T(i) = \min_j [T(j) - D(i, j)] \quad (4)$$

Graficamente, o cedo e tarde de um evento é demonstrado no nó que representa o evento, como mostra a Figura 9, onde i é o número do nó, C_i é o cedo do evento e T_i o tarde do evento.

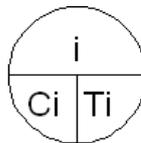


Figura 9: Representação de evento na rede PERT.

Fonte: Apostila de programação de Projetos, UFSC.

Assim, de acordo a Tabela 2, pode-se representar a rede com seus respectivos tempos de Cedo e Tarde (Figura 10):

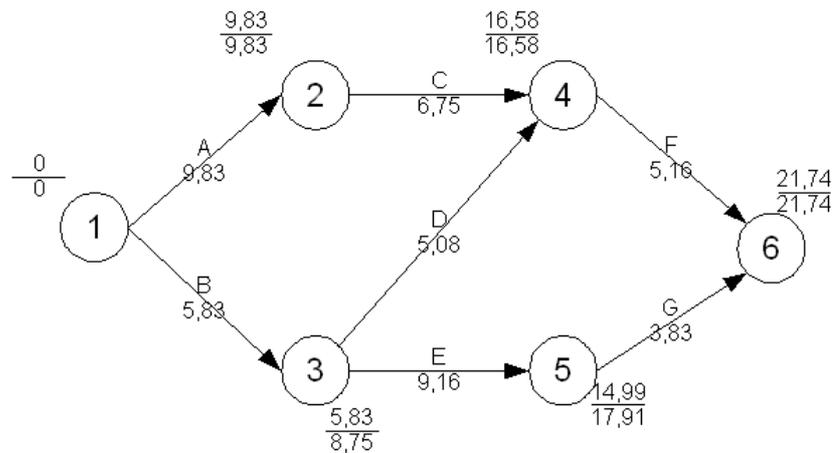


Figura 10: Rede com tempos probabilísticos.

Fonte: Tubino, 2007.

2.3.1.2.3 Caminho crítico e folgas

Quando se constrói um diagrama de representação em redes de um projeto poderá ocorrer o surgimento de algum relacionamento em paralelo, ou seja, mais de uma seqüência de atividades que levam até o fim do projeto. Essas seqüências são chamadas de Caminhos da rede e podem ter durações totais diferentes em decorrer da soma das durações de suas atividades (SLACK, 2002). Assim, caminho é a relação que existe entre o nó inicial e nó final (TUBINO, 2005).

Dentro de uma rede PERT, o caminho que apresentar a maior duração é considerado o Caminho Crítico do projeto (LUSTOSA, 2008). Porém, o autor ressalta que, como todos os caminhos precisam ser percorridos, pois fazem parte do projeto, não é correto o emprego do termo “escolha do caminho crítico” e sim “identificação do caminho crítico”.

O Caminho Crítico passa pelos eventos que tem sua data de Cedo igual á data de Tarde. Essas atividades não possuem folga para serem realizadas, ou seja, não possuem flexibilidade no tempo em que devem ser realizadas e qualquer atraso afetará o projeto (CASAROTTO, 1999).

As atividades entre eventos críticos também são chamadas de Críticas se elas se encontram entre dois eventos críticos e o tempo de duração das mesmas for igual à diferença entre o tempo dos eventos sucessores e antecessores a essa atividade (HOARE, 1976).

Martins e Laugeni (2005) reforçam que, para uma atividade ser considerada crítica, cada nó (evento) deve conter seu Cedo igual a seu Tarde e que a data do nó seguinte deve ser igual á data do nó inicial somada à duração da atividade, como exemplificado na Figura 11.

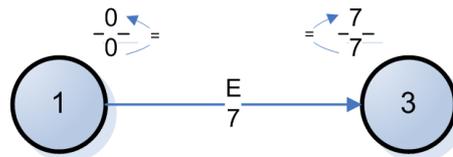


Figura 11: Atividade crítica.

Fonte: Martins e Laugeni, 2005.

Alguns eventos não críticos apresentam tempos de cedo e tarde diferentes e podem ter o início das atividades sucessoras retardadas até o valor dessa diferença (HOARE, 1976). A essa diferença dá-se o nome de Folga, que é a diferença entre a primeira data de início da atividade e a última data de início da mesma.

Tubino (2007) apresenta quatro fatores de tempo associados às datas de início e término das atividades:

- PDI (primeira data de início): data mais cedo para início de uma atividade. É representado como o Cedo do evento que precede essa atividade;
- PDT (primeira data de término): data mais cedo para a conclusão de uma atividade. É representado pelo Cedo do evento precedente mais a duração dessa atividade;
- UDI (última data de início): data mais tarde que uma atividade pode se iniciar sem interferir no prazo do projeto. Representado pela Tarde do evento sucessor a atividade subtraindo disso a duração da atividade;
- UDT (última data de término): data mais tarde de conclusão de uma atividade sem atrasar o projeto. É representado pelo Tarde do evento sucessor.

Segundo Hoare (1976), os tempos de Início e Término são usados para determinar a flexibilidade na programação dos eventos e/ou atividades que pode ser medida pela folga existente nas atividades.

Sendo Cedo[i] o Cedo do evento inicial, Cedo[f] o Cedo do evento final, Tarde[i] o Tarde do evento inicial, Tarde[f] o Tarde do evento final e t duração da atividade, as folgas existentes na rede do projeto são:

- Folga Total (UDT-PDI) – t : atraso máximo de uma atividade sem afetar a data final para sua conclusão;
- Folga Livre (Cedo[f] – Cedo[i]) – t : atraso máximo de uma atividade sem alterar o tempo de Cedo do evento final;
- Folga Dependente (Tarde[j] – Tarde[i]) – t : período para realização da atividade levando em conta o Tarde do evento inicial até o Tarde do evento final;
- Folga Independente (Cedo[f] – Tarde[i]) – t : período para realizar a atividade entre o Tarde do evento inicial e o Cedo do final.

2.3.1.3 Controle de projetos

Para Hoare (1976), o uso de análise durante o planejamento de um projeto é fundamental para atingir seus objetivos, assim, à medida que a rede se desenvolve, pode-se tomar decisões de alterações na lógica ou durações a fim de manter o projeto alinhado com esses objetivos. Em suma, deve-se fazer um acompanhamento constante dos detalhes do projeto e utilizar de ferramentas adequadas para isso.

Encontrar o Caminho Crítico de um projeto é fundamental para seu gerenciamento segundo Tubino (2007), pois assim o PPCP pode ser direcionado para as atividades que tenham prioridade na alocação de recursos para serem concluídas. Assim, com a rede montada, e seus caminhos corretamente identificados, pode-se obter uma visualização mais precisa do projeto, conforme exemplificado na Figura 12.

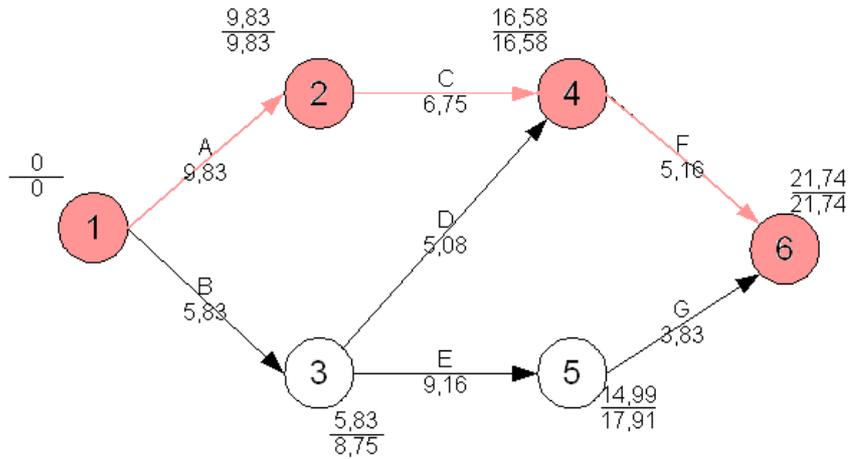


Figura 12: Caminho crítico da rede PERT.

Fonte: Adaptado de TUBINO, 2007.

Após os cálculos da rede do projeto, é confeccionado então o cronograma do mesmo (Figura 13), que é a representação gráfica do tempo planejado para que determinada atividade seja executada (CASAROTTO, 1999). Essa forma de representação da organização do projeto é útil quanto ao aspecto de Coordenação de Recursos (RUSSOMANO, 2000).

