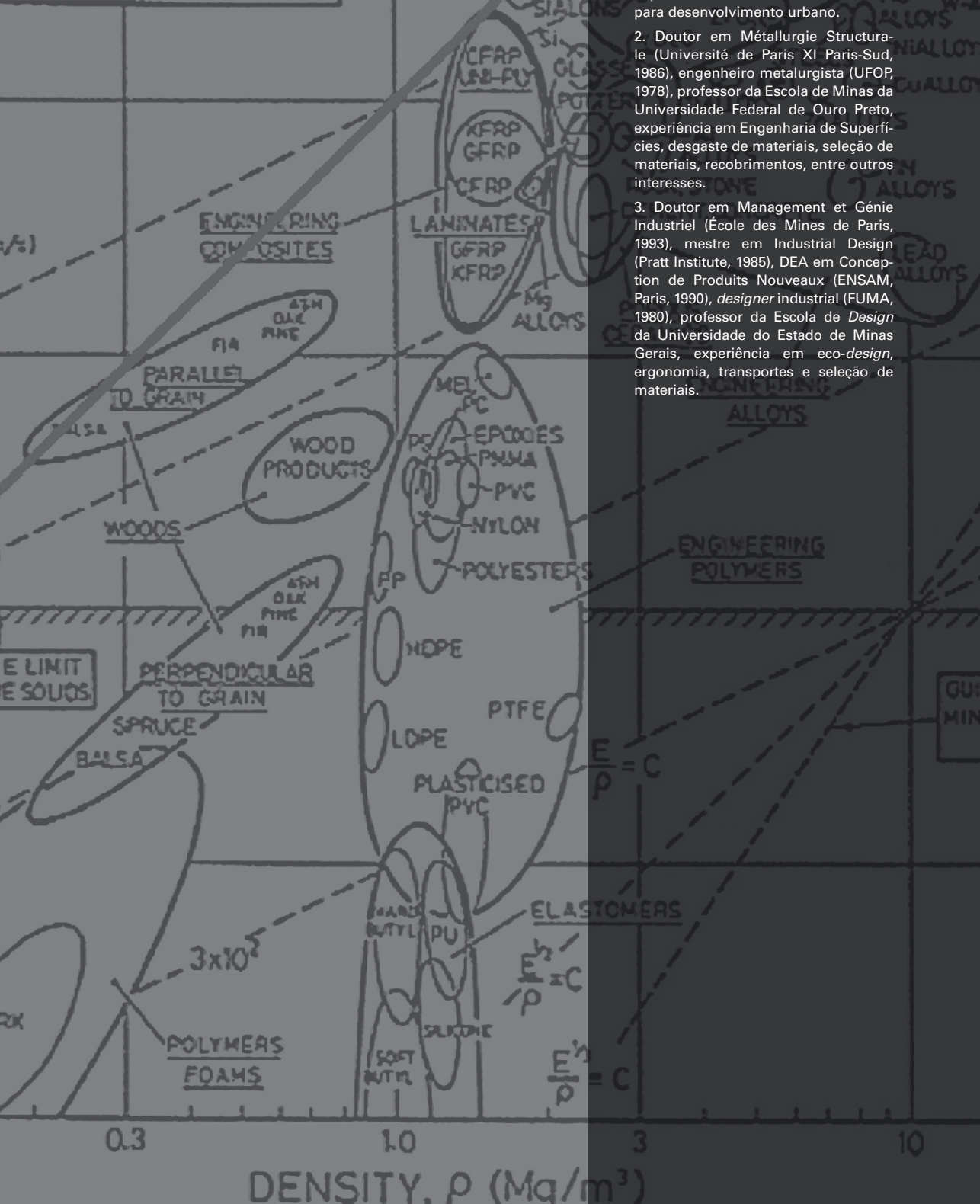


MODULUS-DENSITY

STIFFNESS MODULUS E
 E/ρ ; $K \approx E$

MFA: 88-91



1. Mestrado em Engenharia de Materiais (UFOP/Cetec/UEMG, 1999), especialista em Urbanismo (EA/UFMG, 1996), professor do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (Unileste), arquiteto e urbanista (UGF, 1982), experiência em materiais e técnicas para desenvolvimento urbano.

2. Doutor em Métallurgie Structurale (Université de Paris XI Paris-Sud, 1986), engenheiro metalurgista (UFOP, 1978), professor da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, experiência em Engenharia de Superfícies, desgaste de materiais, seleção de materiais, recobrimentos, entre outros interesses.

3. Doutor em Management et Génie Industriel (École des Mines de Paris, 1993), mestre em Industrial Design (Pratt Institute, 1985), DEA em Conception de Produits Nouveaux (ENSAM, Paris, 1990), designer industrial (FUMA, 1980), professor da Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais, experiência em eco-design, ergonomia, transportes e seleção de materiais.

