

PROJETO DE INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Júlio Samuel Sávio Bernardo (UFSCar)
juliobernardo@gmail.com



As empresas, seja por exigência dos governos ou consumidores, necessitam considerar questões de sustentabilidade ambiental em suas principais atividades, como: produção limpa, marketing verde, logística reversa e ecodesign. Entretanto, além dessas atividades, também é necessário que, no projeto das instalações industriais, sejam consideradas as questões ambientais. É nesse ponto que surge o problema analisado neste artigo: as metodologias clássicas, normalmente usadas como referência para o projeto de instalações industriais, consideram a busca da sustentabilidade ambiental? O objetivo deste artigo foi verificar, nas obras históricas de referência sobre o tema, se as metodologias apresentadas consideram a preservação do meio ambiente. O método adotado foi a pesquisa descritiva bibliográfica. Conclui-se que as metodologias clássicas não consideram, de maneira aprofundada e organizada, as relações entre a fábrica e o meio ambiente. É considerada com maior detalhe a influência do ambiente sobre as unidades fabris. Muito pouco é abordado sobre o efeito contrário. É feita uma proposta para a inclusão de considerações ambientais no projeto de instalações industriais, tomando-se como referência a sistematização para o projeto de layout sugerida por Muther (1978). É recomendado o desenvolvimento futuro de modelos de referência para o projeto de instalações industriais que considerem a preservação ambiental. Esses modelos podem ser específicos a cada tipo de fábrica, produto e região de implantação.

Palavras-chaves: Projeto de instalações industriais, layout, sustentabilidade ambiental

1. Introdução

As empresas são cada vez mais responsabilizadas pela busca da sustentabilidade ambiental (da capacidade de preservar o meio ambiente), seja pelos governos, pesquisadores, ambientalistas ou consumidores. Devido a essa exigência, elas começaram a considerar a necessidade de preservação ambiental em suas principais atividades.

Nas atividades de produção, por exemplo, Jiménez e Lorente (2001) recomendam que a performance ambiental seja considerada como um novo objetivo de desempenho. Ou seja, os objetivos passariam dos quatro tradicionais para cinco: custo, qualidade, tempo, serviço e desempenho ambiental. Sarkis (1995) explica que uma produção ambientalmente favorável considera o desenvolvimento de tecnologias e processos de fabricação que utilizem menos matérias-primas, que reduzam ou eliminem a geração de resíduos e que possibilitem a produção de produtos recicláveis, reutilizáveis ou remanufaturáveis.

Nas atividades de marketing, a consideração ambiental também é uma tendência nas empresas preocupadas com o meio ambiente. Segundo Ottman (1994), o marketing verde tem dois objetivos principais: (1) desenvolvimento de produtos que atendam as necessidades dos consumidores com preço acessível e praticidade, oferecendo baixo impacto ambiental; (2) criar uma boa imagem da empresa, divulgando a qualidade de seus produtos e sua preocupação com o respeito ao meio ambiente. Prakash (2002) explica que o marketing verde utiliza estratégias de promoção de produtos através de alegações ambientais sobre suas características próprias ou sobre os sistemas, políticas e processos de suas empresas produtoras ou vendedoras.

As atividades de logística também podem contribuir para a preservação ambiental. González-Torre, Adenso-Díaz e Artiba (2004) entendem que as empresas devem se preocupar com a diminuição dos impactos ambientais gerados nas atividades da logística direta (do produtor para o consumidor) e da logística reversa. Eles explicam que a logística reversa cuida do retorno de produtos e embalagens (as retornáveis, por exemplo) e das ações de reparo, reutilização, refabricação e reciclagem dos produtos ou de suas partes. Wu e Dunn (1995) argumentam que, no novo mercado de produtos ambientalmente sustentáveis, os sistemas logísticos responsáveis pela entrega desses produtos aos consumidores devem, também, ser organizados em busca da sustentabilidade ambiental, porque assim é mantida uma boa imagem da empresa.

Outra atividade da empresa que pode auxiliar na preservação ambiental é a de desenvolvimento de produtos. Com o propósito de diminuir os impactos ambientais gerados em todo o ciclo de vida de seus produtos, muitas empresas, principalmente nos países mais desenvolvidos, já se preocupam com o desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentáveis, através da adoção do ecodesign (ou Projeto para o Meio Ambiente – PMA). De acordo com Brezet e Hemel (1997), o ecodesign é a consideração de critérios e estratégias ambientais no processo de desenvolvimento do produto.

Além das atividades empresariais mencionadas, também é necessário que, no projeto das instalações industriais, sejam consideradas as questões ambientais, para que se alcance a diminuição do consumo de recursos naturais e a redução da poluição do ar, do solo, da água e sonora, nas unidades fabris projetadas. Para tanto, é necessário utilizar uma metodologia de projeto que considere a preservação ambiental.

É nesse ponto que surge o problema a ser analisado neste artigo: as metodologias clássicas,

normalmente usadas como referência para o projeto de instalações industriais, consideram a busca da sustentabilidade ambiental?

A hipótese é que essas metodologias não consideram, de maneira aprofundada, as relações entre a fábrica e o meio ambiente. Elas consideram com maior detalhe a influência do ambiente sobre as unidades fabris. Muito pouco é abordado sobre o efeito contrário, ou seja, as consequências negativas da implantação da fábrica sobre o meio ambiente e as possíveis formas de evitá-las ou amenizá-las durante o desenvolvimento do projeto.