Atividades	Dur.	Tempo (em dias)											
		5				10				15			
A	3	[Gantt bar from day 0 to 3]											
B	4	[Gantt bar from day 1 to 5]											
C	7	[Gantt bar from day 0 to 7]											
D	4	[Gantt bar from day 3 to 7]											
E	6	[Gantt bar from day 3 to 9]											
F	7	[Gantt bar from day 3 to 10]											
G	4	[Gantt bar from day 0 to 4]											
H	9	[Gantt bar from day 3 to 12]											

Figura 13: Exemplo de cronograma.

Fonte: CASAROTTO, 1999.

Utilizar o cronograma de atividades permite o planejamento e controle do projeto sob uma visão geral do andamento do mesmo, porém, como dito anteriormente, o cronograma por si só não é suficiente para suprir a necessidade de visualizar as relações de interdependência entre essas atividades. Assim, utiliza-se o cronograma juntamente com o PERT/CPM para análise das folgas e datas das atividades (CASAROTTO, 1999).

Russomano (2000) comenta ainda que a relação entre custo e tempo é um fator comum na coordenação de projetos. A análise dos tempos de folga e surgimento de atividades não críticas permite uma melhor avaliação das negociações realizadas sob a organização dessas atividades visando a otimização de ambos os fatores (custo e tempo) do projeto.

O autor comenta ainda que para um controle efetivo no projeto são necessárias revisões semanais dos tempos das atividades, como forma de realimentação, para antecipar futuros gargalos, necessitando assim de uma atenção do encarregado na alocação de recursos para determinados fins.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 A Empresa

O estudo de caso foi realizado na empresa Ectom Engenharia e Montagem. A mesma foi estabelecida na cidade de Maringá – PR há mais de 20 anos para prestar serviços no setor de engenharia elétrica.

A princípio, constituía-se em um pequeno escritório para elaboração e desenho de projetos eletrotécnicos voltados ao setor predial e agroindustrial e possuía um pequeno número de funcionários. Conforme foi se desenvolvendo, a organização não se limitou somente a elaboração dos projetos elétricos, mas também passou a executá-los em campo com a contratação e/ou terceirização de técnicos eletricista e ajudantes. Posteriormente, após a mudança para uma nova estrutura física de maior porte, iniciou-se a montagem de Painéis de Controle Elétricos desenvolvidos nos projetos.

Hoje a empresa conta com 38 funcionários alocados nos diversos setores como automação, elétrica, desenho, montagem, execução, almoxarifado e setores de apoio e controle da organização como recursos humanos, compras e administração. Os funcionários estão distribuídos na organização segundo a estrutura organizacional apresentada na Figura 14.

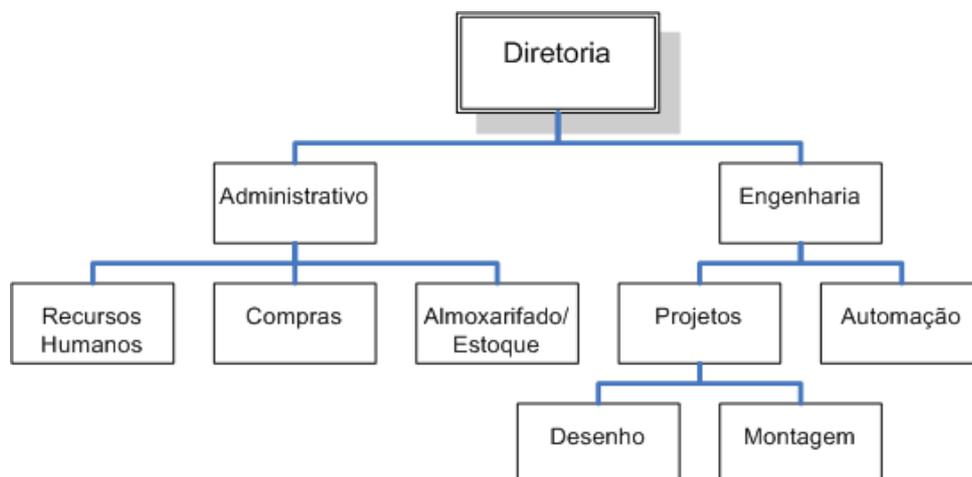


Figura 14: Estrutura Organizacional da Empresa

Para a realização das atividades, a empresa conta com profissionais devidamente enquadrados nas suas respectivas áreas, como engenheiros, técnico-projetistas, programadores, profissionais de administração e economia.

Em relação à estrutura hierárquica, os funcionários estão diretamente ligados a um gerente (no caso da Engenharia) ou aos proprietários, sendo cada setor formado por equipes auto-dirigidas.

3.1.1 Infra-estrutura física

O prédio da empresa possui 2 (dois) pavimentos, térreo e superior. O setor da montagem dos painéis elétricos da empresa se encontra no pavimento térreo com uma área de aproximadamente 200m² e o setor de Engenharia e Administração se encontra no pavimento superior com área relativamente igual.

O Almoxarifado de insumos para produção se encontra em um estoque agregado ao setor de montagem (pavimento térreo).

3.2 Demanda do Estudo

O estudo de caso está delimitado ao processo completo de confecção de um Painel de Controle Elétrico o qual a empresa vende juntamente com os projetos desenvolvidos ou separadamente sob encomenda especial. Neste processo, que abrange desde a etapa de negociação, projeto e montagem, verificou-se a possibilidade de implantar e adequar um controle de PPCP para a empresa que, hoje, não conta com nenhum tipo de administração da produção.

Dentre as possibilidades de melhoria, destaca-se a possibilidade de prever, antecipadamente, as datas de término das etapas e, conseqüentemente, do projeto todo. Gerenciar os recursos necessários para a produção, a fim de auxiliar um sistema PPCP para regulagem de carga e

demonstrar, visualmente, o andamento da confecção de um painel elétrico em meio a outros projetos, identificando os responsáveis.

3.3 Metodologia

Para concretização do estudo, algumas fases foram necessárias para extrair os dados relevantes na construção da rede PERT/CPM:

- Compreensão do ambiente estudado;
- Caracterizar e mapear as atividades de produção;
- Extrair os tempos aproximados de todas as atividades;
- Criar as relações de dependência entre as atividades;

O estudo foi realizado entre os meses Março e Julho de 2009, constituído de pesquisas bibliográficas sobre o assunto, coleta, organização e análise dos dados. Os dados colhidos têm caráter exploratório e são de origem não probabilística e intencional em relação aos elementos típicos do processo analisado.

3.3.1 Processo produtivo

A produção de painéis elétricos é feita sob encomenda. Geralmente, sua produção esta vinculada a um projeto de engenharia, como por exemplo, as instalações de força (acionamento de motores) de uma planta de recebimento de soja (já que os principais clientes da empresa são do setor agroindustrial).

O fluxograma da Figura 15 representa as etapas produtivas do Painel Elétrico na organização:

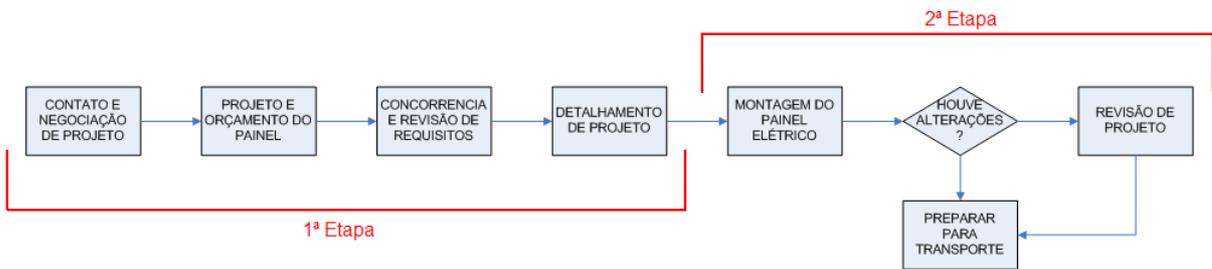


Figura 15: Fluxograma completo das etapas de produção do Painel Elétrico

Todo o processo de produção começa com uma negociação para que se possa preparar algum orçamento para fim de concorrência. Assim, o cliente interessado entra em contato com a empresa e descreve sua necessidade, impondo ou não restrições e preferências ao projeto desejado. Com base nesses dados, é elaborado o projeto do Painel Elétrico juntamente com sua lista de materiais.

Após o projeto técnico concluído, o gerente do setor de Engenharia associa os materiais necessários com os custos dos mesmos para a empresa, adicionados a isso os demais gastos com funcionários, infra-estrutura, impostos e lucro. Esses dados são compilados de modo a serem apresentados ao cliente interessado de forma que possam ser usados em uma concorrência com demais empresas possivelmente solicitadas, para o fornecimento do mesmo Painel Elétrico.