MATERIALIZAÇÃO DE PROJETOS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA

MATERIALIZATION OF DESIGN: A METHODOLOGICAL APPROACH

Rogério Braga de Assunção¹
Adilson Rodrigues da Costa²
Jairo José Drummond Câmara³

Resumo

Este artigo argumenta que a seleção de materiais pode dar suporte ao processo de projeto em Arquitetura e Urbanismo. Critica-se a visão que trata a seleção de materiais como apenas complementar a projetos já predefinidos. O artigo argumenta contra o determinismo na seleção de materiais e propõe uma adequação da metodologia de seleção de materiais, de modo a poder informar as decisões no processo de projeto em Arquitetura. A seleção de materiais, que é originária da Engenharia de Materiais, pode se integrar bem a alguns métodos de projeto normalmente empregados por arquitetos e urbanistas. Nessa adaptação da seleção de materiais, adota-se uma abordagem fenomenológica e evolutiva, organizada numa taxonomia dos materiais e técnicas que coincide com a evolução do processo de projetos.

Palavras-chave: arquitetura e urbanismo, metodologia de projeto, seleção de materiais.

Abstract

This article argues that the materials selection method may support the design process in Architecture. It criticizes the view that treats the materials selection as only complementary to pre-defined projects. The article argues against determinism in materials selection and proposes an adjustment to this method so that it may serve as an inductive information step during the design process in architecture. The materials selection, which is a methodology from Materials Engineering, can integrate well with the design methods usually employed by architects and urban planners. The mentioned methodological adjustment adopts an evolving phenomenological approach, addressed through a taxonomy of materials and techniques that may be coincidental with the evolution of the design process.

Keywords: architectural and urban design, design methods, selection of materials.

Os materiais são o que nós poderíamos, talvez, chamar de a “substância” do design. Os processos são o que dá forma a essa matéria-prima do design (ASHBY, 1998).

Introdução

Este artigo discute, de forma introdutória e conceitual, as possibilidades de amparar na seleção de materiais alguns dos métodos de projeto em Arquitetura e Urbanismo. Baseia-se nas pesquisas de mestrado e de doutorado do primeiro autor desde 1997. Métodos de projeto são difíceis de discutir, e o processo de *design* permanece pleno de dúvidas. Mas a dúvida pode ser considerada como fundante do processo de criação (sem questionamento, não há mudança). Muitos métodos de projeto buscam eliminar toda dúvida, frequentemente culpando certo “lado artístico” pelos mistérios no processo de projeto. Artur Andrés Ribeiro, professor da Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais, relata uma frase que, para ele, sintetiza a dicotomia entre ciência e arte: “A ciência busca a beleza na verdade. A arte busca a verdade na beleza” (SILVA JUNIOR, 2013, p. 9). A ideia da materialização de projetos pode partir da dúvida, não exatamente para chegar a certezas, mas para permitir novas dúvidas, materializadas aos gradualmente na evolução de um projeto (movido a dúvidas).

A seleção de materiais

Se tudo que fazemos concretamente é feito de materiais, é preciso saber selecionar e empregar os materiais do modo mais adequado possível para cada situação. Na materialização de projetos, é preciso ter uma visão geral dos materiais e das técnicas possíveis de empregar, compreendendo as propriedades e os comportamentos dos materiais. Os métodos para a seleção de materiais e técnicas de construção geralmente sistematizam a manipulação da enorme quantidade de informações sobre as centenas de milhares de materiais e técnicas disponíveis. A seleção de materiais, que deverá ser adequada a cada situação, depende, portanto, de uma boa análise de fatores relevantes para cada circunstância. Como se trata de uma adequação, toda a seleção de materiais e processos, com ou sem métodos, com mais ou com menos informações, sempre será definida de forma subjetiva pelos responsáveis finais por um projeto. Michael Ashby⁴ tem se destacado na seleção de materiais, pela produção de mapas de seleção de materiais por cruzamento de propriedades destes. O chamado método Ashby traduz requisitos de projeto, a maioria deles relativos à mecânica (resistência à flexão, dureza, etc.) e a funções de produtos (suportar uma carga, conter uma pressão, transmitir calor, etc.), sujeitos a restrições de uso (determinadas dimensões, certa faixa de temperatura de trabalho, etc.) ou de concepção (mais barato possível, certa durabilidade, etc.). A Granta Design oferece o *software* CES Selector, de autoria de Michael Ashby, cuja versão educacional Edupack já teve mais de 800 unidades instaladas em universidades de todo o mundo (GRANTA DESIGN, 2013).

4. Michael Farries Ashby (1935) é um engenheiro metalurgista britânico especialista em ciência dos materiais, pesquisador da Royal Society e da Universidade de Cambridge. Ele é conhecido por suas publicações no campo da seleção de materiais.

