

Aplicação das Técnicas PERT/CPM para o Planejamento e Controle da Produção: Um Estudo de Caso em uma Indústria de Cerâmica Vermelha do Município de Uberlândia

Dermeval Martins Borges Júnior – dermevaljr14@gmail.com

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Área temática: Produção e Logística

Resumo

O setor cerâmico tem papel importante para a economia nacional, sendo um dos segmentos da construção civil de expressiva participação no Produto Interno Bruto. Contudo, a indústria de cerâmica apresenta diversos problemas decorrentes de processos produtivos ultrapassados, defasagem tecnológica e obsolescência de maquinário. Sendo assim, o setor ceramista carece de alternativas, sobretudo na área de produção, de modo a buscar a competitividade de seus produtos para a sobrevivência no mercado. Dentre as diversas técnicas para planejar, sequenciar e controlar atividades tem destaque o método PERT/CPM. O planejamento com PERT/CPM é feito por meio de uma rede, apresentando uma sequência lógica das atividades, com as respectivas interdependências e durações, a fim de obter o tempo total do projeto. Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivo geral aplicar a técnica PERT/CPM para o planejamento e controle do processo produtivo em uma indústria de cerâmica vermelha da cidade de Uberlândia-MG. A coleta de dados foi feita por meio de entrevista individual com o responsável pela área de produção da empresa estudada e por observação simples do processo de produção. Os resultados indicaram como tempo esperado total para a produção na referida indústria 174,8 horas, porém para que a probabilidade de realização seja de 99,9% são necessárias 215 horas. O caminho crítico, aquele que se não cumprido no tempo estipulado para cada tarefa implicará no atraso da produção, compreende as atividades de descanso, homogeneização, destorroador, misturador, laminador, extrusão e corte, secagem, disposição nos fornos, queima, resfriamento e retirada dos fornos.

Palavras-chave: PERT/CPM; Planejamento e Controle da Produção; Indústria Cerâmica.

1. Introdução

Atualmente, devido às condições econômicas e de mercado, as empresas estão tendo que melhorar o quanto for possível a forma com que exercem suas atividades. De acordo com Quezado, Cardoso e Tubino (1999), observa-se uma revolução nos paradigmas dos processos produtivos imposta, principalmente, pela globalização da economia. Por meio dessa política globalizante, há uma maior integração entre os países, grupos de países ou continentes, com quedas de barreiras comerciais, tendo como consequência, acirradas disputas entre empresas concorrentes, transformando, portanto, as relações de produção. Tendo em vista esse cenário de elevada competição, as organizações têm buscado maneiras de aumentar a qualidade e produtividade. Nesse contexto, Pedroso e Corrêa (1996) afirmam que o sistema de Planejamento, Programação e Controle da produção representa uma área de decisão prioritária para os gestores. E dentre as técnicas empregadas para planejar, sequenciar e acompanhar atividades, Cukierman (1993) aponta o PERT/CPM como a mais utilizada.

De maneira geral, conforme Hirschfeld (1978), o planejamento com os métodos PERT/CPM é feito por meio de uma rede, apresentando uma sequência lógica do planejamento, com as interdependências entre as operações, a fim de atingir um determinado objetivo. Nessas redes são colocadas as durações das atividades, para permitir uma análise de otimização de tempo e/ou de custo e programação em calendário. Segundo Quezado, Cardoso e Tubino (1999), o PERT/CPM é considerado por muitos como um poderoso instrumento de administração aplicado com sucesso a projetos de qualquer natureza, como: lançamentos de novos produtos, projetos educacionais e teatrais, construção civil, naval, aeroespacial, projetos agrícolas, entre muitos outros. Contudo, os autores alegam que, talvez por questões culturais, o método encontra barreiras para sua implementação em processos produtivos, uma vez que foi concebido para o planejamento de grandes projetos.

Apesar de ser pouco usual em operações fabris, o PERT/CPM pode trazer contribuições importantes para as operações das organizações que envolvem aspectos relativos ao tempo, como pontualidade e rapidez, e com sequenciamento de atividades. Tanto é que estudos recentes, embora ainda escassos, já abordam o uso dessa técnica para o planejamento e controle da produção, como os trabalhos de: De Cesare e Costa (2009) que aplica o PERT/CPM para diminuir o tempo de produção de camisas em uma indústria de confecções; Santos *et al.* (2010) que usa o mesmo método para obter maior serviço ao cliente em uma empresa de *fast food*; Pelicia e Tarrento (2015), que utiliza o CPM no processo de fabricação de portas pantográficas de uma empresa automotora; Bahia e Souza (2007) que emprega o PERT/CPM para melhoria no controle e processamento em uma empresa beneficiadora de arroz.

Um tipo de setor fabril favorável para empregar os métodos PERT/CPM no planejamento e controle da produção é o das indústrias de cerâmica, uma vez que, conforme Medeiros (2006), o processo produtivo de blocos cerâmicos é constituído de muitas etapas sequenciais. De acordo com Silva (2009), o setor cerâmico constitui peça-chave na construção civil brasileira e integra uma das áreas consideradas prioritárias pelo Governo Federal, que é a tecnologia industrial básica. Silva (2009) ainda ressalta a forte demanda por produtos de cerâmica vermelha, tais como: pisos, soleiras, tijolos, blocos, placas cerâmicas, entre outros. Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (2005), o setor ceramista participa com cerca de 5% do Produto Interno Bruto - PIB da indústria da construção civil, que, por sua vez, representa entre 6% e 9% do PIB nacional, a depender do ano considerado.