O objetivo deste artigo é verificar, nas obras históricas de referência sobre projeto de instalações industriais (Apple, 1977; Moore, 1962; Muther, 1978; Tompkins e White, 1984; Valle, 1975), se as metodologias apresentadas consideram a preservação ambiental. São avaliadas, principalmente, questões referentes à localização da planta, layout da fábrica e características do edifício industrial.

O método adotado neste estudo é a pesquisa descritiva. Segundo Barros e Lehfeld (2007), nesse tipo de pesquisa não há influência do pesquisador. Sua função é conhecer a frequência de acontecimento e as características de um determinado fenômeno. Eles explicam que a pesquisa descritiva pode ser de dois tipos: pesquisa bibliográfica ou pesquisa de campo. Neste estudo é realizada a pesquisa bibliográfica. Segundo os autores, a pesquisa bibliográfica é realizada quando se pretende obter conhecimentos através de informações presentes em materiais gráficos, sonoros ou informatizados. É importante para rever e reanalisar a teoria existente em uma área específica do conhecimento. Ou seja, é um método adequado para alcançar o objetivo deste artigo de verificação e descrição das considerações ambientais nas obras clássicas de projeto de instalações industriais.

2. Metodologias clássicas de projeto de instalações industriais e a consideração das relações entre fábrica e meio ambiente

A seguir são apresentados os resultados da revisão teórica realizada para verificar a consideração das relações entre fábrica e meio ambiente nas metodologias clássicas de projeto de instalações industriais. São estudados os seguintes autores clássicos: Moore (1962), Muther (1978), Apple (1977), Tompkins e White (1984) e Valle (1975).

2.1 Moore (1962)

Moore (1962) diferencia o projeto da fábrica (plant design) do layout da fábrica (plant layout). O projeto da fábrica é definido como o projeto total de uma empresa. Envolve questões como: aquisição de capital, projeto do produto, tamanho da planta, localização da fábrica, layout da fábrica, seleção do tipo de construção (edifícios), dentre outras. Já o layout da fábrica é apenas uma parte do projeto da fábrica e tem uma função mais limitada, a de planejar o arranjo físico adequado da unidade fabril. A seguir são apresentadas as seguintes questões: localização da planta, características do edifício e layout da fábrica.

É citado que, para a localização de uma fábrica, dois tipos de problemas devem ser analisados: (1) a seleção da região e (2) a escolha da comunidade e do terreno. Analisando as recomendações do autor, nota-se que havia uma tendência, naquela época, de localizar em áreas rurais as fábricas com processos perigosos e poluentes. Trata-se de uma atitude inadequada, pois a simples implantação das unidades fabris em pontos distantes dos grandes centros populacionais não diminui a poluição gerada, apenas a distribui. Além disso, nas áreas rurais é comum encontrar-se, ainda, um certo grau de preservação do meio ambiente, o que pode ser prejudicado pela instalação da fábrica.

A questão ambiental é mencionada poucas vezes pelo autor. Quando discute o problema de leis e impostos chega a citar que algumas empresas, para não serem penalizadas em determinadas regiões, devem estudar os regulamentos para a disposição adequada dos resíduos gerados, a diminuição da geração de fumaça e a redução de transtornos para a comunidade. Percebe-se que a preocupação é maior em evitar multas do que com a preservação do meio ambiente.

São apresentadas, também, algumas considerações sobre o edifício industrial. São analisados: vão, piso, paredes e janelas, telhado e teto, número de andares, pré-fabricação e condições controladas de processo. Algumas das características do piso recomendadas pelo autor possuem influência direta na relação da fábrica com o ambiente. Resistência à vibração e absorção de som, por exemplo, são requisitos indispensáveis para que a comunidade vizinha à planta seja incomodada o menos possível.

A relação da fábrica com o meio ambiente também é discutida quando ressalta a desconsideração, por parte de algumas empresas, da proteção das suas unidades fabris contra desastres provocados por incêndios, enchentes, tornados e furações. Nesse ponto é importante destacar que, novamente, o autor menciona mais a preocupação de proteger a fábrica dos prejuízos provocados pelas catástrofes naturais do que a necessidade de proteger também o meio ambiente dos danos causados pelas fábricas.

Sobre o layout da fábrica, Moore (1962) explica que trata-se do planejamento de um arranjo ótimo das instalações industriais, considerando trabalhadores, máquinas, espaços para armazenamento, equipamentos de movimentação de materiais, serviços de apoio e edifício. Para a realização do projeto de layout, são recomendadas as etapas demonstradas na Tabela 1.