Certamente há muitos casos em que um projeto arquitetônico não progride de uma ideia apenas conceitual para uma realidade concreta, construída com materiais. Em muitos casos, existe uma realidade material preexistente, e há muitos conceitos fundantes do processo de projeto que precedem à seleção de materiais. Na maioria dos casos em que haja alguma materialidade arquitetônica, será fundamental que o arquiteto compreenda o comportamento dos materiais (seja para criar, intervir, alterar, desmaterializar, etc.). O trabalho de seleção de materiais pode preceder ou não o desenvolvimento de um projeto, pode ser complementar ou não a um projeto já definido, talvez já construído. Mas a seleção de materiais, além de importante, será, no mínimo, concomitante com o desenvolvimento do projeto ou com o que pode ser chamado de materialização do projeto. Em termos de materialidade de projetos, a seleção de materiais pode até não ser iniciadora de um projeto (fundante), mas certamente será de fundamental importância na sustentação (definição, justificativa, etc.) da materialização durante a evolução de muitos tipos de projeto em Arquitetura e Urbanismo.

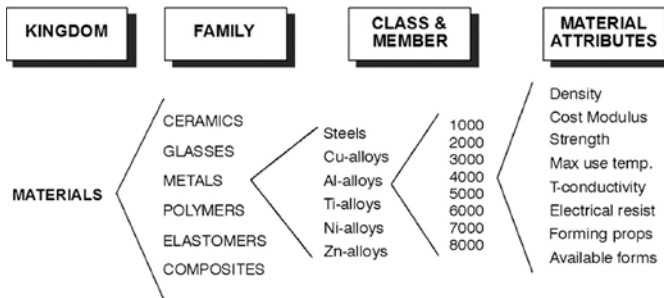
Dificuldades

Na virada do milênio, estimava-se que houvesse mais de 240 mil materiais (ASHBY, 1998) à disposição de quem pretendesse desenvolver um projeto qualquer. Os diferentes tipos de desempenhos dos materiais se multiplicam por inúmeros processos diferentes, que permitem incalculáveis utilizações em cada projeto. Mais de 70% dos materiais disponíveis foram descobertos nos últimos 200 anos ou inventados nos últimos 50 anos. Seja devido a uma quantidade cada vez maior, seja devido a novidades cada vez mais rápidas, já não é mais possível abordar os materiais e processos de maneira enciclopédica, verificando informações individuais, material por material. Disseminou-se então a abordagem fenomenológica, que relaciona a composição e a estrutura dos materiais com suas propriedades e usos, dentro de uma taxonomia evolutiva (ver FIG. 1). Assim se organizam as informações sobre os materiais por meio de uma classificação por origens, princípios físico-químicos, evolução e desdobramentos ou novos desenvolvimentos (FIG. 1). Para facilitar a compreensão dos fenômenos e respectivos desempenhos dos materiais, eles são frequentemente classificados em apenas três grupos principais, conforme as estruturas atômicas e tipos de ligações químicas predominantes; e eventualmente em até mais três grupos complementares, conforme características de fabricação ou utilização. Assim, apesar da enorme e crescente quantidade de materiais e possibilidades técnicas à disposição de um projetista, é possível organizar toda a compreensão das centenas de milhares de materiais a partir de muito poucas características básicas que definem os comportamentos de todos os materiais.

Outras abordagens

Em conjunto com a abordagem fenomenológica e com a organização taxonômica, para William Callister Junior (2002, p. 500), o método mais eficiente para entender a seleção de

materiais consiste na análise de estudos de caso. Assim, as soluções são analisadas em detalhes da seleção de materiais e técnicas em projetos realizados, de modo que, por analogia, o projetista possa entender os procedimentos e o raciocínio envolvidos na tomada de decisões durante o desenvolvimento de um projeto.



O progresso dos projetos e do uso eficiente dos materiais sempre acompanhou a evolução da humanidade. Os ancestrais do homem já empregavam, e cada vez melhor, os materiais e processos no *design* de seus primeiros artefatos e abrigos. Portanto outra abordagem muito frequente é simplesmente a da evolução. Por milhares de anos, foi apenas a experiência (tradição empírica) que governou a seleção de materiais e processos. Em grande parte, a evolução da seleção de materiais e técnicas, sobretudo em cálculos estruturais, baseia-se no empirismo. A despeito de todo desenvolvimento tecnológico e metodológico, grande parte da seleção de materiais hoje em dia ainda é baseada apenas em tentativa e erro (método ancestral). Conforme George Dieter (1991, p. 231-272), aquilo que já funcionou uma vez é sempre uma solução, embora nem sempre, e não necessariamente, a melhor. A questão, como teorizou André Leroi-Gourhan (1945), é entender as circunstâncias que provocam um salto tecnológico quando surge uma nova técnica ou um novo processo na evolução das seleções de materiais e técnicas. Isto é, quando se passa de uma maneira de fazer as coisas para uma nova maneira de fazer melhor aquelas coisas? Segundo Leroi-Gourhan (1945), não se trata de disponibilidade de recursos, mas sim de necessidade e desejo de evoluir; as possibilidades serão buscadas ou criadas.