Em face aos benefícios proporcionados pelo método PERT/CPM, a escassez de estudos que fazem uso dessa técnica para o planejamento e controle da produção e o papel relevante da

indústria de cerâmica para a economia nacional, este trabalho tem como objetivo geral aplicar os métodos PERT/CPM para o planejamento e controle do processo produtivo em uma indústria de cerâmica vermelha da cidade de Uberlândia-MG. Como objetivos específicos enumeram-se: i) revisar trabalhos acadêmicos relacionados à técnica PERT/CPM, principalmente quando usada para o planejamento e controle da produção; ii) descrever, de maneira geral, o processo produtivo na indústria de cerâmica objeto de estudo; iii) estabelecer a lista de atividades, incluindo os respectivos tempos e relações entre elas; iv) elaborar diagrama de rede, indicando o caminho crítico; v) apresentar o tempo total mínimo para realização da produção e sua probabilidade de execução.

Silva (2009) destaca que o setor cerâmico brasileiro é extremamente pulverizado, composto eminentemente por empresas pequenas, do tipo familiar, com forte presença da economia informal. Além disso, Rocha e Palma (2012) afirmam que o setor ceramista carece de inovações tecnológicas, resultando em perdas nos índices de produtividade e na qualidade do produto final. Diante disso, a elaboração de um trabalho como este é justificada por aplicar o método PERT/CPM, consagrado na gestão de projetos, como uma alternativa efetiva para o planejamento e controle da produção, de modo a contribuir para a normatização e melhoria do processo produtivo nessas indústrias.

2. Revisão da literatura

2.1. Planejamento e Controle da Produção – PCP

O Planejamento e Controle da Produção – PCP, segundo Burbidge (1981), é a função da administração relacionada com o planejamento, direção e controle do suprimento de materiais e das atividades de processo em uma empresa. Para Slack *et al.* (2002), o propósito do PCP é garantir que a produção ocorra de modo eficaz e que sejam produzidos produtos e serviços como se deve. Contudo, é preciso se ter clara a distinção entre planejamento e controle: o planejamento consolida aquilo que se pretende que aconteça no futuro, gerando um plano, que não garante necessariamente que o planejado seja executado devido à diversas variáveis que interferem na execução; o controle é o processo de lidar com essas variáveis e contorná-las, é atividade primordial que envolve o replanejamento e o ajuste de operações para que os objetivos do plano estabelecido sejam atingidos.

Para Santos *et al.* (2010), o planejamento e controle da produção pode ser melhor entendido quando o conceito de sistema de produção se faz claro. Conforme Moreira (2004), sistema de produção consiste no conjunto de atividades e operações inter-relacionadas que estão envolvidas na produção de bens ou serviços. Na definição de Harding (1981), sistema produtivo representa um conjunto de partes inter-relacionadas as quais, quando conectadas, atuam conforme padrões estabelecidos sobre *inputs* (entradas) no sentido de produzir *outputs* (saídas).

Em um sistema produtivo qualquer, ao se estabelecer as políticas, metas e estratégias, também é necessário estruturar os planos para alcançá-las, administrar os recursos humanos e físicos com base nestes planos, direcionar a ação dos recursos humanos sobre os físicos e acompanhar esta ação, permitindo a correção de eventuais desvios. Como visto, a finalidade do PCP é garantir que a produção aconteça de modo eficaz e que produza bens e serviços como deve, o que demanda a disponibilidade dos recursos produtivos na quantidade certa, no momento exato e no nível de qualidade adequado. Em um sistema de produção, as atividades do PCP devem ser exercidas nos três níveis hierárquicos de planejamento e controle das atividades produtivas, que são: nível estratégico, nível tático e nível operacional (QUEZADO; CARDOSO; TUBINO, 1999).

No nível estratégico são estabelecidas as políticas estratégicas de longo prazo da organização, tais como: decisões de compra de equipamentos; ampliação/redução da capacidade produtiva; número de horas-homem disponíveis, definido pela contratação, subcontratação ou demissão de recursos humanos; número de horas-máquina; definição do tipo de produto que será produzido; implementação de novas tecnologias; entre outros. Tais informações são fornecidas ao PCP que, neste nível, participa com a elaboração daquilo que é conhecido como planejamento estratégico da produção, o qual permite a geração de um plano de produção com valores agregados de previsão de demanda. No nível tático são estabelecidos os planos de médio prazo para a produção. Neste nível, o PCP participa com a formulação do planejamento mestre da produção e, através deste, obtém-se o plano mestre de produção. Tal plano leva em conta questões como: número de turnos; recursos humanos e horas disponíveis; equaciona a capacidade produtiva; informa a programação da fábrica, entre outros. No nível operacional são preparados os programas de curto prazo de produção e é feito o acompanhamento dos mesmos. Neste nível, o PCP prepara e realiza a programação da produção administrando estoques, sequenciando as atividades, emitindo e liberando ordens de compra, ordens de fabricação e ordens de montagem. Também é feito o acompanhamento e controle da produção no nível operacional (QUEZADO; CARDOSO; TUBINO, 1999).