Etapas	Descrição	Etapas	Descrição
1	Determinação do volume de produção	8	Construção da planta de localização (<i>plot plan</i>)
2	Detalhamento de produtos, materiais e processos de produção	9	Construção da planta de blocos (<i>block plan</i>)
3	Cálculo da necessidade de máquinas e equipamentos	10	Construção do layout detalhado (<i>detailed layout</i>)
4	Medição do trabalho (estudo de tempos)	11	Checagem e consulta do layout
5	Estudo do fluxograma do processo do produto	12	Instalação
6	Determinação das necessidades de espaços	13	Avaliação
7	Conhecimento das características do edifício		

Fonte: Moore (1962)

Tabela 1 – Etapas do projeto de layout

É apresentada uma discussão sobre os problemas mais comuns dos projetos de layout. São abordados os seguintes assuntos: funcionários, materiais, movimentação de materiais, armazenamento, equipamentos, serviços, escritórios, balanceamento de linha e flexibilidade. Ao tratar desses assuntos, é mencionado o relacionamento entre fábrica e meio ambiente em algumas situações. Sobre barulho, diz que, primeiramente, o ruído deve ser controlado na fonte. Se não for possível, deve-se recorrer a isolamentos ou materiais absorvedores de som.

Quanto à movimentação interna de materiais, o autor não a relaciona diretamente com a questão ambiental. Entretanto, a recomendação dada por ele, de aproveitar-se da gravidade, através do uso de rampas ou superfícies inclinadas, é uma alternativa existente para economizar energia e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental. Sobre água e esgoto, menciona que a água é um recurso cada vez mais caro e que é necessário o tratamento das

águas residuais do processo produtivo, para evitar a aplicação de multas sobre a empresa.

2.2 Muther (1978)

Muther (1978) apresenta três denominações para o estudo do relacionamento entre homens, máquinas e materiais no espaço. São elas: arranjo físico, planejamento das instalações ou layout. Na sua concepção, todo projeto de instalações tem como dados de entrada: produto (o que produzir?), quantidade (quanto de cada item será fabricado?), roteiro (como serão produzidos os itens?), serviços de apoio (em que serviços se apoiará a produção?) e tempo (quando serão produzidos os itens?).

O autor apresenta uma sistematização para o projeto de layout denominada sistema SLP (Systematic Layout Planning), que é composta de: (1) uma estruturação de fases; (2) um modelo de procedimentos; (3) um conjunto de convenções (não abordado neste artigo).

São destacadas quatro fases para o planejamento do layout, apresentadas na Tabela 2.

Fases	Descrição
1	<u>Localização</u> : local onde será realizado o projeto de layout.
2	<u>Arranjo Físico Geral</u> : também conhecido como arranjo de blocos. É determinado, de forma não detalhada, o posicionamento relativo entre as áreas da fábrica.
3	<u>Arranjo Físico Detalhado</u> : nesta fase são estabelecidas as posições específicas de cada máquina, equipamento, suprimentos e serviços de apoio.
4	<u>Implantação</u> : é a fase de instalação, de acordo com o planejado, de todas as máquinas, equipamentos e serviços de suporte.

Fonte: Muther (1978)

Tabela 2 – Fases do planejamento do layout

O autor explica que o modelo de procedimentos é utilizado na fase II (arranjo físico geral) e na fase III (arranjo físico detalhado). É composto dos dados de entrada mais 9 etapas, apresentadas na Tabela 3.

Etapas	Descrição
1	<u>Definição do fluxo de materiais</u> : definição do melhor caminho para os materiais, considerando a seqüência das etapas de produção e a intensidade de cada movimentação. Devem ser evitados desvios, retornos, cruzamentos, etc.
2	<u>Determinação das inter-relações de atividades</u> : determinar o relacionamento (proximidade) mais adequado entre as atividades de apoio e, posteriormente, integrá-las ao fluxo de materiais.
3	<u>Construção do diagrama de inter-relações</u> : reunião das informações de fluxo de materiais e de relacionamento entre as atividades para construção de um primeiro esboço de localização, não considerando, ainda, os problemas de espaço.
4	<u>Determinação do espaço necessário</u> : determinação do espaço necessário para cada máquina, equipamentos, serviços de apoio e movimentação de materiais e trabalhadores.
5	<u>Conhecimento do espaço disponível</u> : conhecimento da área total disponível e das restrições existentes, como: divisões, paredes, colunas, edifícios, andares, salas, etc.
6	<u>Construção do diagrama de inter-relações de espaços</u> : construção de um primeiro arranjo físico, ainda não definitivo, levando em conta o diagrama de inter-relações e o balanceamento de espaço.
7	<u>Análise das considerações de mudanças</u> : ajuste do diagrama de inter-relações de espaços, devido à análise das considerações de mudanças (métodos de manuseio, recursos de armazenagem, condições do terreno, necessidades de pessoal, serviços de apoio, características das construções, etc.).
8	<u>Análise das limitações práticas existentes</u> : comparação de cada consideração de mudança com as limitações práticas existentes, como: custo, segurança, edifícios já existentes, energia disponível, etc.
9	<u>Avaliação</u> : após a análise das considerações de mudança e das limitações práticas, são geradas de 2 a 5 alternativas de arranjo. O objetivo desta fase é avaliar qual das alternativas será a selecionada.

Fonte: Muther (1978)

Tabela 3 – Etapas do sistema de procedimentos SLP

São feitos alguns comentários referentes à relação fábrica e meio ambiente. Chega a mencionar que a proximidade de fontes poluidoras deve ser analisada quando são estudados os posicionamentos das várias atividades da unidade fabril. Algumas inter-relações entre as atividades podem ser padronizadas. Referentes às questões ambientais, é citado, por exemplo, a necessidade de localização de incineradores em uma posição distante dos escritórios, para impedir que estes sejam atingidos por fumaça, odores ou sujeira. Vale ressaltar que são consideradas apenas inter-relações entre atividades do ambiente interno da fábrica. Os relacionamentos com o ambiente externo e as possíveis conseqüências negativas sobre o mesmo não são mencionados.