Assim que a empresa é, contratualmente, liberada para a confecção do Painel Elétrico solicitado pelo cliente, dá-se início a algumas etapas subsequentes de ajustes de projetos e detalhamento do mesmo para que, posteriormente, o mesmo possa ser liberado para a produção no setor de montagem.

3.3.1.1 Detalhamento da montagem técnica

Geralmente, os Painéis Elétricos são responsáveis pelo acionamento e controle de motores elétricos em equipamento de uma planta industrial, como por exemplo: elevadores de grãos, mexedores de líquido, moedores de farelo, rosca de transporte, fitas transportadoras, etc. A

Figura 16 apresenta um Painel Elétrico de 4 portas para controle elétrico geral, montado e pronto para o transporte ao cliente.



Figura 16: Exemplo de Painel elétrico fabricado pela empresa.

Quando a listagem de motores de uma planta industrial (Quadro 3) é fornecida á empresa (geralmente entregue pelo responsável da engenharia mecânica associado ao cliente contratante do serviço), tem-se início a etapa de projeto e desenho do Diagrama de Motores (feito em *softwares* CAD por algum técnico em elétrica e desenhista).

1.5	Elevadores de cereais mod. KW EA-4x240 th x 38,67 m, com acionamento por motoredutor potência 50 CV, totalmente galvanizado (carga dos silos pulmão)	2,00	ud	EL-1e EL-2
1.6	Elevadores de cereais mod. KW EA-4 x 240 th x 31,67 m, com acionamento por polias correias potência 40 CV, totalmente galvanizado (des carga das moegas p/ máquinas)	2,00	ud	EL-3e EL-4
1.7	Elevadores de cereais mod. KW EA-4 x 240 th x 19,67 m, com acionamento por polias correias 30 CV, totalmente galvanizado (descarga das separadoras de vagens)	2,00	ud	EL-5e EL-6
1.8	Elevadores de cereais mod. KW EA-4x240 th x 43,67 m, com acionamento por motoredutor potência 60 CV, totalmente galvanizado (carga dos silos de armazenagem)	2,00	ud	EL-11e EL-13

Quadro 3: Exemplo reduzido de lista de motores para elaboração do diagrama unifilar

O técnico responsável utiliza-se dos dados dessa listagem para a confecção desses projetos e diagramas como mostrado na Figura 17.

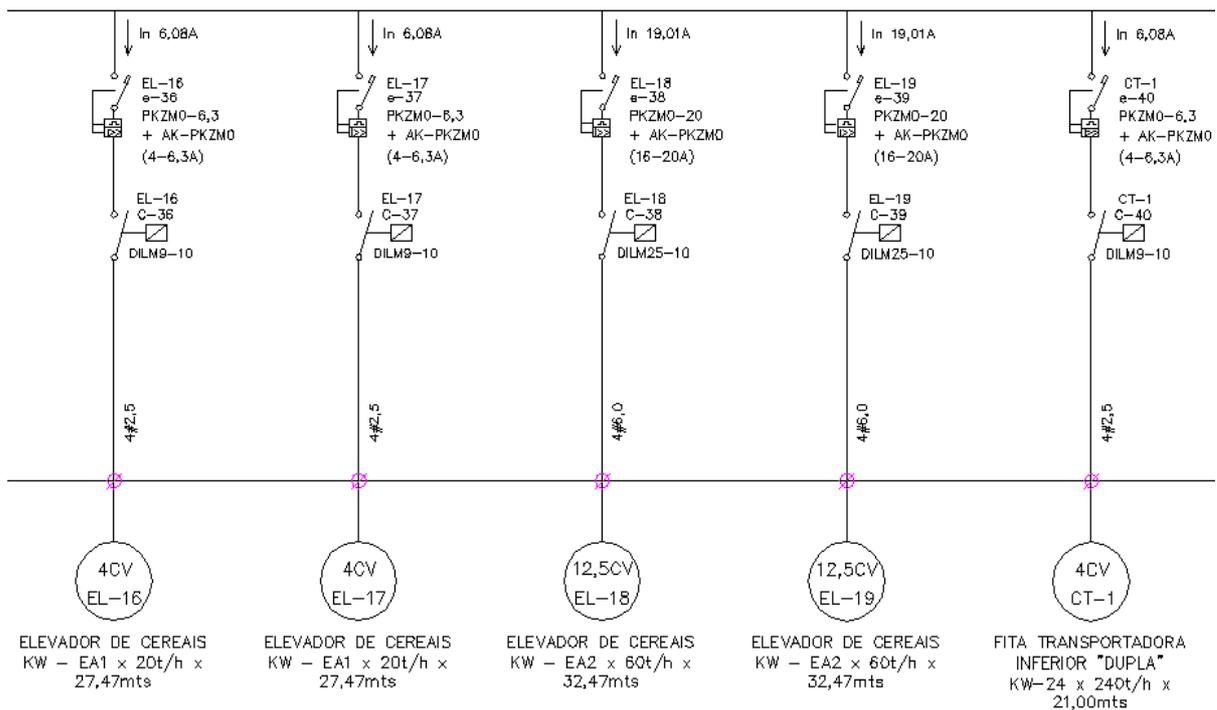


Figura 17: Diagrama unifilar dos acionamentos contidos em um Painel Elétrico.

O projeto do Diagrama Unifilar dos motores é entregue ao encarregado da montagem que inicia a montagem dos painéis e/ou aloca outro funcionário na função. Os quadros metálicos para montagem, componentes e disponibilidade de funcionários são geralmente decididos

e/ou comprados por um gerente responsável pelo projeto e/ou a alta administração. Projeto e Compras se interligam verbalmente para compra de materiais para montagem dos quadros.

Os painéis passam por etapas de metalurgia (corte, furação, posicionamento de chapas, rebitagem, etc.), colocação de componentes, elétrica, acabamento e testes para que fiquem prontos para entrega.

As etapas de montagem serão apresentadas sendo ilustradas entre a Figura 18 até a Figura 21.

O procedimento inicia-se pela compra do armário modular apresentado na Figura 18, possuindo apenas a estrutura metálica (onde serão fixadas as chapas de montagem), as portas e as tampas laterais.



Figura 18: Armário Modular para Montagem do Painel

A chapa de montagem é um suporte metálico onde são fixados os componentes elétricos que formarão o Painel Elétrico. Antes de ser cortada, é desenhado um *Layout* posicional dos componentes, para que se possa ter as medidas exatas das furações e cortes (Figura 19).



Figura 19: Porta e chapa de montagem do painel sendo cortados.

A porta do painel segue a mesma regra de realização de *Layout* para disposição dos componentes, e é nela que irão os dispositivos de controle do painel (botões, sinalizadores, medidores, etc.) (Figura 20).



Figura 20: Montagem dos Componentes Elétricos nas chapas de montagem

Após as chapas de montagem serem fixadas no armário modular, os componentes elétricos são instalados de forma a respeitar o *Layout* do painel. Esses componentes são, geralmente, contadores, disjuntores, chaves de interrupção, medidores, *soft-starter*, inversores de frequência, entre outros.

A instalação elétrica é feita após os componentes já se encontrarem fixos nas chapas de montagem. Cada painel possui seu projeto unifilar e funcional, assim, os técnicos e ajudantes seguem suas especificações e realizam a atividade, compondo o painel conforme apresentado na Figura 21.



Figura 21: Instalação Elétrica no Painel

3.3.1.2 Caracterização das atividades produtivas

O processo de produção do painel pode ser dividido entre 2 etapas, são elas a abordagem inicial de venda, orçamento, projeto técnico, concorrência e demais negociações e, em segundo, confecção física do Painel Elétrico.

Na seleção das atividades referentes à segunda etapa (projeto e confecção do painel elétrico), fez-se necessário a caracterização da produção do painel em etapas mensuráveis, ou seja, bem definidas e que possam ser apresentadas aos funcionários de modo que possam identificar qual atividade o mesmo esteja executando em um dado momento.