O raciocínio da seleção de materiais

Os especialistas concordam que há outros métodos de seleção de materiais,⁵ há também outros softwares⁶ e outros bancos de dados⁷ para a seleção de materiais, mas não diferem muito do método empregado por Ashby, que, de modo relativamente consensual, representa a situação atual da seleção de materiais, inclusive no Brasil (FERRANTE, 1996). Segundo David Cebon,⁸ os objetivos das pesquisas de Ashby são os de desenvolver procedimentos sistemáticos para aperfeiçoar a seleção de materiais, certificando-se de que nenhum material deixe de ser analisado. Supondo-se que um projetista experiente tenha bons conhecimentos apenas sobre alguns tipos de material, mas não sobre todas as possibilidades exis-

Figura 1 • Taxonomia dos materiais. Da esquerda para direita, classificados por reinos (kingdom), famílias (family), classes e membros (class & member) e atributos dos materiais (material attributes). Neste caso, o alumínio é listado sob materiais metálicos, conforme suas ligas e diferentes séries (1000, 2000, etc.). Essa classificação, baseada em estrutura atômica e ligações químicas predominantes, permite localizar e avaliar o comportamento de um tipo de material entre outras opções de materiais. Fonte: ASHBY, 1998

5. Além das demais referências bibliográficas ao final, merece destaque, quanto à organização de um método de seleção de materiais, Budinski (1996).

6. Em termos de programas de computador, merece menção o *MedeA*, que também promete prever comportamentos, interpretar ensaios e modelar propriedades dos materiais. Além da interface gráfica e bancos de dados, o *MedeA* oferece um módulo de simulação.

7. A Materials Design, Inc., responsável pelo *MedeA*, fundada em 1998 por associação de universidades, indústrias e centros de pesquisa, oferece bancos de dados no site <http://www.materialsdesign.com>.

8. David Cebon, professor e pesquisador, assistente do Prof. Michael Ashby na Universidade de Cambridge, Inglaterra, entrevistado por *e-mail* em 1999 (dc@eng.cam.ac.uk)

tentes, Ashby desenvolveu procedimentos de seleção, por meio da compilação de um banco de dados com propriedades dos materiais e de uma construção multiobjetivada para equilibrar o desempenho exigido. Os resultados, nesse caso baseados em um programa de computador, podem ser confirmados por uma coleção de estudos de caso que se acumulam tanto no computador do usuário quanto numa central pela internet. Para organizar a seleção de materiais, o sistema de Ashby permite manipular, de maneira enciclopédica, os muitos dados necessários para uma seleção de materiais. Trata-se, portanto, mais de procedimentos do que propriamente de um método de seleção de materiais. O *software* também permite criar e acumular índices sobre aspectos indiretos que podem influenciar a seleção (custos, disponibilidades, considerações específicas, etc.). Pode-se considerar esse programa uma enciclopédia sobre materiais, mais para uso didático do que para a seleção de materiais propriamente. Mecanismos e procedimentos gráficos para a manipulação de milhares de materiais por computador não configuram um método para seleção de materiais. Mas todos os recursos de Ashby obedecem a um método. As premissas metodológicas de Ashby parecem ser basicamente enciclopédicas e prescritivas. Cabe lembrar que a definição final sempre depende da subjetividade do projetista. A despeito do caráter determinista e da aparente complexidade de seus procedimentos, o método em que Ashby se baseia é relativamente simples.

O método em si

O procedimento sistemático empregado por Ashby é baseado na comparação dos atributos requeridos pelo projeto com aqueles oferecidos pelos materiais, de modo a atingir o melhor conjunto entre problemas de projeto e soluções possibilitadas pelos materiais. Segundo Ashby (1992), deve-se iniciar por uma análise das funções de cada componente do projeto, determinando quais objetivos importam para a seleção de materiais, identificando as propriedades de materiais e processos que melhor atendam aos critérios de seleção estabelecidos por meio de índices e limites determinados pelo projetista. O projetista pode, por exemplo, predeterminar um custo máximo ou critérios de mínimo impacto ambiental. É preciso considerar que, na análise por componentes de um projeto íntegro, corre-se o grande risco de perder a noção do todo.