Dentre as considerações de mudança não são incluídas, com maior detalhe, as restrições ambientais. Somente quando trata das condições do terreno e arredores, algumas questões ambientais são citadas, como: estudo da direção dos ventos e da incidência do sol; geração de ruídos, vibrações, poeira, detritos e fumaça, que podem afetar a comunidade vizinha.

Nas limitações práticas, cita a preocupação com a disposição final do lixo, que é um problema ambiental, ou seja, o autor demonstra, mesmo indiretamente, que as questões ambientais podem restringir o planejamento das instalações, podendo ser consideradas, também, como limitações.

É apresentado um guia de características do edifício industrial. Algumas delas tratam da relação fábrica e meio ambiente, porém, estão mais preocupadas com a influência dos efeitos do meio ambiente sobre a fábrica do que o contrário. É sugerido, por exemplo, não utilizar janelas quando o processo de produção for afetado por ruído externo, poeira, sujeira, contaminação, variação de temperatura, umidade e luz.

Em relação à localização da fábrica (fase I do sistema SLP), o autor recomenda as seguintes etapas: (1) Estabelecimento das especificações, objetivos e restrições; (2) Análise e seleção da região e comunidade; (3) Análise e seleção do terreno; (4) Compra ou aluguel do terreno. Dentre os elementos e especificações de localização, são considerados alguns que se preocupam mais diretamente com a relação com o meio ambiente, como: estudo dos ventos, histórico de inundações, clima, costumes e vizinhança.

2.3 Apple (1977)

Apple (1977) define como layout da fábrica (plant layout) o projeto do arranjo dos elementos físicos de uma atividade. Porém, como essa metodologia pode ser aplicada em qualquer tipo de atividade ou instalação física (loja, restaurante, dentre outras), e não somente na área industrial, o autor utiliza um termo mais geral: projeto de instalações (facilities design). O projeto de instalações é, segundo ele, o arranjo das instalações físicas (equipamentos, terreno, edifícios, utilidades) de uma atividade, que tem como objetivo organizar os relacionamentos entre funcionários, métodos de trabalho e fluxo de materiais e de informações. Em sua obra são discutidos os problemas do projeto de instalações industriais. É recomendado que o processo do projeto de instalações siga as etapas apresentadas na Tabela 4.

Etapas	Descrição	Etapas	Descrição
1	Obter os dados básicos	11	Determinar as necessidades de armazenagem
2	Analisar os dados básicos	12	Planejar as atividades auxiliares e de serviços
3	Projetar o processo produtivo	13	Determinar as necessidades de espaço
4	Planejar o modelo de fluxo de materiais	14	Alocar as atividades no espaço total
5	Considerar o método geral de movimentação	15	Considerar os tipos de construção

	de materiais		
6	Calcular as necessidades de equipamentos	16	Construir o layout mestre (<i>master layout</i>)
7	Planejar as estações individuais de trabalho	17	Avaliar, ajustar e checar o layout com o auxílio das pessoas apropriadas
8	Selecionar os equipamentos específicos de movimentação de materiais	18	Obter aprovação
9	Coordenar os grupos de operações relacionadas	19	Instalar o layout
10	Projetar os inter-relacionamentos de atividades	20	Acompanhar a implantação do layout

Fonte: Apple (1977)

Tabela 4 – Etapas do processo de projeto de instalações

Em relação à questão ambiental, o autor cita, dentre os diversos fatores que devem ser considerados no projeto de instalações, a relação com a comunidade, ecologia, poluição, tratamento do lixo e resíduos. Entretanto, apesar de mencionados, tais assuntos não são abordados com maior detalhe.

Quando apresenta os fatores a serem considerados no projeto do processo de produção, cita, sem maiores explicações, que deve haver a preocupação com as conseqüências ecológicas do processo produtivo. Menciona, também, dentro do método de projeto do processo de produção, a necessidade de cuidar de problemas como a poluição, disposição de resíduos, venda de refugos e recuperação de materiais.

Ao discutir o projeto do fluxo de materiais, ressalta que devem ser estudados os fluxos de resíduos e refugos. Para alguns tipos de processos é citado que é necessário o amortecimento de som e de vibrações, através da localização adequada ou isolamento dos equipamentos. Ao apresentar equipamentos de movimentação de materiais, destaca que, quando se deseja reduzir a geração de ruído e a emissão de fumaça, pode ser utilizada empilhadeira elétrica.

É apresentada uma lista de fatores que deve ser considerada quando é estudada a localização de uma instalação. Nessa lista há fatores referentes à relação da fábrica com o ambiente, como: clima (temperaturas, direção dos ventos, mudanças de tempo, umidade, altitude, efeitos climáticos e riscos ambientais); topografia e condições do solo; orientação do terreno em relação à comunidade (direção do vento, proximidade de áreas residenciais).

2.4 Tompkins e White (1984)

Tompkins e White (1984) mencionam que o planejamento das instalações (*facilities planning*) é formado pela localização das instalações (*facilities location*) e pelo projeto das instalações (*facilities design*). Este é composto pelo projeto estrutural do edifício e dos serviços de apoio (*structural design*), projeto do layout (*layout design*) e projeto do sistema de movimentação de materiais (*handling system design*).