Com a ajuda dos funcionários e do gerente do setor de Engenharia, identificaram-se as seguintes caracterizações das etapas produtivas do painel e suas descrições:

- Chaparia – Corte, furação, dobragem de chapas de montagem, cantoneiras, canaletas e qualquer serviço executado antes de se introduzir componentes ao painel e que tenha caráter de preparação do armário modular previamente comprado;
- Componentes – fixação, parafusagem e qualquer outro trabalho que implique na colocação dos componentes que farão parte do painel elétrico ao corpo principal, no caso, o armário modular;
- Montagem Elétrica – montagem de cabos de força e comando, interligações e qualquer outra atividade relacionada ao projeto funcional do painel;
- Acabamento – fixação de plaquetas, anilhamento, adesivagem, cintas de fixação, tampas e qualquer atividade de caráter visual que não envolva nenhuma das etapas anteriores;
- Testes – realização de ensaios com ou sem força, regulagem dos equipamentos, *set-points* e ajustes finais;
- Confecção do Barramento de Força – Trabalho realizado para dar forma e preparar o barramento de cobre principal (barramento esse responsável pela distribuição da corrente elétrica aos armários) a fim de que possa ser introduzido nos armários modulares e interligá-los entre si. A confecção do Barramento de Força é subdividido em 6 (seis) etapas:
 - Corte e Moldagem – atividades de corte, dobras e outros serviços pesados que envolvam a adequação do barramento ao corpo do(s) painel(is);
 - Furação – furação do barramento de acordo com os pontos necessários para conexão dos fios e cabos dos componentes instalados no painel;

- Limpeza – limpeza do barramento para pintura;
- Papелagem – Fixação de fita adesiva especial para proteção das furações a fim de que não sejam envolvidos (furações) com tintas quando o barramento for pintado;
- Pintura – atividade referente a aplicação da tinta especial ao barramento para identificação e proteção do mesmo, de acordo com o projeto;
- Montagem – fixação do barramento ao(s) armário(s) para formação do Painel elétrico.

Cada atividade foi referenciada por um número para fácil identificação durante a coleta dos tempos e disposta em um quadro na parede do setor (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) de Montagem seguindo a especificação do Quadro 4. A atividade de embalagem não teve sua tomada de tempo seguindo essa metodologia, pois sua cronometragem é relativamente simples de ser executada, mas foi considerada na formação do processo produtivo.

Número da Atividade	Nome da Atividade
1	Chaparia
2	Componentes
3	Elétrica
4	Acabamento
5	Testes
6	Barramento

Quadro 4: Identificação numérica das atividades de Montagem

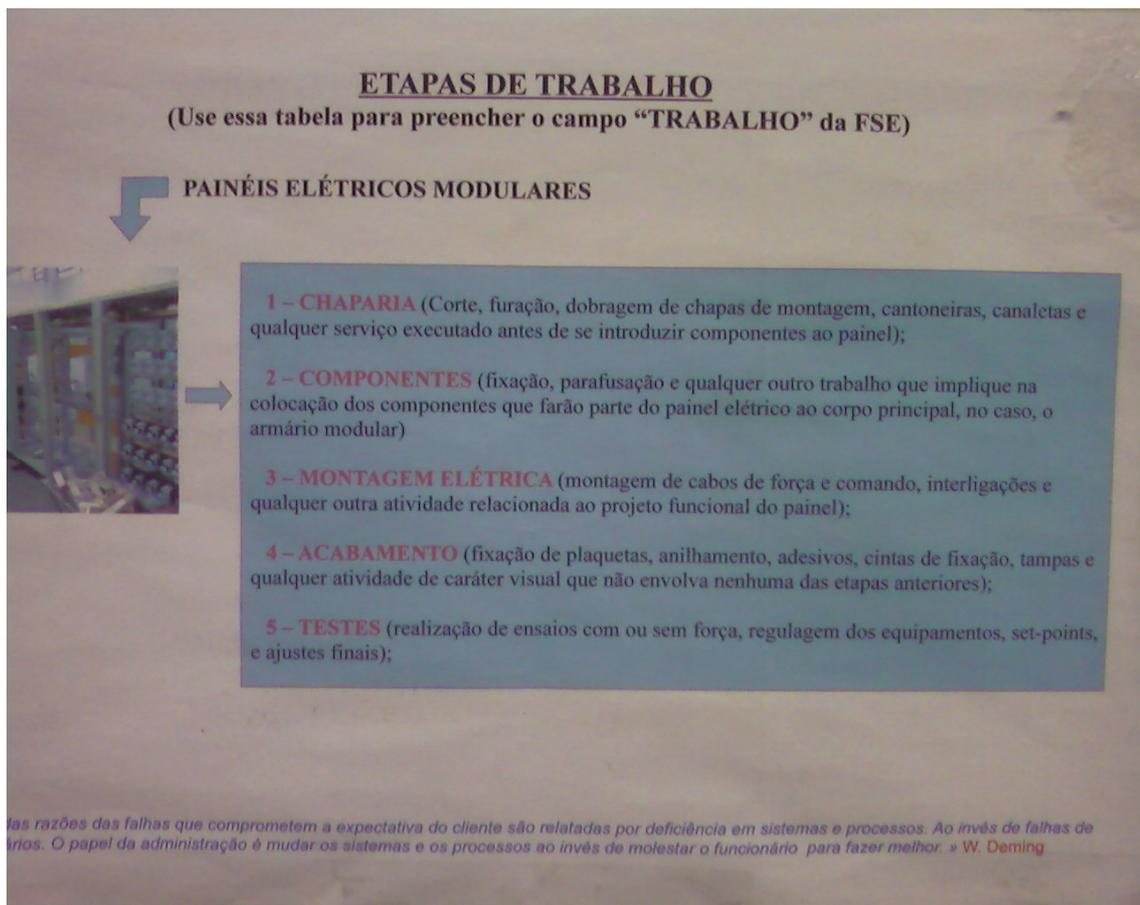


Figura 22: Quadro de enumeração das atividades de montagem

As atividades dispostas no Quadro 4, juntamente com a fabricação do barramento que irá compor o painel elétrico, seguem uma seqüência de atividades identificadas no acompanhamento do processo produtivo como mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Observe que a montagem do barramento tem uma peculiaridade, ou seja, a montagem elétrica somente termina quando o barramento também for terminado, assim, as etapas de acabamento e teste somente podem ser iniciadas quando ambas (elétrica e barramento) estão finalizadas. É sob essas atividades que foram realizadas as tomadas de tempo de produção do setor.

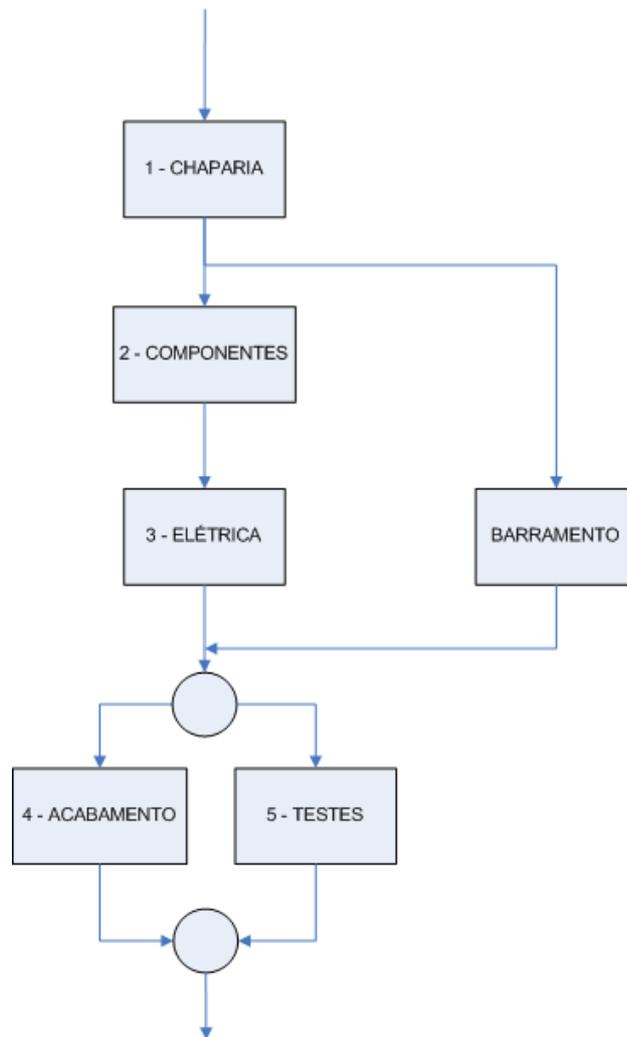


Figura 23: fluxo de confecção do painel elétrico no setor de Montagem

3.3.2 Coleta e organização dos dados

Os dados do estudo de caso estão baseados na produção de um Painel Elétrico para controle de acionamentos de motores encomendado por um cliente comum a empresa e que, por motivos de sigilo, não foi permitido ter o nome de sua organização revelado.

Para coleta dos dados referentes à primeira etapa (negociação e projeto) foram realizadas entrevistas com o gerente do setor de Engenharia e análise direta do tempo. Já para adquirir o tempo de duração da montagem dos painéis elétricos, foi necessária a utilização de uma Ficha de Serviço Executado (FSE) para os técnicos e ajudantes do setor de Montagem que será mais bem detalhada posteriormente.

Deve-se ressaltar que a empresa trabalha em regime de 8 horas por dia, de segunda a sexta, com carga horária de 40 horas semanais, e que os tempos de produção analisados são referentes à utilização corrida desse regime diário, ou seja, não considerando finais de semana, feriados e término ou pausa de expediente (almoço e/ou lanche).