Diversas funções que são incorporadas ao PCP buscam elaborar planos e atividades que orientem a produção e sirvam como guia para o seu controle, de modo a atender com eficiência os programas previamente acertados. Para isso, várias metodologias, sistemas e técnicas são empregadas, dentre elas o PERT/CPM, onde mão-de-obra, equipamentos, tempo e capital disponíveis devem ser utilizados com o máximo aproveitamento, indicando soluções na melhoria do processo produtivo (SILVA *et al.*, 2010).

2.2. PERT/CPM

O PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) teve sua origem na década de 1950 no planejamento e controle de grandes programas de defesa da marinha norte-americana e na construção civil. O grande caso de sucesso no uso da técnica foi o término do programa do míssil *Polaris* dois anos antes da data programada, em 1958. Nesse programa, que envolvia cerca de 10.000 empresas, entre contratantes e subcontratantes que fabricariam aproximadamente 70.000 peças diferentes, que tinham de ser coordenadas e necessitavam se comunicar numa mesma linguagem, por meio do método foi possível reduzir de cinco para três anos a duração total do projeto. Já o CPM (*Critical Path Method*) foi desenvolvido quase na mesma época que o PERT, 1957/1958, porém de forma independente em uma *joint venture* entre a empresa química DuPont e a fabricante de computadores Remington Rand Univac como uma técnica de programação para a construção, manutenção e desativação de fábricas de processos químicos (QUEZADO; CARDOSO; TUBINO, 1999).

Desde suas concepções, as diferenças entre as duas técnicas eram irrelevantes, apenas alguns detalhes: no PERT predominam os chamados tempos probabilísticos, isto é, as estimativas de tempos não podem ser feitas com certeza; no CPM predominam os chamados tempos determinísticos, ou seja, onde os tempos das operações podem ser conhecidos com certeza. Com o tempo, essas diferenças foram se atenuando e a partir de 1962 estes métodos, considerados complementares, se acham integrados sob a denominação PERT/CPM, sendo definido como um conjunto de processos para planejamento, programação e controle de um empreendimento, operação ou projeto, tendo como característica fundamental a indicação, dentre as várias sequências operacionais, daquela que possui duração máxima, além de permitir a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando distribuição de recursos e interdependência entre as várias ações necessárias ao desenvolvimento do projeto (QUEZADO; CARDOSO; TUBINO, 1999).

Para Moreira (2004), o planejamento através do PERT/CPM consiste em configurar o projeto através de um diagrama de rede onde se representam as atividades desse projeto e a ordem em que são efetuados, tendo como objetivo definir o melhor programa possível de concepção/fabricação de tal forma que os recursos sejam utilizados da melhor forma, evitando assim custos, desperdícios e atrasos de produção. Em concordância, Hirschfeld (1978) considera os métodos PERT/CPM como sendo o planejamento realizado através de uma rede, apresentando uma sequência lógica com as interdependências entre as operações, a fim de alcançar um determinado objetivo.

De acordo com Quezado, Cardoso e Tubino (1999), são inúmeras as vantagens proporcionadas pelos métodos PERT/CPM para o PCP, dentre elas, os autores destacam:

- Visão gráfica das atividades;
- Estimativa do tempo consumido pelo projeto;
- Visão das atividades críticas para o atendimento do prazo estipulado para a conclusão do projeto;
- Visão de quanto de folga dispõem as atividades não-críticas, a qual pode ser negociada no sentido de reduzir a aplicação de recursos e, conseqüentemente, custos.

2.3. A indústria de cerâmica vermelha

O setor cerâmico é bastante heterogêneo, podendo ser classificado em diferentes segmentos, conforme os materiais utilizados na produção e as características dos produtos fabricados. No caso deste trabalho, o segmento abordado é o da cerâmica vermelha, que compreende os materiais de coloração avermelhada, empregados na construção civil, como: tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos, utensílios de uso doméstico e decorativos. Grande parte das indústrias de cerâmica vermelha do Brasil está concentrada nos estados de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MEDEIROS, 2006).

Minas Gerais, juntamente com os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina e Bahia, é um dos maiores pólos nacionais de consumo de cerâmicos. A maior parte das indústrias de todos os segmentos cerâmicos está concentrada nas regiões mais desenvolvidas, onde há maior densidade demográfica, atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura e distribuição de renda. As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste têm apresentado aumento no nível de desenvolvimento, o que levou diversas fábricas a se instalarem nesses estados recentemente. A construção de empreendimentos imobiliários, voltados ou não para o turismo, tem elevado a demanda por materiais cerâmicos nestas regiões, atraindo empresas deste setor, sobretudo nos estados da região Nordeste (SILVA, 2009).

A maioria das empresas de cerâmica são familiares, de micro, pequeno e médio portes, com processos produtivos defasados tecnologicamente. Em geral, estão instaladas em locais com disponibilidade de matéria-prima e escoam a produção por meio do modal rodoviário. Os custos mais significativos envolvem os combustíveis para a etapa de queima, disputando com os gastos com mão-de-obra, que no geral, é pouco qualificada e com alto índice de rotatividade (SEBRAE, 2005).