É citado que o projeto das instalações pode ser necessário para aumentar a produtividade, diminuir custos, garantir a segurança dos funcionários, conservação de energia, atendimento da comunidade, proteção contra incêndio e segurança contra roubos. Nota-se que os autores reconhecem que o atendimento às questões ambientais (como a conservação de energia e o atendimento da comunidade) pode levar à necessidade do projeto ou re-projeto das instalações de uma empresa. São citados os seguintes exemplos: modificação das instalações para aproveitar a energia liberada nos equipamentos de produção para aquecer água e áreas de escritório; e, modificações nas instalações devido à introdução de novos equipamentos necessários para atender regulamentos da comunidade referentes à redução do barulho e da

poluição do ar e à disposição adequada de resíduos sólidos e líquidos. Para o processo de planejamento das instalações, são recomendadas as etapas apresentadas na Tabela 5.

Etapas	Descrição
1	Definir (ou re-definir) o objetivo da instalação (definição dos produtos e volumes de produção)
2	Especificar as atividades primárias e de suporte
3	Determinar o inter-relacionamento entre as atividades
4	Determinar as necessidades de espaço para todas as atividades
5	Gerar planos alternativos de instalações
6	Avaliar os planos alternativos de instalações
7	Selecionar um plano de instalação
8	Implementar o plano de instalação
9	Manter e adaptar o plano de instalação
10	Redefinir o objetivo da instalação (reiniciar o processo)

Fonte: Tompkins e White (1984)

Tabela 5 – Etapas do processo de planejamento das instalações

É citado que, dentre os relacionamentos entre atividades, devem ser estudados, também, os relacionamentos ambientais, analisando-se as condições de segurança, temperatura, ruído, fumaças, umidade e poeira.

2.5 Valle (1975)

Valle (1975) entende que o processo de implantação de indústrias é composto das etapas apresentadas na Tabela 6.

Etapas	Descrição
1	Estudos de viabilidade técnica, econômica e financeira do empreendimento
2	Estudos de localização da indústria, para a seleção da região e do terreno de implantação
3	Preparação do projeto básico e dos projetos construtivos das instalações industriais
4	Compra dos equipamentos e materiais necessários para executar os projetos elaborados
5	Realização das obras de construção e montagem das instalações
6	Aplicação dos testes pré-operacionais e a pré-operação da unidade
7	Início do regime normal de operação da indústria

Fonte: Valle (1975)

Tabela 6 – Etapas do processo de implantação de indústrias

Para o autor, a localização da indústria é definida em duas etapas: a macrolocalização e a microlocalização. Determinar a macrolocalização é definir a região de implantação da unidade industrial. É feito um alerta para o surgimento de um novo custo em relação à água, além dos custos de captação, transporte, armazenamento e tratamento. Refere-se ao custo de tratamento da água a ser devolvida ao meio ambiente, de acordo com os padrões mínimos legais de pureza e descontaminação. Lembra que, em certas regiões onde a industrialização é acelerada, os critérios legais para a descontaminação da água podem, em curto espaço de tempo, tornar-se mais severos e levar a custos não esperados pelas empresas.

É destacado que a eliminação de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos tende a ser mais controlada regionalmente e nacionalmente, devido à conscientização da população e dos governos para as conseqüências negativas que os resíduos industriais podem acarretar ao meio ambiente. Para o autor, os custos de tratamento desses resíduos devem ser considerados desde o início dos estudos de localização da fábrica.

É apresentada uma seção na qual é discutida a relação entre a localização e o meio ambiente.

É ressaltado que, naquela época, a preocupação com a preservação ambiental ainda estava em segundo plano, porém, em um futuro próximo, se tornaria um dos principais fatores a serem avaliados para a seleção do local de instalação de uma fábrica.

É mencionado, ainda, que a elaboração de uma nova legislação para o controle ou punição das indústrias agressoras ao meio ambiente traria as seguintes conseqüências para o processo de implantação de novas indústrias:

- modificações no dimensionamento das indústrias e de seus aglomerados, através da descentralização industrial e a concepção de uma maior quantidade de indústrias médias distribuídas geograficamente, ao invés da criação de grandes complexos industriais localizados em uma mesma região;
- alterações nos processos de fabricação, sendo rejeitados aqueles que gerem grande quantidade de poluentes ou que utilizem substâncias prejudiciais à saúde ou ao meio ambiente;
- restrições para a localização de indústrias consideradas mais agressivas ao meio ambiente, visando localizá-las em áreas que apresentem, preferencialmente, as seguintes características: baixa concentração populacional, boa ventilação, distantes dos mananciais de água e fora de vales cujo relevo favoreça o surgimento de correntes de ar descendentes e o fenômeno de inversão de temperatura.

É importante destacar, porém, que a idéia da descentralização industrial citada pelo autor não é solução para o problema. Apenas distribuir as indústrias em uma área geográfica maior não diminui a poluição gerada. A poluição total produzida, apesar de não estar mais concentrada em uma única região, será a mesma e continuará proporcionando conseqüências negativas ao meio ambiente como, por exemplo, o aquecimento global.