A ficha tem como objetivo extrair os tempos de trabalho dos colaboradores em determinadas etapas de montagem do painel e foi escolhida em virtude do alto *lead time* de produção (como será mostrado mais adiante) para o painel elétrico, inviabilizando qualquer acompanhamento pessoal cronometrado.

Porém, a ficha deveria ser de fácil uso, direta, sintetizada e de maneira que não sobrecarregasse as funções dos colaboradores, mas ainda sim fornecesse os tempos de trabalho em cada atividade. Portanto, o desenvolvimento da FSE foi elaborado levando em consideração somente os itens necessários: a caracterização das atividades realizadas na confecção do painel elétrico descrita no tópico anterior (interpretadas através de números), o nome do colaborador e data/hora de início e término e/ou parada de uma atividade.

Desse modo, cada funcionário que trabalharia na formação do Painel deveria escrever seu nome, o trabalho que está sendo executado, a hora e data de início das atividades e a hora e data de paradas das atividades. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o modelo da FSE desenvolvida para o setor de montagem:

FICHA DE SERVIÇO EXECUTADO – FSE

Programação e Controle da Produção
Painéis Elétricos

Numero Cliente:		Painel:			
FUNCIONÁRIO	TRABALHO	Data e Hora de Inicio		Data e Hora de parada	
		/		/	
		/		/	
		/		/	
		/		/	
		/		/	
		/		/	

Figura 24: Ficha de controle de tempos de produção no setor de montagem

Para preenchê-la, o funcionário, ao iniciar as atividades no painel elétrico em questão, escrevia seu nome na ficha juntamente com o número da atividade que seria executada e a hora e data atual de início. Quando o colaborador parasse de executar aquela atividade o mesmo registraria a data e hora de sua parada na mesma linha que escreveu o início daquela atividade.

Ao final, a ficha apresentaria o intervalo de tempo (Expressão 5) utilizado por cada funcionário para cada atividade:

$$\mathbf{T}_{ij} \quad (5)$$

Onde, T é o tempo despendido por um funcionário i na atividade j .

A soma dos tempos de produção T de todos os funcionários i para uma determinada atividade j é a demanda Hora/Homem D_j necessária para completá-la (Equação 6), onde n é o número de funcionários.

$$D_j = \sum_{i=1}^n \mathbf{T}_{ij} \quad (6)$$

Essa demanda será utilizada para o controle de recursos e carga de produção, uma vez que as atividades de montagem identificadas possuem a característica de que podem ser feitas por mais de uma pessoa a fim de dividir a carga de trabalho e, conseqüentemente, reduzir o tempo de produção, ou seja, subdividir a carga D_j necessária para completar a atividade em mais de um colaborador, com objetivo de acelerar o processo.

Como resultado da tomada de tempo utilizada, uma matriz $i \times j$ (funcionários x atividade) foi criada e demonstrada na Tabela 3, apresentando o tempo (em horas) que cada funcionário desenvolveu no auxílio a conclusão de uma determinada atividade. As atividades estão numeradas de acordo com o Quadro 4.

Tabela 3: Tempos de Produção no Painel Elétrico (h)

FUNCIONARIO	ATIVIDADE				
	1	2	3	4	5
1	26,0	2,0	4,0		
2	115,0	117,0		45,0	
3	7,0		160,0	30,0	4,0
4			26,0		
5			26,0	320,0	
6			63,0		4,0

Os dados apresentados na Tabela 3 se referem ao tempo de colaboração de cada funcionário na realização de uma atividade e, como observado, a confecção do Painel Elétrico em questão apresentou uma variação no número de funcionários ao executar determinadas atividades, bem como o tempo despendido por cada um. Isso se deve ao fato de que, na época, alguns funcionários tiveram que ser remanejados para atividades em campo ou outros fins. De acordo com os gestores da organização, essa abordagem é incomum de se acontecer e por isso será efetuado um balanço de capacidade para uma média de colaboradores por atividade na confecção do painel. Esse será o tempo médio para execução da atividade de montagem j .

Para encontrar o tempo corrido TC_j de cada atividade j , utilizou-se a equação (7) e (8), em que f_j é o número de funcionários que trabalharam em uma determinada atividade de montagem j e \bar{f} é a média do número de funcionários de todas as atividades de montagem. A soma do número de funcionários registrado em cada atividade dividido pelo número de atividades existentes no processo (cinco atividades) é o número médio de colaboradores, contribuindo para encontrar o tempo médio de produção da atividade.

$$\bar{f} = \frac{\sum_{j=1}^5 f_j}{5} \quad (7)$$

$$TC_j = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ij}}{\bar{f}} \quad (8)$$

A equação (8) visa encontrar o tempo de produção de cada uma das 5 atividades de montagem do painel levando em consideração um número de funcionários fixo e exato para cada atividade. Para isso, a equação (7) encontra a média de funcionários de todas as atividades a ser usada na equação (8). Essa abordagem é efetiva levando-se em consideração que, normalmente na empresa, sempre existe um número fixo de pessoas trabalhando em cada etapa do painel e, para efeito de análise, pode-se avaliar o tempo de produção com a variação no número de funcionários de cada etapa.

Considerando a equação (8), para determinar a duração da atividade de montagem, construiu-se a Tabela 4:

Tabela 4: Compilação dos Tempos de Produção

	ATIVIDADE					TOTAL	MÉDIA
	1	2	3	4	5		
TOTAL homem/hora	148,00	119,00	279,00	395,00	8,00	949,00	189,80
Nº funcionários	3	3	3	3	3		3
Tempo Corrido (TC)	49,33	39,67	93,00	131,67	2,67	316,34	63,27

Como observado na Tabela 4, os tempos corridos de produção TC foram encontrados considerando um número padronizados de colaboradores para cada atividade igual a 3 (três).

Acrescido ao tempo de montagem do painel elétrico está o tempo de confecção do barramento de distribuição geral do quadro que, em virtude da limitação de que a tarefa somente é desempenhada por apenas um funcionário, não entrou no cálculo discriminado das atividades de montagem. Para o painel elétrico em questão, o tempo de confecção do barramento de cobre foi de 71,75h corridas.

Para se adequar a distribuição beta, os tempos de produção do painel elétrico foram estratificados em tempo otimista, normal e pessimista para cada atividade, onde o tempo otimista considera a máxima utilização de recursos produtivos, ou seja, o máximo número de

funcionários disponíveis no setor de Montagem e o tempo pessimista considera a mínima ocorrência de funcionários nos setor.

Os tempos otimistas e pessimistas foram calculados de acordo com as equações (9) e (10), respectivamente, onde TO_j é o Tempo Otimista de uma atividade j , TP_j é o Tempo Pessimista de uma atividade j , D_j é a demanda Homem/Hora necessária para completar a atividade e $\max f$ é o número máximo de funcionários registrado em qualquer atividade.

$$TO_j = \frac{D_j}{\max f} \quad (9)$$

$$TP_j = D_j \quad (10)$$

Para o tempo otimista, considerou-se o número de máximo de funcionários disponível para ajuda igual a 5 (cinco), que é o maior número de funcionários registrado em uma atividade. Já para o tempo pessimista, considerou-se o menor número de colaboradores necessário para dar andamento a montagem do painel elétrico.

Com a análise feita pelas equações (9) e (10) e baseando-se nos dados da Tabela 4 montou-se a Tabela 5:

Tabela 5: Variação do tempo corrido de produção pelo número de funcionários

	ATIVIDADE					TOTAL	MÉDIA P/ ATIVIDADE
	1	2	3	4	5		
TOTAL homem/hora	148,00	119,00	279,00	395,00	8,00	949,00	
Tempo Otimista (TO)	29,6	23,8	55,8	79	1,6	189,8	37,96
Tempo Pessimista (TP)	148	119	279	395	8	949	189,8

Nesta seção foram demonstrados assim os dados colhidos de forma organizada e referenciada as etapas de produção do painel elétrico no setor de montagem.

3.4 Discussão dos Resultados

Com os dados de tempo de montagem juntamente com os tempos de negociação e projeto do painel elétrico, gerou-se a Tabela 6, organizando-se todas as etapas de produção, juntamente com sua dependência, duração e recursos produtivos.

As atividades tiveram seus tempos calculados de acordo com a Equação (1), respeitando a distribuição Beta, que leva em consideração a duração otimista, pessimista e média da atividade em questão, para a avaliação do tempo estimado. No caso das atividades de negociação e projeto, como citado anteriormente, os tempos foram obtidos via entrevista com o gerente do setor de engenharia e análise direta marcada do tempo despendido. Os tempos otimistas e pessimistas dessa etapa foram levantados de acordo com experiência própria dos funcionários responsáveis pela primeira etapa. A segunda etapa leva em consideração os dados adjuntos a Tabela 5.