Etapas da seleção de materiais

Dependendo da complexidade do projeto, a seleção de materiais pode ser refinada a cada passo, em que se podem contrapor mais e mais requerimentos de projeto *versus* novos critérios de seleção. Para Ashby (1998), a primeira etapa é chamada de eliminação (*screening*, no sentido de peneirar). E a segunda etapa é chamada de informação complementar (*supporting information step*). Os requerimentos de projeto e os critérios de seleção de materiais nas duas etapas são diferentes, mas a complexidade do procedimento de seleção depende mesmo do nível de exigência determinado pelo projetista, o que pode

ser ajustado durante o desenvolvimento do projeto, conforme o projeto avance. Como o nível de exigência fica a critério do projetista, esse mesmo procedimento pode ser aplicado tanto através do complexo e prescritivo programa de computador desenvolvido por Ashby, quanto pode ser executado de forma flexível e indutiva, apenas com algumas folhas de papel para anotar o raciocínio do projetista, que pode usar como material de referência elementos tais como livros, catálogos técnicos e folhetos comerciais, e informações da internet, ou informações obtidas em lojas de materiais, fabricantes, etc. Em projetos de Arquitetura e Urbanismo, na maioria das experiências e entrevistas durante a referida pesquisa que originou este artigo, os recursos de Ashby foram considerados contraproducentes, enquanto que o método em si foi considerado interessante e útil.

Primeira etapa: de eliminação

Nos exemplos de Ashby, a primeira etapa de eliminação é mais quantitativa do que qualitativa e deve ser feita pela comparação dos requerimentos de projeto, mediante critérios numéricos compatíveis entre os dados disponíveis sobre todos os materiais candidatos. Muitos índices de desempenho ou propriedades de materiais se encontram tabelados em livros, folhetos técnico-comerciais ou podem ser derivados de estudos de caso padronizados. Em geral, esses dados se encontram prontos para consulta em tabelas de livros ou em informações técnicas dos fabricantes dos componentes.

Figura 2 • Tela do CES4.0 no nível 1. Clicando-se em polímeros, termoplásticos e policarbonato, abre-se ficha com informações genéricas sobre o material, com descrição, fotos, composição química, propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, ópticas, e informações complementares sobre usos, referências, fornecedores e processos. Nos níveis 2 e 3, há mais informações e mais materiais. Fonte: ASHBY, 1998.

The screenshot shows the CES4.0 software interface. The title bar reads "CES - [MaterialUniverse:\Polymer\Thermoplastic]". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Select", "Tools", "Window", and "Help". The toolbar contains icons for "Browse", "Select", "Search", and "Print". The main window is titled "Polycarbonate (PC)".

Left Panel (Tree View):

- MaterialUniverse
 - Ceramic
 - Composite
 - Foam
 - Metal
 - Natural
 - Polymer
 - Elastomer
 - Thermoplastic
 - Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)
 - Cellulose polymers (CA)
 - Ionomer (I)
 - Polyamides (Nylons, PA)
 - Polycarbonate (PC)**
 - Polyetheretherketone (PEEK)
 - Polyethylene (PE)
 - Polyethylene terephthalate (PET or PETE)
 - Polymethyl methacrylate (Acrylic, PMMA)
 - Polyoxymethylene (Acetal, POM)
 - Polyspropylene (PP)
 - Polystyrene (PS)
 - Polyurethane (tpPUR)
 - Polyvinylchloride (tpPVC)
 - PTFE
 - Thermoset

Main Content Area:

Table: MaterialUniverse
Subset: Edu Level 1

Polycarbonate (PC)

Description

The Material

PC is one of the 'engineering' thermoplastics, meaning that they have better mechanical properties than the cheaper 'commodity' polymers. The family includes the plastics polyamide (PA), polyoxymethylene (POM) and polytetrafluorethylene (PTFE). The benzene ring and the -COO- carbonate group combine in pure PC to give it its unique characteristics of optical transparency and rigidity, even at relatively high temperatures. These properties make PC a good choice for applications such as compact disks, safety hard hats and housings for power tools. To enhance the properties of PC even further, it is possible to co-polymerize the molecule with other monomers (improves the flame retardancy, refractive index and resistance to softening), or to reinforce the PC with glass fibers (giving better mechanical properties at high temperatures).

Composition

$[O-(C_6H_4)-C(CH_3)_2-(C_6H_4)-CO]_n$

The material in a product

General properties

Density	1.14	-	1.21	Mg/m ³
Price	3.918	-	4.377	USD/kg

Mechanical properties

Polycarbonate (PC)