A segunda etapa da definição da localização da indústria, segundo o autor, é a determinação da microlocalização, ou seja, a escolha do terreno onde a fábrica será instalada. Nessa etapa, em relação às questões ambientais, são mencionadas as seguintes preocupações: avaliação dos limites estipulados para ruído, emissão de fumaça, vapores e odores; necessidade legal de preservação de áreas verdes; e, análise de riscos de inundação ou de deslizamento de terra.

O autor apresenta um método geral para o estudo do arranjo físico, que é composto das etapas apresentadas na Tabela 7.

Etapas	Descrição
1	Análise do problema: levantamento das informações existentes sobre terreno, produto, equipamentos e a organização. Deve-se relacionar essas informações com as restrições existentes e com os objetivos a serem atingidos pelo arranjo físico
2	Estudo das alternativas capazes de solucionar o problema
3	Seleção da alternativa mais adequada

Fonte: Valle (1975)

Tabela 7 – Etapas do método de estudo do arranjo físico

É recomendado que, para cada unidade de uma indústria (unidades de produção, instalações auxiliares, unidades administrativas, sociais e áreas externas) devem ser estudados três fatores: localização, dimensões e características da construção. O relacionamento posicional entre as várias unidades típicas da indústria é apresentado, segundo o autor, na Planta de Locação Geral. São citados alguns relacionamentos baseados em restrições ambientais. São eles:

- casa de caldeiras deve ser posicionada considerando-se a direção dos ventos dominantes, para evitar que gases de combustão atinjam comunidades vizinhas ou a própria fábrica;
- a posição e altura das chaminés devem ser estudadas com o objetivo de afastá-las o máximo possível de outras áreas;
- aproximação da estação de tratamento de esgoto (ETE) da estação de tratamento de água (ETA), para aproveitar os resíduos do tratamento de água (que normalmente são lançados nos cursos de água) na coagulação ou neutralização dos resíduos da ETE;
- afastamento das oficinas de manutenção de áreas residenciais adjacentes à fábrica, pois o trabalho nessas oficinas normalmente é realizado em período noturno ou no final de semana, o que pode incomodar os moradores vizinhos;
- distanciamento da subestação de depósitos de produtos inflamáveis, das principais vias de tráfego interno e externo e de áreas sujeitas à inundação;
- o refeitório também pode prejudicar áreas vizinhas internas ou externas à fábrica, devido à geração de odores e fumaça. Então, sua localização deve ser estudada.

São citadas, também, algumas características da construção que se relacionam com fatores ambientais. São elas:

- construção de um dique de terra ou de muros de concreto (ou de alvenaria) para delimitar a área onde estão localizados tanques de produtos inflamáveis acima do nível do solo. Assim, se houver vazamento nos tanques, o produto ficará contido naquela área, não afetando o meio ambiente. É uma exigência do Conselho Nacional do Petróleo;
- instalação de pára-raios para proteger os depósitos de produtos inflamáveis das descargas elétricas naturais.

É importante ressaltar que, dentre as considerações sobre relacionamento posicional e características das construções citadas pelo autor, a maioria refere-se à proteção da fábrica em relação aos problemas ambientais (vento, inundações, dentre outros). A preocupação de proteção do meio ambiente e da comunidade vizinha dos danos causados pela unidade fabril é mencionada poucas vezes (posicionamento de caldeiras e chaminés; aproximação da ETE da ETA; localização das oficinas de manutenção, subestação e refeitório; construção de dique para a contenção do vazamento de produtos inflamáveis).

Em capítulos que tratam dos sistemas de instalações industriais (sistemas de movimentação e de armazenagem de materiais, de tubulações, elétricos, de ventilação e condicionamento de ar, dentre outros) o autor menciona a necessidade de tratamento dos resíduos industriais sólidos, líquidos ou gasosos. São, ainda, feitas outras considerações ambientais, que estão apresentadas no Quadro 1.

Sistemas	Considerações ambientais
Movimentação e armazenagem de materiais	Estudar a possibilidade de utilização da força da gravidade para movimentações verticais, o que proporciona economia de energia. A poluição ambiental é menor quando são utilizadas empilhadeiras elétricas ou movidas a gás.
Tubulações	Águas oleosas ou com presença de resíduos tóxicos, corrosivos ou inflamáveis não devem ser coletadas pelas mesmas tubulações de águas pluviais não contaminadas.
Elétricos	A geração própria de energia através da queima de subprodutos combustíveis (bagaço da cana, por exemplo) pode ser utilizada, desde que não cause prejuízos ambientais.
Ventilação e condicionamento de ar	A utilização de ventilação natural pode ser mais econômica do que o uso de ventilação forçada. A ventilação por exaustão de ar deve ser utilizada juntamente com filtros e separadores. Dessa forma, é evitada a poluição do ar exterior por impurezas presentes no ar interno.

Fonte: Valle (1975)

Quadro 1 – Considerações ambientais em cada sistema de instalações industriais

É recomendada a utilização de iluminação natural, como uma forma de economizar energia elétrica. Quanto ao ruído produzido por uma unidade fabril, é sugerido que cuidados sejam tomados para que não sejam afetadas: a comunidade vizinha (principalmente à noite) e outras fábricas adjacentes dependentes do silêncio.