Tabela 6: Atividades do processo de fabricação do Painel elétrico juntamente com tempos, recursos e dependências

<i>ID</i>	<i>REF</i>	<i>Nome da Atividade</i>	<i>Dependência</i>	<i>TO</i>	<i>TM</i>	<i>TP</i>	<i>TE</i>	<i>Recursos</i>
Negociação e Projeto								
1	NP1	Definição do projeto com o cliente	-	04:00	06:00	10:00	6:20	G1 ou D1 ou D2
2	NP2	Análise de projetos, normas e outros documentos do cliente	NP1	06:00	12:00	16:00	11:40	G1 ou D1 ou D2
3	NP3	Projeto Geral	NP2	72:00	100:00	120:00	98:40	G1 ou T1 ou T2
4	NP4	Confecção da lista de materiais e orçamento para apresentação ao cliente	NP3	40:00	48:00	72:00	50:40	G1, D1
5	NP5	Ajustes e re-análise de projeto junto ao cliente	NP3	12:00	16:00	24:00	16:40	D1 ou D2
6	NP6	Concorrência de projetos	NP4;NP5	20:00	20:00	20:00	20:00	G1 ou D1
7	NP7	Projeto unifilar	NP3	8:00	14:00	16:00	13:20	G1 ou T1 ou T2
8	NP8	Projeto funcional	NP6	32:00	42:00	44:00	40:40	T1 ou T2
9	NP9	Análise e compra de materiais	NP6;NP4	40:00	64:00	112:00	68:00	C1
Montagem do Painel Elétrico								
10	P1	Layout do painel	NP7;NP8	08:00	08:00	08:00	08:00	EM1
11	P2	Separação de materiais	NP6	04:00	04:00	04:00	04:00	A1
12	M1	Chaparia	P1	29:36	49:20	148	62:28	F1, F2, F3
13	M2	Componentes	M1;P2; NP9	23:48	39:40	119	50:15	F1, F2, F3
14	M3	Elétrica	M2	55:48	93:00	279	117:48	F1, F2, F3
15	M4	Acabamento	M6;M3	79:00	131:40	395	166:47	F1, F2, F3
16	M5	Testes	M6;M3	01:36	02:40	08:00	3:23	F1, F2, F3
17	M6	Barramento de Força principal	M1	71:45	71:45	71:45	71:45	F4 ou EM1
18	E1	Embalar o painel elétrico	M4;M5	00:30	01:00	1:30	1:00	F1 ou F2 ou F3 ou A1

Em que TO, TM, TP e TE são os tempos Otimistas, Médios, Pessimistas e Estimados, respectivamente, de cada atividade. ID é a identificação numérica de cada atividade e REF a referência/código.

As denominações dos recursos produtivos do projeto estão apresentadas no Quadro 5.

ID do Recurso	Descrição
G1	Gerente do setor de Engenharia
D1, D2	Diretores da empresa
T1, T2	Técnicos em eletricidade
C1	Funcionário responsável por comprar materiais
EM1	Encarregado do setor de Montagem
A1	Responsável pelo almoxarifado
F1, F2, F3, F4	Funcionários do setor de montagem de painéis

Quadro 5: Recursos de mão de obra disponível

Os dados dos tempos estimados (TE), mostrados na Tabela 6, foram cadastrados no *software* MS-PROJECT 2007 e formatados de maneira que seja visualizado o número de semanas utilizado no projeto (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), devido ao elevado tempo de fabricação.

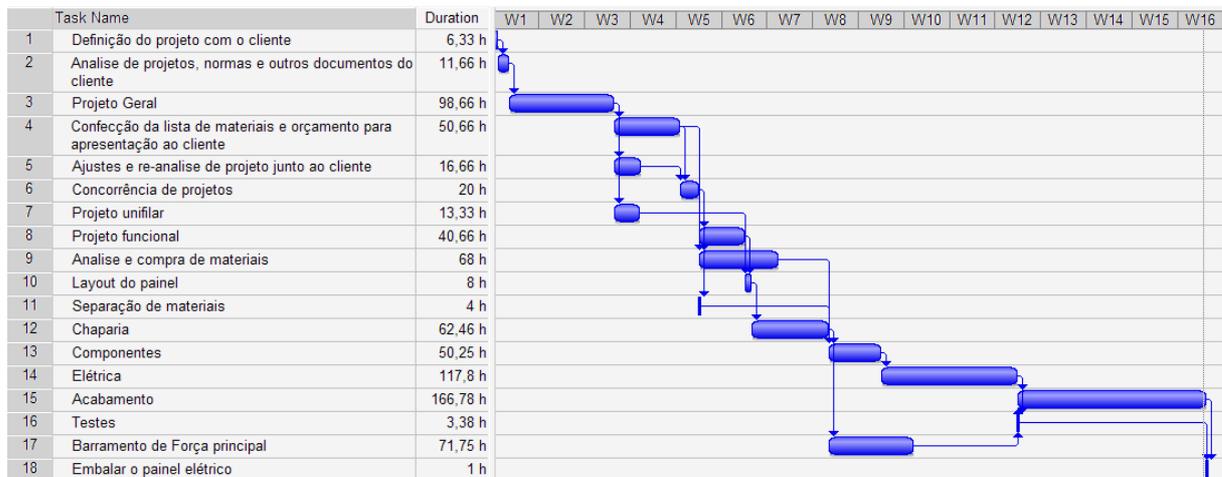


Figura 25: Gráfico de duração da produção do Painel elétrico

Como observado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o tempo total de produção do painel foi de 16 semanas, equivalendo-se ao intervalo de tempo de coleta dos dados dos tempos de produção (de Março a Junho) mais um mês de organização final destes, destacando-se neste o alto *lead-time* de produção, característica comum na fabricação de qualquer produto do setor.

3.4.1 Rede PERT

A partir dos dados encontrados e formatados na Tabela 6 elaborou-se a rede PERT (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) utilizando o software MS-PROJECT 2007 em questão, destacando-se o caminho crítico das atividades de produção (em vermelho). Foram adicionados os “Cedros” e “Tardes” dos eventos de acordo com as semanas do ano de 2009 (o *software* considerou a data atual do mês de agosto para início da contagem das semanas).

Cada nó possui a sua duração e indicação do número de identidade e os nós que se encontram em vermelho formam o caminho crítico do projeto.

O apêndice B reproduz a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** em tamanho ampliado.