O Brasil está entre os principais produtores mundiais de cerâmica, atrás da China e da Espanha. A indústria de cerâmica tem papel importante para a economia nacional, sendo um dos setores da indústria de construção civil de expressiva participação no Produto Interno Bruto. Além da relevância econômica, tal setor tem relevante papel social, tanto pela capacidade de diminuição do déficit habitacional brasileiro como por seu potencial de geração de emprego e renda (SILVA, 2009).

Apesar de sua importância, a indústria de cerâmica apresenta diversos problemas, sendo que muitos decorrem dos processos produtivos ultrapassados, defasagem tecnológica e obsolescência de maquinário. A Associação Nacional das Indústrias de Cerâmica - ANICER (2007) ainda cita a escassez de conhecimento técnico para a preparação da argila, a ausência de critérios bem definidos para a dosagem de resíduos, erros durante a fase de extrusão, falta de regulação das boquillas ou do sistema de vácuo, levando por água abaixo o bom desempenho da fábrica. Fatores como esses fazem que o setor ceramista brasileiro fique estagnado, apesar do potencial para progredir.

Pauletti (2001) afirma que o setor de cerâmica vermelha necessita se reestruturar, com o intuito de buscar a competitividade, por uma questão de sobrevivência no mercado, tendo em vista que são várias as ameaças surgindo, a ponto de fazer com que somente empresas que possuem padrões de qualidade aceitáveis e preços competitivos, permaneçam no mercado. Medeiros (2006) ainda destaca a questão da sustentabilidade como forma de melhoria dos processos nas indústrias cerâmicas, incluindo desde a extração da argila nas jazidas até o potencial de reciclagem do material quando findada a sua vida útil.

3. Aspectos metodológicos

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, uma vez que não foram empregados métodos matemáticos ou instrumentos estatísticos com o intuito de atingir alguma representatividade numérica, mesmo embora tenha sido feito o uso de medidas de dispersão como desvio padrão e variância para a análise através da técnica PERT/CPM. Tal entendimento está em concordância com Silva e Menezes (2005), que definem pesquisa de abordagem qualitativa como aquela em que os dados a serem analisados podem ser qualificáveis, o que significa traduzir opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, através do uso de diferentes recursos e técnicas.

Quanto aos objetivos, este estudo pode ser classificado como uma pesquisa descritiva, que, segundo Gil (2002), é aquela que tem como finalidade primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno, até mesmo o estabelecimento de relações entre variáveis, tendo como características principais a utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados. As pesquisas descritivas são as habitualmente utilizadas por pesquisadores sociais preocupados com a atuação prática, sendo que diversos estudos podem ser classificados sob este título.

Quanto ao procedimento utilizado, esta pesquisa pode ser considerada como um estudo de caso, desenvolvido em uma indústria de cerâmica vermelha no município de Uberlândia, Minas Gerais. Conforme Gil (2002), o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de modo que permita seu amplo e detalhado conhecimento. Vale ressaltar que, apesar dos benefícios citados, a análise de um único ou de poucos casos fornece uma base muito frágil para a generalização, deste modo, os resultados obtidos neste trabalho estão condizentes, exclusivamente, às condições e características da organização estudada no período em que ocorreu a pesquisa.

A coleta de dados foi feita por meio de entrevista individual com o responsável pela área de produção da organização estudada e por observação simples do processo produtivo. A entrevista ocorreu na própria empresa, no mesmo dia da visita para acompanhamento da produção, e teve duração de uma hora e trinta minutos. Conforme Bauer e Gaskell (2002), a entrevista individual se trata de uma conversação em que o entrevistado tem total liberdade para expor sobre o tema e o pesquisador segue um guia com os tópicos a serem abordados na conversa. Por sua vez, a observação simples, segundo Gil (2002), é entendida como aquela em que o pesquisador observa de maneira espontânea os fatos que estão ocorrendo, sem interferir no andamento dos mesmos.

Os dados obtidos foram tratados conforme exige o método PERT/CPM baseado em Slack *et al.* (2002), deste modo, para possibilitar melhor entendimento do trabalho, as fórmulas e cálculos empregados a partir dos dados coletados estão descritos em cada etapa da sessão dos resultados.

4. Resultados

4.1. Caracterização da empresa

A empresa utilizada para o estudo de caso foi uma indústria de cerâmica vermelha localizada na cidade de Uberlândia, no Estado de Minas Gerais. A referida organização está no mercado de cerâmicas há, aproximadamente, 40 anos, sendo uma empresa familiar que, atualmente, é administrada pelos herdeiros do fundador.

A estrutura organizacional é bastante simplificada, dividida em dois segmentos: área administrativa e área de produção. A área administrativa tem como atribuições os aspectos que envolvem aquisições, vendas, parte financeira e administração em geral; a área produtiva compreende os aspectos relacionados ao gerenciamento da produção e qualidade. A entrevista e a visita ao processo produtivo foram feitas com o responsável geral pela área de produção.

A indústria de cerâmica estudada emprega hoje cerca de 50 funcionários, mas já chegou a ter 130 funcionários no passado recente. A empresa vem passando por certas dificuldades, e por isso, tem trabalhado mais com vendas sob pedidos de clientes, mantendo níveis baixos de estoque. Deste modo, a capacidade produtiva total não é utilizada de modo pleno, resultando na necessidade de redução de pessoal.