Arquitetos que arquivam folhetos, revistas e catálogos técnicos também configuram assim uma base de dados sobre os materiais a selecionar, sabendo como e onde obter maiores informações. Bibliotecas universitárias também disponibilizam grandes coleções de folhetos e catálogos técnicos. O *site* do NDSM-EE/UFRGS (<http://www.ndsm.ufrgs.br/>)¹⁰ disponibiliza uma excelente “materioteca” multimídia sobre *design* e seleção de materiais. Com ou sem computadores, o banco de dados sobre materiais precisa ter características abrangentes, tais como conter todas as classes de materiais (metais, polímeros, cerâmicas, materiais naturais e compósitos, no mínimo). Como diz Ashby (1998): “É tentador assumir que a melhor solução está implícita em experiências anteriores, e que assim não será necessário verificar absolutamente tudo. Isto, no mínimo, inibiria a inovação e as soluções alternativas”. Pode ser necessário equalizar dados para permitir comparações. Todos os materiais têm atributos universais que podem ser convertidos para as mesmas unidades de comparação. Para facilitar a comparação na etapa de eliminação, os atributos genéricos podem requerer duas ou mais fases de seleção ainda dentro da primeira etapa (ver FIG. 3, 4 e 5). Depois que algumas famílias ou classes de materiais já tiverem sido selecionados numa fase genérica, poderá se passar então para critérios mais específicos, relativos só aos grupos de materiais pré-selecionados. Trabalha-se sempre assim: primeiro com menos dados gerais sobre todos os materiais; e, depois, com mais dados específicos sobre menos materiais.

10. O LDSM (Laboratório de Design e Seleção de Materiais) é ligado ao Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Demat/EE/UFRGS), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM/UFRGS) e ao Programa de Pós-graduação em Design e Tecnologia (Pgdesign/UFRGS). É coordenado pelo Prof. Dr. Wilson Kindlein Jr

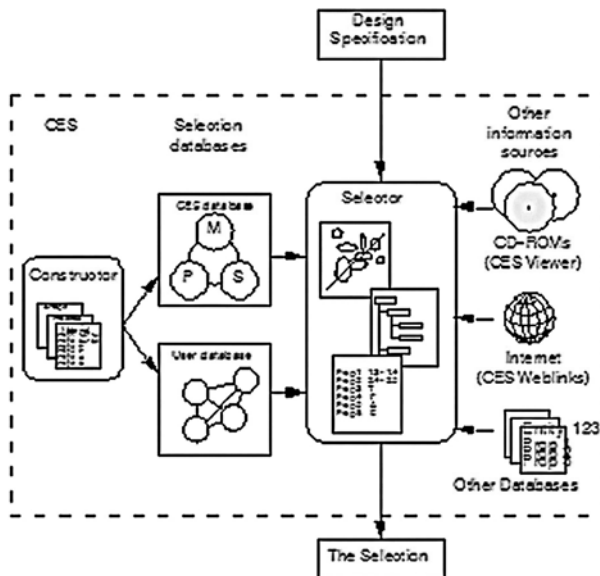


Figura 3 • Estrutura do CES desenvolvido por Ashby. A interdependência de dados e métodos externos ao programa evidencia a interdisciplinaridade de fatores não previsíveis na seleção de materiais. Os módulos são apresentados em quadros, dentro do tracejado (o construtor do banco de dados, os bancos de dados do CES e do usuário e o programa de seleção em si). Os três módulos da direita (fora de quadros) são externos ao sistema, mas fornecidos pela Granta em CD-ROM ou pela internet. Fonte: ASHBY, 1998.

Quanto mais se refina a seleção de materiais, mais difícil fica converter dados para uma mesma base de comparação. Assim, desde uma etapa inicial muito quantitativa, percebe-se que a importância das informações qualitativas cresce durante o processo de refinamento. Nota-se a importância da etapa inicial, considerando-se que uma falha na base de dados pode induzir a um erro de seleção. Pode ocorrer que uma propriedade de

algum material nunca tenha sido medida ou que a informação não esteja disponível na mesma base de comparação. Em alguns casos, Ashby utiliza gráficos para relacionar propriedades entre materiais, com dados cruzados em escalas logarítmicas (para conter todos os materiais num só gráfico), que geram os