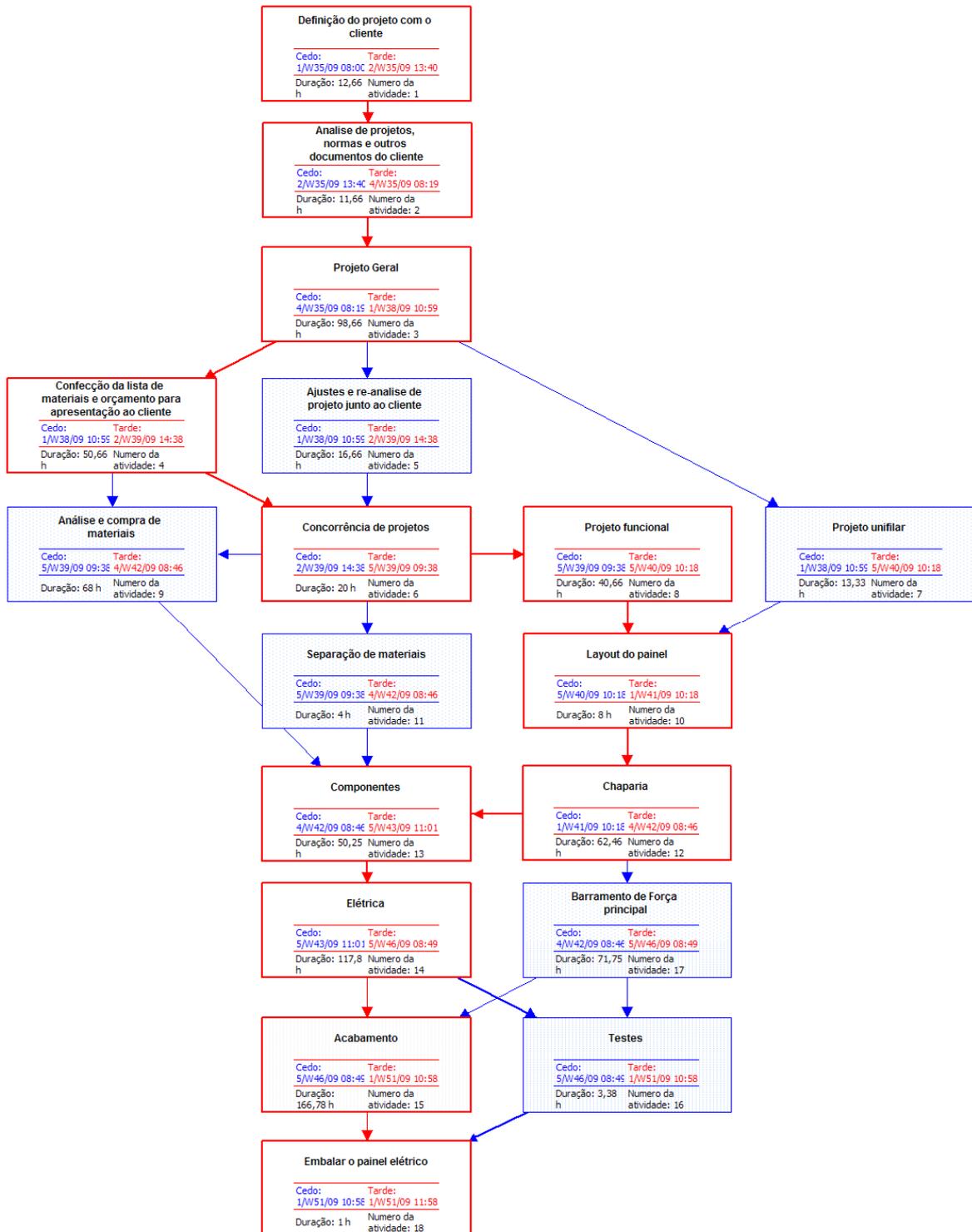


Figura 26: Rede PERT na construção de um painel elétrico

3.4.2 Caminho crítico

Com a análise da rede PERT construída e demonstrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o caminho crítico do projeto foi identificado como sendo as atividades de número (ID) 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15 e 18, nesta ordem, ou, de acordo com a identificação de referencia: NP1, NP2, NP3, NP4, NP6, NP8, P1, M1, M2, M3, M4 e E1.

Somando-se os tempos de produção de cada atividade que compõe o caminho crítico serão necessárias 634,26 horas de trabalho para finalizar a produção do painel elétrico.

Com a rede PERT criada, foi necessário avaliar a disponibilidade de recursos (mão de obra) em cada atividade do projeto, a fim de se avaliar a suficiência da equipe no cumprimento dos tempos e ordens de produção dessas atividades. Os recursos utilizados estão listados no Quadro 5 e foram alocados para cada atividade de acordo com sua necessidade, expressa na Tabela 6.

Após a inclusão dos dados no MS-PROJECT, gerou-se a rede PERT do projeto, como na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

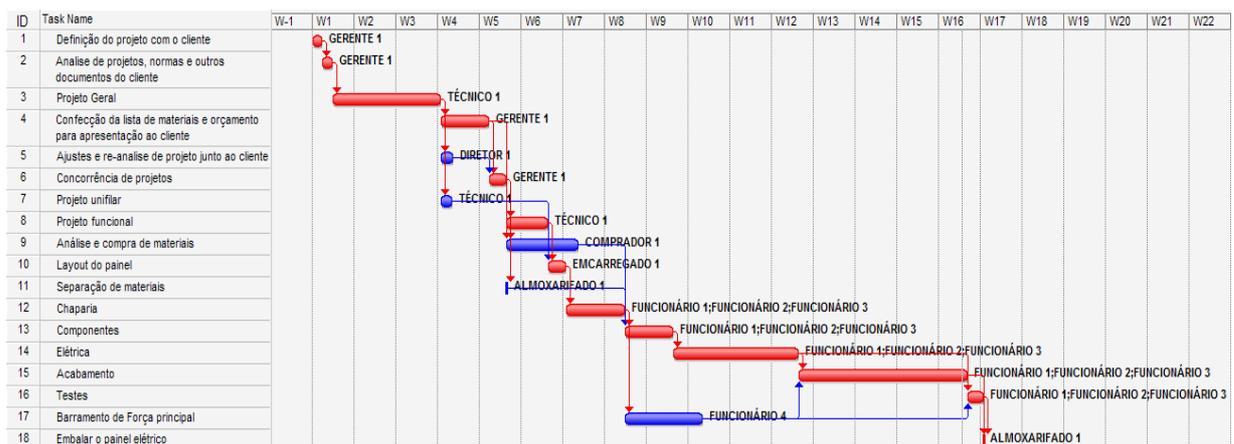


Figura 27: Rede PERT com recursos alocados

Analisando-se a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, constata-se que as atividades de acabamento e teste constituem, ambas, um caminho crítico, devido ao fato de que utilizam os mesmos recursos de produção. Dessa forma, considerou-se o sequenciamento das

atividades 15 e 16, por levar em consideração que para que uma atividade possa utilizar um recurso, outra, que por ventura o esteja utilizando, deve terminar o uso deste e liberá-lo.

Assim, o tempo total do projeto é alterado para 643,97 horas e tem o seu caminho crítico formado pelas atividades 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16 e 18.

3.5 Auxílio na Produção

Com base nos dados analisados, algumas sugestões podem ser ofertadas ao processo produtivo a fim de que se possa obter um maior controle do mesmo.

3.5.1 Ajuste de recursos

Na produção de um painel elétrico, as atividades 12, 13, 14, 15 e 16 são realizadas por um conjunto de funcionários em cada uma. Estas atividades possuem a característica de que podem ser aceleradas caso o número de funcionários trabalhando seja maior, exercendo assim uma maior carga Hora/Homem em cada etapa e vice-versa.

Esta flexibilidade de ajuste permite que possa ser feitas alterações no tempo total do projeto poupando ou em detrimento de recursos.

Essas alterações envolvem o número de funcionários trabalhando em cada uma dessas 5 etapas construtivas do painel (chataria, componentes, elétrica, acabamento e testes), na segunda parte do projeto (montagem do painel elétrico) e são demonstradas pela variação no tempo corrido de produção, representado como “Tempo de máximo recurso” e “Tempo de mínimo recurso” e “Tempo Ótimo” na Tabela 5. O Tempo de máximo recurso envolve a utilização máxima de funcionários por etapa produtiva, que no caso da empresa são seis funcionários. Já o tempo de mínimo recurso envolve a utilização de apenas um funcionário por atividade. O “Tempo Ótimo” de produção foi calculado utilizando a capacidade máxima de funcionários (seis) dividida entre as atividades simultâneas 15 e 16, assim, cada atividade

possuirá um total de três funcionários executando-as, fazendo com que apenas a atividade mais longa faça parte do caminho crítico (no caso, a atividade 15).

O “Tempo Otimista” da primeira etapa produtiva (Negociação e Projeto) não foi considerado para cálculo de “Tempo com máximo recurso” por não ser um fator controlável.

A variação do tempo total de produção do painel pode ser vista no Quadro 6.

CONFIGURAÇÃO	DURAÇÃO (Horas)
Tempo de máximo recurso	600,51
Tempo de mínimo recurso	1359,71
Tempo Ótimo de Produção	686,69

Quadro 6: Variação do tempo total de produção em função do volume de recursos

Como observado no Quadro 6, o “Tempo Ótimo” de produção não oferece uma aceleração no processo de manufatura em relação ao tempo de máximo recurso, não justificando a divisão do total de recursos (seis funcionários) entre as duas atividades (acabamento e testes) para aproveitamento do paralelismo, a não ser que isso seja conveniente em determinadas situações.

3.5.2 Cronograma

Ocasionalmente, poderá ocorrer a produção simultânea de painéis elétricos para clientes distintos, exigindo assim que a distribuição das atividades referentes a um ou mais projetos de acordo com os recursos que ficam disponíveis após a utilização dos mesmos.