Referente à produção, a empresa fabrica tijolos cerâmicos comuns, nas dimensões (cm) 10x20x25, 10x20x30, 12x20x25, 12x20x30, 15x20x25, 15x20x30, e canaletas cerâmicas de 10x15x25, 12x15x25, 12x15x30. A programação da produção varia conforme os pedidos recebidos e conforme as necessidades de estoque. Outras variações de produtos cerâmicos não são oferecidas pela empresa, pelo fato de exigirem processos e maquinários diferenciados.

4.2. Descrição do processo produtivo

A matéria-prima utilizada para a produção das cerâmicas vermelhas é composta pela mistura de, fundamentalmente, dois tipos de argila, uma muito plástica e por outra pouco plástica. As argilas são extraídas das jazidas de regiões próximas e transportadas diretamente para a cerâmica, onde permanecem em descanso por um tempo e são dosadas conforme as características desejadas para o produto. Conforme o entrevistado, esse período de descanso da argila representa etapa muito importante para o processo produtivo, pois é nesse momento que elementos como galhos, raízes, folhas ou outros materiais orgânicos se decompõem. Quando isso não ocorre, a produção pode ser comprometida, inclusive resultando em produtos de baixa qualidade, com trincas, deformações, diferenças de peso e medida, entre outras imperfeições. Além disso, quando existem detritos na argila, as máquinas são mais exigidas para o processamento do material, e por isso, não conseguem executar as funções de modo satisfatório.

Embora pareça ser simples, o processo de descanso exige ainda alguns cuidados. No caso específico da empresa estudada, há certa dificuldade em obter argila, e por isso, a busca por matéria-prima ocorre em diversos locais distintos. Assim sendo, as argilas obtidas possuem diferentes propriedades em sua composição, exigindo tratamento diferenciado conforme cada tipo de material. Um exemplo é a necessidade de umedecer diariamente a argila, com o objetivo de evitar o seu ressecamento, porém esse procedimento pode ou não ser dispensado, vai depender das características de cada tipo de argila.

Após o período de descanso e o procedimento de umedecimento, quando necessário, a argila é transportada para um depósito para que ocorra o processo de homogeneização. Os diferentes tipos de argila apresentam diferentes teores de umidade, conforme Dantas Neto (2007, *apud* Silva, 2009) podem ser classificadas em secas (umidade relativa de até 6%), semissecas (7% a 10%), semiúmidas (11% a 18%) e úmidas (maior que 18%). Assim, a etapa de homogeneização consiste em igualar o teor de umidade e temperatura do material para que se possa dar prosseguimento ao processo produtivo.

Quando a argila está homogeneizada, ela é depositada em um caixão alimentador que irá conduzi-la para o destorroador. No destorroador, a massa é triturada a fim de eliminar os amontoados maiores de argila, denominados de torrões. Esse procedimento irá permitir que as demais operações sejam feitas mais facilmente pelas outras máquinas. Em seguida, o material passa pelo misturador, que consiste num equipamento que possui eixos que vão rodando e misturando a argila e adicionando água, de modo a unificar a massa. Isso ocorre até que a argila esteja com a consistência adequada para a extrusão.

Depois de passar pelo misturador, o material segue para o laminador. O laminador quebra eventuais detritos que por ventura não tenham sido eliminados durante todo o processo até então e, também nesta etapa, a massa cerâmica se torna mais densa, pois são suprimidas todas as bolhas de ar antes de ir para a extrusora. Na extrusora, também conhecida como maromba, a argila homogeneizada é conduzida para uma câmara de vácuo e impulsionada contra um molde de aço, denominado boquilha. Em seguida, a massa sai moldada conforme o formato da boquilha e é cortada de acordo com as especificações desejadas.

Uma vez moldados, os blocos são deslocados para o secador. O secador consiste num espaço coberto, onde os blocos são dispostos e secados por meio de diversos ventiladores, a fim de reduzir sua umidade. Após o processo de secagem, o material é transportado por vagonetas até o local onde ficam os fornos, e são colocados dentro destes através de procedimento manual. O processo de queima que dá aos tijolos as propriedades adequadas ao uso, como resistência e cor, obtidas pelas transformações químicas e estruturais que a argila sofre ao ser submetida ao calor.

Embora não esteja diretamente relacionada com a fabricação dos blocos cerâmicos em si, para que o processo de queima ocorra ainda é necessária a atividade referente ao preparo do combustível a ser usado. Para a queima de elementos cerâmicos, os principais combustíveis utilizados são a lenha e o óleo combustível residual, com crescente disseminação do gás natural comprimido. No caso específico da empresa estudada, a fonte é a lenha comum, proveniente da mata nativa da região, o cerrado, e o eucalipto tratado. As características a forma com que a madeira determinarão o rendimento energético no processo de queima, impactando na duração do mesmo.

Finalizado o processo de queima, os tijolos precisam resfriar por um tempo no interior do forno. Quando parte desse tempo é atingido, a entrada do forno é aberta e são colocados dois ventiladores a fim de tornar o processo de resfriamento mais rápido. Isso ocorre porque os tijolos não podem sofrer uma redução repentina da temperatura, pois do contrário podem ocorrer fissuras ou rachaduras, por isso a importância do resfriamento ser gradativo. Depois do resfriamento completo, duas pessoas são encarregadas de retirar os tijolos dos fornos para que possam ser armazenados.