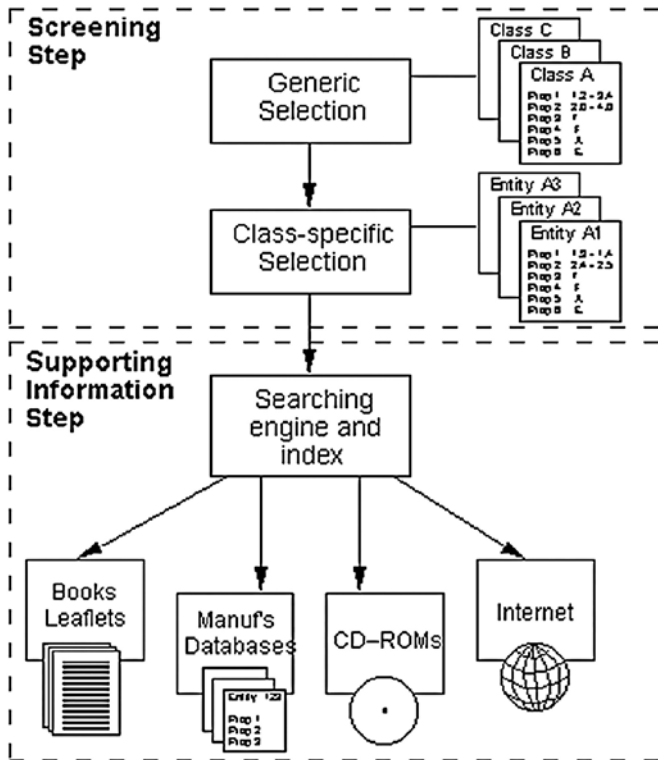


Figura 4 • Esquema das etapas de eliminação e de informação complementar. Na etapa de eliminação a seleção inicial é genérica e abrangente, apenas por classes de materiais. Depois, dentro das poucas classes selecionadas, deverá se refinar a seleção segundo atributos específicos. Na etapa de informação complementar, após uma seleção genérica inicial, é necessário buscar informação específica sobre as seleções anteriores. Nesse ponto, o programa de computador pode não ser tão eficiente ou necessário quanto uma visita à indústria. Fonte: ASHBY, 1998

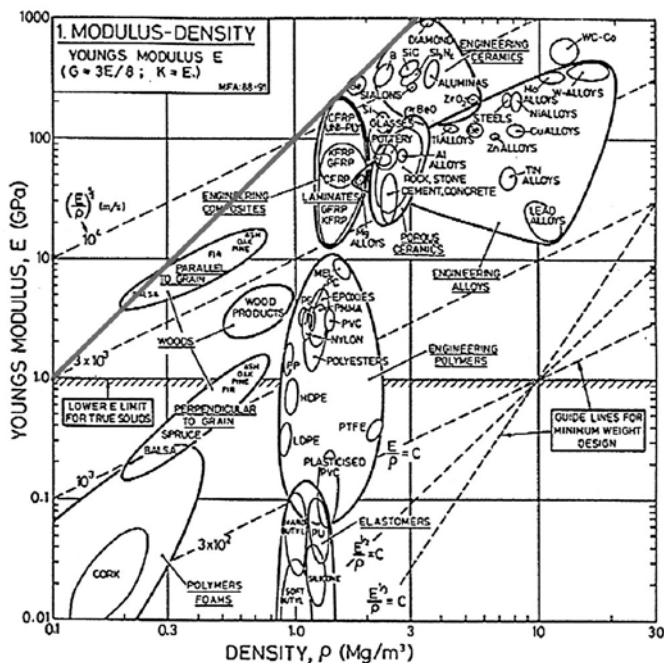


Figura 5 • Mapa de Ashby. Neste mapa de Ashby, cruzam-se todas as famílias de materiais quanto à resistência, à elasticidade em relação à densidade. A linha vermelha liga os materiais com o menor peso possível para uma performance que requeira resistências entre 1 e 1000 GPa. A 10 GPa, a madeira balsa seria escolhida (fibras paralelas); a ±100 GPa, compósitos reforçados por fibras; a ±1000 GPa, nem mesmo o diamante serviria. Numa segunda rodada, por exemplo, poderia ser definida uma faixa mais estreita de resistência versus custos máximos e seria admitida uma maior densidade (mais peso). Fonte: ASHBY; JONES, 1980.

chamados mapas de Ashby (ver FIG. 6), com manchas da interseção entre os dados de materiais diferentes. Quando possível, trata-se de uma maneira de sintetizar a comparação de propriedades de centenas de milhares de materiais. Comparam-se os materiais, no exemplo apresentado a seguir, por meio do cruzamento do módulo de elasticidade [E],¹¹ com a proporção de Poisson [ν]¹² para obter o índice de massa [K].¹³

Deve-se assumir a tendência de que as informações serão apresentadas cada vez mais detalhadas e específicas, sobre um número cada vez menor de opções de materiais. A partir de certo ponto no processo, as informações não poderão mais ser comparadas quantitativamente. Nesse ponto, deve-se passar à etapa seguinte de informação complementar (ver FIG. 5). O preço dos materiais, por exemplo, embora seja uma informação quantitativa, precisa ser verificado conforme outras condições locais, no momento e no local onde os materiais serão necessários.

Segunda e última etapa: de informações complementares

Os dados necessários nesta etapa diferem dos utilizados na primeira etapa (de eliminação), porque, com definições iniciais, o projeto estará mais desenvolvido e o nível das informações necessárias para as comparações será mais específico para um número consideravelmente menor de materiais. Já não é mais necessário verificar todas as classes de materiais, porque só se comparam atributos específicos dos poucos materiais já pré-selecionados. Nesta etapa, pode-se necessitar de informações de especialistas sobre uma faixa restrita de fatores. A informação pode estar disponível em *sites* da internet ou em uma associação de fabricantes. Uma estratégia simples nessa etapa pode ser um índice de palavras-chave para pesquisar e comparar.