Para análise de comportamento e tempo de produção para mais de um painel elétrico, adicionou-se às mesmas atividades já existentes criadas no *software* MS-PROJECT, porém, como se fosse outro projeto, com isso, obteve-se um gráfico de Gantt visualizado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

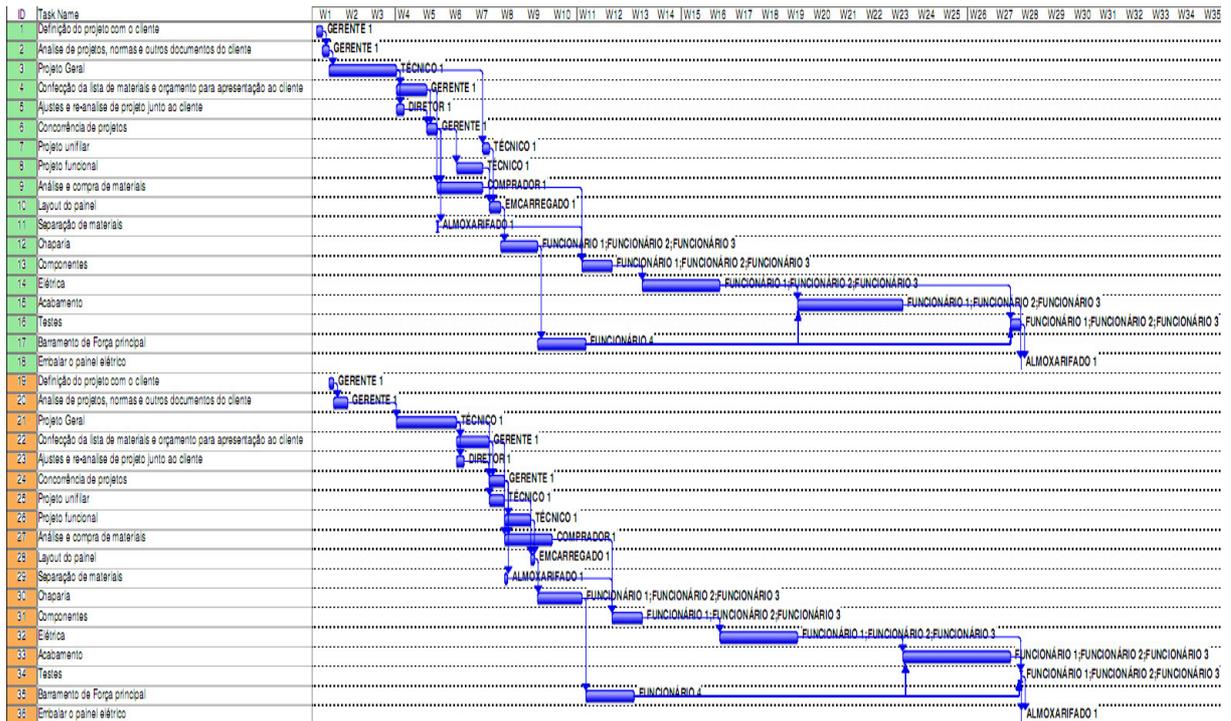


Figura 28: Gráfico de Gantt com dois projetos

Como observado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o tempo total de produção para dois painéis elétricos de clientes (projetos) distintos é de pouco mais de 28 semanas, o que torna o processo mais viável se comparado a produção de um único painel (16 semanas), pois a empresa tem um ganho de aproveitamento melhor se levar-se em conta o tempo de produção independente de 2 painéis, que é o tempo unitário (16 semanas) para cada painel: 32 semanas. Essa redução é devido ao melhor aproveitamento dos recursos ociosos para uma produção paralela.

4 CONCLUSÃO

A organização das atividades produtivas da empresa em uma rede de projetos possibilitou a elaboração de um cronograma para as atividades de produção em questão, permitindo a avaliação dos recursos necessários e seus níveis de utilização sob uma perspectiva de médio prazo, contribuindo para a compreensão temporal do sistema produtivo.

Dessa forma, um projeto requisitado pelo cliente poderá conter uma base mais sólida que a atual no que diz respeito á previsão de entrega e alocação de recursos produtivos em um ou mais projetos sendo executados simultaneamente.

Com os dados temporais de execução das atividades, a organização tem à disposição a capacidade de tomar decisões de curto a longo prazo e, entre elas, a de ingressar ou não em um novo projeto, tendo em vista suas capacidades atuais ou, caso necessário, de variar seu quadro de funcionários em função da demanda produtiva, analisando-se para isso os recursos necessários das atividades.

Devido ao fato das atividades produtivas de 1 (Definição do projeto com o cliente) a 11 (Separação de materiais) serem semelhantes para demais projetos em relação ao tempo de execução, pode-se utilizar o modelo como referência para produção de outros tipos de painéis elétricos, sejam eles de pequeno, médio ou grande porte, pois significativamente, a alteração de tempo se dará nas etapas de montagem do mesmo (chaparia, componentes, elétrica, acabamento e testes).

A ciência das atividades que devem ser realizadas na confecção de um painel elétrico poderá ser utilizada para a implantação de um sistema de ordem de fabricação no setor produtivo, sendo liberado conforme o andamento da fabricação. Dessa forma, pode-se implantar um controle informatizado do estado de execução do pedido, fornecendo parâmetros de controle em tempo real do andamento do projeto, tanto para a própria organização, quanto para o cliente, formalizando um acompanhamento mútuo do produto solicitado, servindo ainda como controle de produtividade para a empresa.

A organização pode, a partir de então, registrar os dados produtivos em um banco de informações, vinculados aos seus colaboradores, tendo parâmetros de eficiência produtiva nos setores tanto individuais quanto por equipes. Dessa forma, na eventual necessidade de uma aceleração ou desaceleração de processo, o gerente poderá movimentar seus recursos produtivos (funcionários) como bem entender. Essa prática é muito utilizada em casos de extrema urgência de determinados pedidos, necessitando serem atendidos em detrimento de outros com prazos mais folgados de entrega.

A partir desse ponto a empresa pode planejar sua produção a médio e longo prazo, utilizando seus níveis de sazonalidade anual para organizar compras de materiais em quantidades que favoreçam seu custo e tempos de entrega compatíveis com o início das atividades de montagem dos painéis elétricos.

Os painéis elétricos podem também ser estudados a fim de se avaliar uma parametrização em relação aos seus tipos, seja por tamanhos, número de controle, número de portas, etc. Dessa forma pode-se ter uma produção mais racional e controlada.

REFERÊNCIAS

- CASAROTTO, N.; FÁVERO, J. S.; ESCOSTEGUY, J. E. **Gerencia de projetos/engenharia simultânea**. São Paulo. Ed. Atlas, 1999.
- CORRÊA, H. L; GIANESE, I. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2001.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, J. A.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. Traduzido por: Eduardo D' Agord Schaan [et al.]. 3.ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2001.
- FITZSIMMONS, J. M. **Service Management**. 3.ed. [S. l.]: McGraw-Hill, 2001.
- HOARE, Henry Ronald. **Administração de projetos aplicando análise de redes: PERT-CPM**. São Paulo: McGraw do Brasil, 1976.
- KINGSMAN, B. G.; HENDRY, L. C. **The relative contributions of input and output controls on the performance of a workload control system in make-to-order companies. Production Planning e Control**. [S. l.]: [s. n.], 2002.
- LOIOLA, T.F. **Desenvolvimento de um modelo de integração entre projeto e fabricação de produtos especiais sob encomenda: caso dos laboratórios de próteses dentárias**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003.
- LUSTOSA, Leonardo et al. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier, 2008.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2. ed. Rev., aum. e atual. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MOREIRA, D.A. **Administração da Produção e Operações**. 2.ed. São Paulo: Ed. Pioneira, 1996.
- NUNES, A. R. P. et al. **O uso integrado do JIT, MRP II e simulação numa empresa que conjuga produção repetitiva e produção sob encomenda**. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1996, Foz do Iguaçu. Anais..., 1996.
- RUSSOMANO, Victor Henrique. **PPCP: planejamento e controle da produção**. 6. ed. rev. São Paulo: Ed. Pioneira, 2000.

SANTOS, Mauricio Pereira dos. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, 2003. Apostila de pesquisa operacional do departamento de matemática da Universidade do estado do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://www.mpsantos.com.br/po/arquivos/po.pdf>>. Acesso em 20 Jun. 2009.

SLACK, N.; CHANBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 1. ed. São Paulo: Ed. Atlas, 1996.

SLACK, N.; CHANBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Ed. Atlas, 2002.

STRUMIELLO, L.D.P. **Proposta para o planejamento e controle da produção e custo para pequenas empresas do vestuário**. Florianópolis: [s. n.], 1999.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção: teoria e prática**. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Programação De Projetos Com Pert/Cpm**. Apostila do curso de engenharia de produção. UFSC, 2009. Disponível em: <<http://mayerle.deps.prof.ufsc.br/eps5102.htm>>. Acesso em: 25 Jun. 2009.

ZATTAR, Izabel Cristina. **Metodologia para implantação de um sistema de programação da produção com capacidade finita em empresas prestadores de serviços**. 2003. Trabalho de conclusão de curso, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003.

APÊNDICES

GLOSSÁRIO

Diagrama Unifilar	Projeto elétrico de interligações entre equipamentos sem minúcias quanto aos pontos de conexão existentes nesses equipamentos.
<i>Soft-Starter</i>	Dispositivo eletrônico de controle de acionamento para motores indutivos.
Disjuntores	Dispositivo eletro-mecânico de proteção de rede elétrica.
Contatores	Dispositivo eletro-mecânico de contato.
Inversores de frequência	Dispositivo eletrônico de controle de frequência em motores indutivos.