4.3. Definição dos tempos das atividades

Para elaborar a rede PERT/CPM, encontrar o caminho crítico e a duração total da produção é necessário conhecer os tempos de cada uma das atividades envolvidas no processo. Conforme Slack *et al.* (2002), para obter a duração de cada operação, são utilizadas três estimativas de

tempo para cada atividade, são elas: otimista, mais provável e pessimista. O otimista representa o melhor tempo que determinada atividade é possível de ser realizada, o mais provável é o tempo mais recorrente e, por fim, o tempo pessimista é o de maior duração possível. O tempo considerado para o planejamento da rede PERT/CPM é o esperado, calculado através da equação:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Sendo:

t_e = tempo esperado

a = tempo otimista

m = tempo mais provável

b = tempo pessimista

Assim sendo, nesta etapa do estudo, estão descritos os tempos otimista, mais provável e pessimista para cada uma das atividades, conforme Tabela 1. Vale ressaltar que tais estimativas de tempo foram fornecidas pelo responsável da área de produção da empresa estudada, tendo como base a fabricação de, aproximadamente, 20.000 tijolos de dimensões de 10x20x25 (cm), principal produto comercializado pela cerâmica. O tempo esperado foi calculado de acordo com a equação indicada em Slack *et al.* (2002).

TABELA 1 – Tempos (em horas) otimista, mais provável, pessimista e esperado para as atividades

Atividade	Duração (horas)			
	Otimista	Mais Provável	Pessimista	Esperado
A) Descanso	20	24	48	27,3
B) Umedecimento	0	12	24	12,0
C) Homogeneização	15	24	48	26,5
D) Destorroador	0,4	0,5	0,6	0,5
E) Misturador	0,4	0,5	0,6	0,5
F) Laminador	0,4	0,5	0,6	0,5
G) Extrusora e Corte	0,4	0,5	0,6	0,5
H) Secagem	20	24	48	27,3
I) Preparo da madeira para queima	4	6	7	5,8
J) Disposição nos fornos	8	10	12	10,0
K) Queima	17	24	40	25,5
L) Resfriamento	45	48	50	47,8
M) Retirada dos fornos e armazenamento	6	8	12	8,3

Fonte: Elaboração própria

4.4. Variância e desvio padrão dos tempos das atividades

Com base no método PERT/CPM, para obter a probabilidade de realização da produção no tempo planejado, é necessário calcular a variância (σ^2) e o desvio padrão (σ) conforme os tempos otimistas e pessimistas das atividades. O cálculo foi feito a partir das equações:

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2 \qquad \sigma = \left(\frac{b - a}{6} \right)$$

Sendo:

a = tempo otimista

b = tempo pessimista

A Tabela 2 apresenta a variância e o desvio padrão de cada uma das atividades envolvidas no processo produtivo da cerâmica.

TABELA 2 – Variância e desvio padrão do tempo das atividades (em horas)

Atividade	Variância (σ^2)	Desvio Padrão (σ)
A) Descanso	21,778	4,667
B) Umedecimento	16,000	4,000
C) Homogeneização	30,250	5,500
D) Destorroador	0,001	0,033
E) Misturador	0,001	0,033
F) Laminador	0,001	0,033
G) Extrusora e Corte	0,001	0,033
H) Secagem	21,778	4,667
I) Preparo da madeira para queima	0,250	0,500
J) Disposição nos fornos	0,444	0,667
K) Queima	14,694	3,833
L) Resfriamento	0,694	0,833
M) Retirada dos fornos e armazenamento	1,000	1,000

Fonte: Elaboração própria

4.5. Relações entre as atividades

Além do estudo dos tempos das atividades, o método PERT/CPM exige identificar os relacionamentos entre as mesmas, isto é, a sequência lógica na qual as atividades devem acontecer para que o projeto se efetive. Deste modo, a Tabela 3 indica as relações de antecedência e subsequência das atividades.

TABELA 3 – Relações de dependência entre as atividades

Atividade	Relação		Tempo Esperado (horas)
	Antecedente	Subsequente	
A) Descanso	-	C	27,3
B) Umedecimento	-	C	12,0
C) Homogeneização	A e B	D	26,5
D) Destorroador	C	E	0,5
E) Misturador	D	F	0,5
F) Laminador	E	G	0,5
G) Extrusora e Corte	F	H	0,5
H) Secagem	G	J	27,3
I) Preparo da madeira para queima	-	K	5,8
J) Disposição nos fornos	H	K	10,0
K) Queima	I e J	L	25,5
L) Resfriamento	K	M	47,8
M) Retirada dos fornos e armazenamento	L	-	8,3

Fonte: Elaboração própria

Como mostra a Tabela 3, o procedimento de homogeneização depende das atividades de descanso e umedecimento da argila, contudo essas duas atividades não possuem relação entre si, uma vez que cada tipo de argila exige tratamento distinto, ou seja, determinada matéria-prima pode exigir umedecimento enquanto outra deve apenas manter o período de descanso. Após a homogeneização, o material segue para ser processado no maquinário, a partir daí até que os blocos estruturados sejam dispostos nos fornos, as atividades apresentam dependência entre si, assim, a sequência a ser obedecida é: homogeneização; destorroador; misturador; laminador; extrusora e corte; secagem; disposição dos blocos nos fornos.