O autor apresenta, no final de sua obra, um questionário básico para implantação de indústrias. Dentre as diversas questões elaboradas, algumas se referem à relação fábrica e meio ambiente. São exemplos dos temas abordados: condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar, regime anual de chuvas, direção dos ventos, ocorrência de tufões ou furacões, poluição do ar); condições do terreno (risco de sismos, desmoronamentos ou inundações, necessidade de desmatamento); disponibilidade de água (legislação existente sobre aproveitamento da água, possibilidades de represamento, utilização de águas de chuvas); combate à poluição (existência de legislação para a emissão de efluentes industriais, necessidade de tratamento do efluente, existência de serviço público de coleta de lixo); sistemas de fluidos (sistemas de recirculação da água interna); edificações (segurança contra incêndio, tratamento acústico); despejos industriais (tipos de despejos líquidos, poluição térmica de cursos de água, local de lançamento dos efluentes líquidos, tipos de despejos gasosos, local e altura de lançamento dos despejos gasosos, tipos de despejos sólidos, formas adequadas de eliminação e de transporte de resíduos sólidos); dentre outros.

3. Conclusão e recomendações

Após a revisão teórica das obras dos autores clássicos, conclui-se que foi comprovada a hipótese inicial do estudo. Ou seja, as metodologias clássicas de projeto de instalações industriais não consideram, de maneira aprofundada e organizada, as relações entre a fábrica e o meio ambiente. É considerada com maior detalhe a influência do ambiente sobre as unidades fabris. Muito pouco é abordado sobre o efeito contrário. Somente Valle (1975) aborda o tema com maior ênfase.

Devido às pressões sociais e econômicas sobre as empresas para considerar a preservação ambiental no projeto de suas novas fábricas ou nos rearranjos de suas unidades existentes, é apresentada a seguir (no Quadro 2) uma proposta para a inserção, nas etapas de projeto, de considerações ambientais, tomando-se como referência a sistematização para o projeto de layout sugerida por Muther (1978). São considerados apenas os impactos da fábrica sobre o meio ambiente, pois são os menos abordados pelos autores clássicos, como demonstrado anteriormente.

Fases	Modelo de procedimentos	Considerações ambientais
Localização	-----	<u>Em relação à região</u> – atendimento à legislação ambiental existente na região sobre: desmatamento, uso da água, poluição do ar, do solo, da água e sonora. Análise dos meios de transporte disponíveis na região, pois cada um possui diferentes tipos de impactos (consumo de combustível e geração de poluentes). <u>Em relação ao terreno</u> – estudo da direção predominante dos ventos, para evitar transtornos à comunidade. Evitar áreas de floresta nativa ou áreas residenciais. Estudar a possibilidade de ocorrência de sítios arqueológicos. Verificar se existem sistemas eficientes de tratamento de lixo (coleta, aterros sanitários) e de esgoto.

Arranjo Físico Geral e Arranjo Físico Detalhado	Dados de entrada (produto, quantidade, roteiro, serviços de apoio e tempo)	Seleção de materiais mais limpos, recicláveis, reciclados, renováveis ou biodegradáveis. Seleção de tecnologias de produção e/ou de práticas operacionais que utilizam menos matérias-primas e/ou que geram menos poluição. Uso de ciclos fechados de produção (para recircular e economizar água e outros materiais). Uso de sistemas de controle e de proteção ambiental associados aos equipamentos. Seleção de tecnologias para o tratamento da poluição gerada (emissões, efluentes, resíduos sólidos). Seleção de máquinas e equipamentos geradores de menos ruído e vibrações. Seleção de fontes energéticas mais limpas e/ou renováveis. Seleção de equipamentos de armazenamento (manipulação e movimentação de produtos) que utilizam menos energia e/ou que geram menos poluição (Ex: empilhadeira movida a gás é menos poluente). Necessidade de adaptar ou reformar máquinas e equipamentos para atender exigências ambientais. Necessidade de mudanças nas rotinas de manutenção de equipamentos para estar conforme com as exigências ambientais.
	Definição do fluxo de materiais	O próprio objetivo do estudo do fluxo de materiais, que é a redução de desvios, cruzamentos e reprocessamentos, já diminui a ocorrência de impactos ambientais, pois há economia de materiais, energia e água e menor quantidade de emissões. Definição de um fluxo adequado para os resíduos (perigosos, reaproveitáveis e/ou recicláveis) gerados no processo produtivo.
	Determinação das inter-relações de atividades	Estudar os posicionamentos (proximidades) a ser adotados entre áreas (atividades de apoio e produtivas) para evitar impactos ao meio ambiente (economia de matérias-primas; redução da geração da poluição; prevenção de acidentes ambientais). Ex: algumas áreas de tratamento de efluentes podem ter que ficar afastadas da comunidade porque são gerados odores desagradáveis; localizar equipamentos que utilizam produtos inflamáveis longe das áreas de preservação; posicionar equipamentos barulhentos ou geradores de vibrações em um local distante das áreas vizinhas à fábrica.
	Construção do diagrama de inter-relações	Como esta etapa trata da construção de um primeiro esboço de localização, utilizando as informações das etapas anteriores (fluxo de materiais e inter-relações de atividades), acredita-se que as principais questões referentes ao meio ambiente já foram consideradas. Entretanto, ao manipular os posicionamentos, podem ocorrer descobertas que antes não foram percebidas e que são significativas para a preservação ambiental.
	Determinação do espaço necessário	Analisar a influência das questões ambientais para a determinação dos espaços necessários. Podem ser considerados espaços para máquinas, pessoas, movimentações, acessos, manutenção, serviços auxiliares, áreas de segurança, dentre outros, surgidos devido às necessidades ambientais. São exemplos: áreas de segurança entre máquinas, para evitar acidentes ambientais; distanciamentos adequados para máquinas que operam com substâncias perigosas e/ou geram resíduos contaminantes; espaço para a manutenção de equipamentos (um equipamento em bom estado de funcionamento não desperdiça energia e outros recursos); área para tratamento de resíduos; espaço necessário para o trabalho de equipes de socorro em situações de emergência ambiental; área para realizar trabalhos de remanufatura e/ou reciclagem do produto ou de partes dele.
	Conhecimento do espaço disponível	Analisar a ocorrência de situações em que não houve espaço disponível para atender às exigências ambientais e estudar possíveis soluções para este problema.
	Construção do diagrama de inter-relações de espaços	A elaboração deste diagrama (primeiro arranjo físico) depende de informações anteriores (diagrama de inter-relações e balanceamento de espaços) que já consideraram as necessidades ambientais. Entretanto, ao manipular as áreas, podem ocorrer descobertas anteriormente não verificadas e que são importantes para a preservação do meio ambiente.