A atividade referente à preparação da madeira não depende de nenhuma outra para ser realizada, porém para que o processo de queima ocorra, além de colocar os blocos nos fornos, é preciso que o preparo da madeira já esteja concluído. Sendo assim, o processo de queima

exige que duas atividades sejam feitas previamente: disposição dos blocos nos fornos e preparação da madeira para a queima. Depois disso, as atividades seguem novamente uma sequência de interdependência: resfriamento e retirada dos fornos para armazenamento.

4.6. Elaboração da rede PERT/CPM

Com base nas relações de interdependência e no tempo esperado das atividades, foi elaborada a rede PERT/CPM, apresentada na Figura 1. Esse tipo de diagrama permite visualizar claramente os relacionamentos entre as atividades e a duração das mesmas. Nessa figura, os círculos representam os eventos, que são momentos no tempo em que ocorrem o início ou fim de uma atividade, e as setas correspondem à atividade em si, obedecendo a relação de antecedência e subsequência das mesmas.

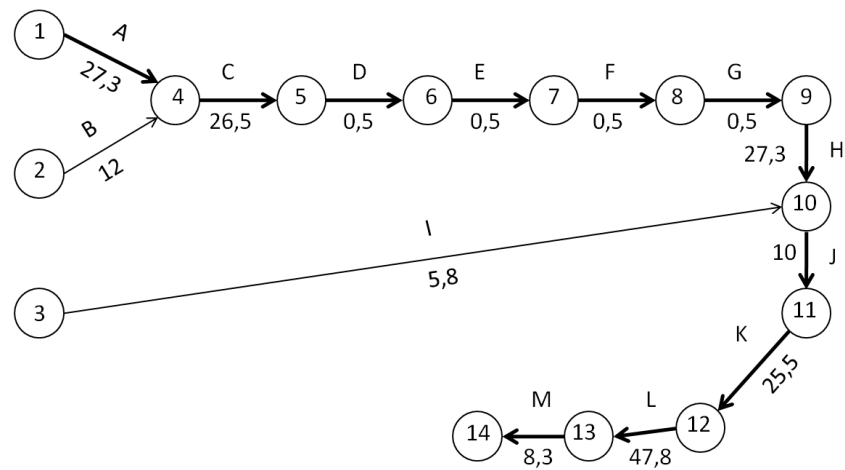


FIGURA 1 – Diagrama de rede PERT/CPM

No diagrama de rede (Figura 1) existe mais de uma sequência de atividades que leva do começo ao fim do projeto. Cada um desses caminhos apresenta uma duração total diferente, que pode ser obtida através da soma dos tempos das atividades que integram determinada sequência. O caminho crítico é o que contém a sequência mais longa de atividades, e está indicado pelas setas de maior espessura. Portanto, o caminho crítico pela rede é o que compreende as atividades A, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, com duração de 174,8 horas.

4.7. Probabilidades de execução nos tempos estabelecidos

Por fim, estabelecidas a sequência de atividades, o tempo das mesmas e a duração total do processo de produção, a última etapa consiste em calcular a probabilidade de realização conforme o planejado. Para isso, utiliza-se a soma das variâncias das atividades indicadas na Tabela 2 que integram o caminho crítico, que resulta em 106,89, e o tempo esperado total do projeto, obtido através da soma das durações das atividades que compõem o caminho crítico, que resulta em 174,8 horas.

O fator de probabilidade Z foi obtido através da seguinte equação:

$$Z = \frac{TC - TE}{\sqrt{\sigma^2}}$$

Sendo:

TC = Tempo estabelecido para a conclusão do processo produtivo

TE = Tempo esperado total para conclusão do processo produtivo

σ^2 = Variância total da duração das atividades que integram o caminho crítico

A Tabela 4 apresenta as probabilidades de realização da produção para diferentes tempos estabelecidos:

TABELA 4 – Probabilidades de realização da produção nos tempos estabelecidos

Tempo Estabelecido (horas)	Z	Probabilidade de Realização	Probabilidade de Não Realização
215	3,88	99,99%	0,01%
210	3,40	99,97%	0,03%
200	2,43	99,25%	0,75%
190	1,47	92,92%	7,08%
180	0,50	69,15%	30,85%
174,83	0,00	50,00%	50,00%
170	-0,47	31,92%	68,08%
160	-1,43	7,64%	92,36%
150	-2,40	0,82%	99,18%
140	-3,37	0,04%	99,96%
135	-3,85	0,01%	99,99%

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Tabela 4, o tempo mais adequado para que a produção ocorra sem atrasos é o de 215 horas, com probabilidade de realização de 99,99%. Esse deveria ser o tempo considerado pela empresa ao estipular os prazos de entrega dos pedidos. O tempo esperado total, com duração de 174,83 horas, que representa o caminho crítico, apresenta probabilidade de realização de 50%. A partir de 150 horas, e à medida que diminui a estimativa de tempo, a probabilidade de realização tende a ser nula, abaixo de 1%.

5. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi utilizar a técnica PERT/CPM, consagrada na gestão de projetos, para o planejamento e controle da produção em uma indústria de cerâmica vermelha. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão da literatura considerando os trabalhos recentes que fizeram uso do PERT/CPM para o planejamento de processos produtivos, além de descrever as etapas na produção dos blocos cerâmicos na empresa estudada, identificando suas respectivas durações e relações de dependência. Também foram calculadas as probabilidades de realização ou não da produção para determinados tempos estabelecidos.

Embora os métodos PERT/CPM tenham sido desenvolvidos para o planejamento de grandes projetos, os resultados aqui apresentados demonstram que essas técnicas podem trazer importantes contribuições também para os processos produtivos que envolvam uma sequência de atividades interdependentes. Contudo, ainda são poucos os estudos nesse sentido, o que compromete a difusão do PERT/CPM para tais finalidades.

No caso da indústria de cerâmica vermelha objeto de estudo deste trabalho, o uso do PERT/CPM permitiu conhecer as interdependências das atividades com os respectivos tempos de duração esperados, colaborando para o planejamento e controle dessas tarefas. O tempo total esperado para a produção na cerâmica foi de 174,8 horas, porém para que a probabilidade de realização seja de 99% são necessárias 215 horas. O caminho crítico, aquele que se não cumprido no tempo estipulado para cada tarefa implicará no atraso da produção, compreende as atividades A, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M.

Vale ressaltar que todas as estimativas de tempo utilizadas para o cálculo dos tempos esperados e posterior aplicação do PERT/CPM foram fornecidas pelo entrevistado, responsável pela área de produção da cerâmica, ou seja, não foram utilizadas medições no processo de produção nem técnicas estatísticas para aferir os tempos das atividades com máxima precisão, constituindo assim, uma limitação deste trabalho. Além disso, é importante observar que, por se tratar de um estudo de caso, os resultados aqui apresentados condizem

apenas à realidade da empresa estudada, vedando a generalização para outras indústrias, inclusive cerâmicas.

Pesquisas correlatas podem aprofundar as atividades realizadas na indústria de cerâmica, abrangendo, por exemplo, questões referentes à extração das argilas nas jazidas ou o transporte até os clientes, de modo a proporcionar um planejamento ainda mais completo do processo produtivo. Também para trabalhos futuros, sugere-se que sejam avaliadas as produções de outros produtos ou quantidades, uma vez que este trabalho considerou apenas a fabricação de 20.000 tijolos de dimensões de 10x20x25 (cm).

Referências

ANICER. Como identificar e corrigir problemas na fábrica. **Revista da ANICER**, Seção Melhorias, ano 10, ed. 47, jun./jul. 2007.

BAHIA, P. Q.; SOUZA, M. G. Planejamento e controle da produção: a utilização das técnicas PERT e CPM na linha de produção da empresa Grão Pará Ltda. In: XLV CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: SOBER, 2007.

BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto: imagem e som: um manual prático**. Tradução de GUARESCHI, P. A. Petrópolis, 2002.

BURBIDGE, J. L. **Planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 1981.

CUKIERMAN, Z. S. **O modelo PERT/CPM aplicado a projetos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

DE CESARE, E.; COSTA, R. N. C. **Planejamento com PERT/CPM: Um estudo de Caso na Audácia Indústria de Confecções LTDA**. [S.I.]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HARDING, H. A. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1981.

HIRSCHFELD, H. **Planejamento com PERT/CPM e análise do desempenho: método manual e por computadores eletrônicos aplicados a todos os fins**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1978.

MEDEIROS, E. N. M. **Sistema de gestão da qualidade na indústria cerâmica vermelha: estudo de caso de uma indústria que abastece o mercado de Brasília**. 2006. 119 f. Dissertação de Mestrado (Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

PAULETTI, M. C. **Modelo para introdução de nova tecnologia em agrupamentos de micro e pequenas empresas: estudo de caso das indústrias de cerâmica vermelha no Vale do Rio Tijucas**. 2001. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PEDROSO, M. C.; CORRÊA, H. L. Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica?, **Revista de Administração de Empresas - RAE**, v. 36, n. 4, p. 60-73, out./dez. 1996.

PELICIA, D. L. D.; TARRENTTO, G. E. Utilização da técnica CPM no processo de fabricação de portas pantográficas de uma empresa automotora. **Revista Tekhne e Logos**, v. 6 n. 1, p. 123-138, jun. 2015.

QUEZADO, P. C.; CARDOSO, C. R.; TUBINO, D. F. Programação e controle da produção sob encomenda utilizando PERT/CPM e Heurísticas. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ENEGEP, 1999.

ROCHA, A. F.; PALMA, M. A. M. Gestão da inovação e capacidade competitiva: uma análise não paramétrica no setor cerâmico de Campos dos Goytacazes, RJ. **Cerâmica**, v. 58, n. 346, p. 244-252, 2012.

SANTOS, R. L. S.; MENEZES, V. L.; BARRETO, E. G. L.; SILVA, R. M. O uso do PERT/CPM em uma empresa de *fast food*. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2010, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ENEGEP, 2010.

SEBRAE. **Setores estratégicos 2005-2007 – perfil do setor de cerâmica**. Belo Horizonte, 2005.

SILVA, A. V. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do Ceará – da extração da matéria-prima à fabricação**. 2009. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis, 2005.

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