<p>Análise das considerações de mudanças e Análise das limitações práticas existentes.</p>	<p>Na maioria dos projetos, há a necessidade de ajustar o diagrama de inter-relações de espaços para o atendimento de considerações de mudança e de suas conseqüentes limitações práticas. Por exemplo, as características das construções, normalmente, ocasionam modificações no diagrama. E essas modificações podem ocorrer para atender exigências ambientais. São exemplos: necessidade de tratamento acústico de pisos, paredes, tetos e telhados; possibilitar o uso de ventilação e iluminação natural, para economizar energia; uso de materiais recicláveis, reciclados ou renováveis no edifício industrial; utilização de pisos resistentes à vibrações; construção de áreas de contenção de vazamentos de produtos químicos; aproveitamento da gravidade (Ex: construção de rampas) para a movimentação de materiais.</p>
<p>Avaliação</p>	<p>Cada alternativa de arranjo (de 2 a 5) gerada após a análise das considerações de mudança e das limitações práticas terá impactos ambientais diferentes. Esta etapa tem como objetivo avaliar qual das alternativas será a selecionada, considerando-se o equilíbrio entre as necessidades do negócio e do meio ambiente.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Implantação</p>	<p>Há implantações que podem causar impactos ambientais temporários que cessam na fase de operação. Esses impactos devem ser analisados. Ex: a construção de estradas temporárias pode causar transtornos para a vizinhança (poluição sonora) e prejuízos à fauna e flora da região.</p>

Fonte: elaborado pelo autor, com base na metodologia de Muther (1978)

Quadro 2 – Sistematização para o projeto de layout, sugerida por Muther (1978), e a inclusão de considerações ambientais

A recomendação para estudos futuros é o desenvolvimento de modelos de referência para o projeto de instalações industriais que considerem a busca da sustentabilidade ambiental. Para cada tipo de fábrica, produto e região de implantação, por exemplo, podem ser elaborados modelos específicos para a orientação dos projetistas.

Referências

- APPLE, J.M.** *Plant Layout and Material Handling*. 3.ed. New York: The Ronald Press Company, 1977. 488 p.
- BARROS, A.J.S., LEHFELD, N.A.S.** *Fundamentos de metodologia científica*. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- BREZET, J.C., HEMEL, C.G.V.** *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption*. Paris: United Nations Environment Programme (UNEP), 1997.
- GONZÁLEZ-TORRE, P.L., ADENSO-DÍAZ, B., ARTIBA, H.** *Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firms*. International Journal of Production Economics. Vol. 88, n. 1, p. 95-104, mar. 2004.
- JIMÉNEZ, J.B., LORENTE, J.J.C.** *Environmental performance as an operations objective*. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 21, n. 12, p. 1553-1572, 2001.
- MOORE, J.M.** *Plant Layout and Design*. New York: The Macmillan Company, 1962. 566 p.
- MUTHER, R.** *Planejamento do Layout: Sistema SLP*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1978. 192 p.
- OTTOMAN, J.A.** *Marketing Verde*. São Paulo: Makron Books, 1994.
- PRAKASH, A.** *Green marketing, public policy and managerial strategies*. Business Strategy and the Environment. Vol. 11, n. 5, p. 285-297, set.-out. 2002.
- SARKIS, J.** *Manufacturing strategy and environmental consciousness*. Technovation. Vol. 15, n. 2, p. 79-97, mar. 1995.
- TOMPKINS, J.A., WHITE, J.A.** *Facilities Planning*. USA: John Wiley & Sons, 1984. 675 p.
- VALLE, C.E. do.** *Implantação de Indústrias*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 337 p.

WU, H., DUNN, S.C. *Environmentally responsible logistics systems*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 25, n. 2, p. 20-38, 1995.

* Agradecimento: Agradeço o apoio e incentivo do Prof. Dr. João Alberto Camarotto, do Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar, para a elaboração deste artigo.