Considerações genéricas

Existem métodos para diferentes níveis de complicação e especificidades. Há, por exemplo, programas de seleção de materiais apenas para a parte submersa das plataformas de exploração submarina de petróleo (cf. TRETHERWEY, 1998). Quanto mais específicos os requisitos, mais restrita e especializada deverá ser a base de comparação. Conforme a materialização de um projeto progride, de uma seleção básica e genérica sempre se parte para um refinamento cada vez maior. O desenvolvimento do projeto (aqui entendido como uma progressiva materialização do projeto) leva quem inicia uma seleção de materiais a não mais retomar o processo inicial nas etapas seguintes. Isto é, o processo de projeto progride com a seleção de materiais. E devem-se buscar as informações cada vez mais próximas da fonte (do material) ou da aplicação (do projeto). Fornecedores de materiais exageram pontos positivos, escondem pontos negativos ou mentem, mas basta comparar informações de três ou mais fornecedores de um mesmo material. Deve-se verificar também onde, como e quando os ma-

11. Módulo de elasticidade (módulo de Young) é o quociente entre a tensão aplicada e a deformação elástica (não permanente) resultante. Está relacionado com a rigidez do material (resistência à deformação). O módulo de elasticidade resultante de tração ou compressão é expresso em psi (libras por área em polegadas), em MPa (megapascal), ou Gpa (gigapascal). Deformação elástica é uma deformação reversível, que desaparece quando a tensão é removida. Já a deformação plástica é a deformação permanente, provocada por tensões que ultrapassam o limite de elasticidade (a deformação plástica é o resultado de um deslocamento permanente dos átomos que constituem o material).

12. Proporção de Poisson é o coeficiente entre a deformação elástica transversal e a deformação elástica longitudinal.

13. Índice de massa (módulo de Bulk) mede a resposta elástica à pressão hidrostática. Para sólidos isotrópicos, está relacionado ao módulo de Young.

teriais em questão já foram aplicados, verificando com quem já comprou, já aplicou, já usou, etc. Em termos de seleção de materiais e processos, sempre vale a pena visitar as indústrias, para averiguar *in loco* como se dá a transformação do material. Costuma ocorrer, nessas visitas do projetista, haver *insights* de uma solução de projeto. Nessas visitas, o projetista pode avaliar condições locais de produção: maquinário, ferramentaria, cultura, métodos, estoques, problemas de estocagem e manuseio, etc. Outra vantagem das visitas é estabelecer contatos para posteriores consultas sobre possibilidades e dificuldades executivas. Percebe-se que a seleção de materiais se assemelha ao processo de desenvolvimento de projeto.

Considerações ambientais, econômicas, socioculturais e políticas

Assim como ocorre com os métodos de projeto, a seleção de materiais é complicada por uma abrangência cada vez maior de diversos fatores tão difusos quanto relevantes. E isso aproxima o processo de seleção de materiais do processo de projeto em Arquitetura. Como lembra Callister Junior (2002, p. 528-536), nos Estados Unidos da América, a metade de toda a energia é consumida por indústrias que produzem materiais. A abrangência de fatores ambientais relevantes pode ir da extração de matéria-prima ao descarte dos materiais. Cada vez mais, os benefícios do desenvolvimento tecnológico tendem a ser globais, enquanto que os custos dos impactos ambientais tendem a permanecer fortemente localizados; não só nos locais de extração e beneficiamento, mas também nos locais de utilização ou do descarte dos materiais. Além da sustentabilidade, outro fator geralmente presente em projetos de arquitetura e urbanismo são os custos (de aquisição, de manutenção, de descarte, etc.). Farag (1991) orienta a seleção de materiais principalmente por fatores econômicos, mesmo quando referidos por meio de outros tipos de critérios, porque todos devem se manter sempre dentro do menor custo possível. Segundo Dieter (1991), o custo dos materiais tem uma participação cada vez maior no custo dos produtos prontos (quanto maior a automação, menores os recursos humanos); e o custo de fabricação/construção tende a cair enquanto que a proporção do custo dos materiais tende a se manter estável ou até a aumentar em relação ao preço final. Para Dieter (1997), o percentual médio do custo dos materiais em relação aos produtos prontos está em 50% do custo total. Frequentemente pode ser preferível ter um custo inicial maior, que só será compensado em longo prazo, com menores custos de manutenção. Assim como, às vezes, opta-se por pagar mais caro para atingir objetivos socioculturais. Também ocorre de materiais mais caros serem escolhidos pela necessidade de se empregar mão de obra local ou incidir em custos de mão de obra maiores para utilizar materiais disponíveis. Características culturais podem levar à escolha de materiais não disponíveis, para que os produtos finais pareçam ser de outros locais. Materiais locais podem ter de ser empregados quando inconvenientes ao projeto, para demonstrar cuidado com os recursos locais. Materiais reciclados frequentemente têm custos maiores, sem garantias de

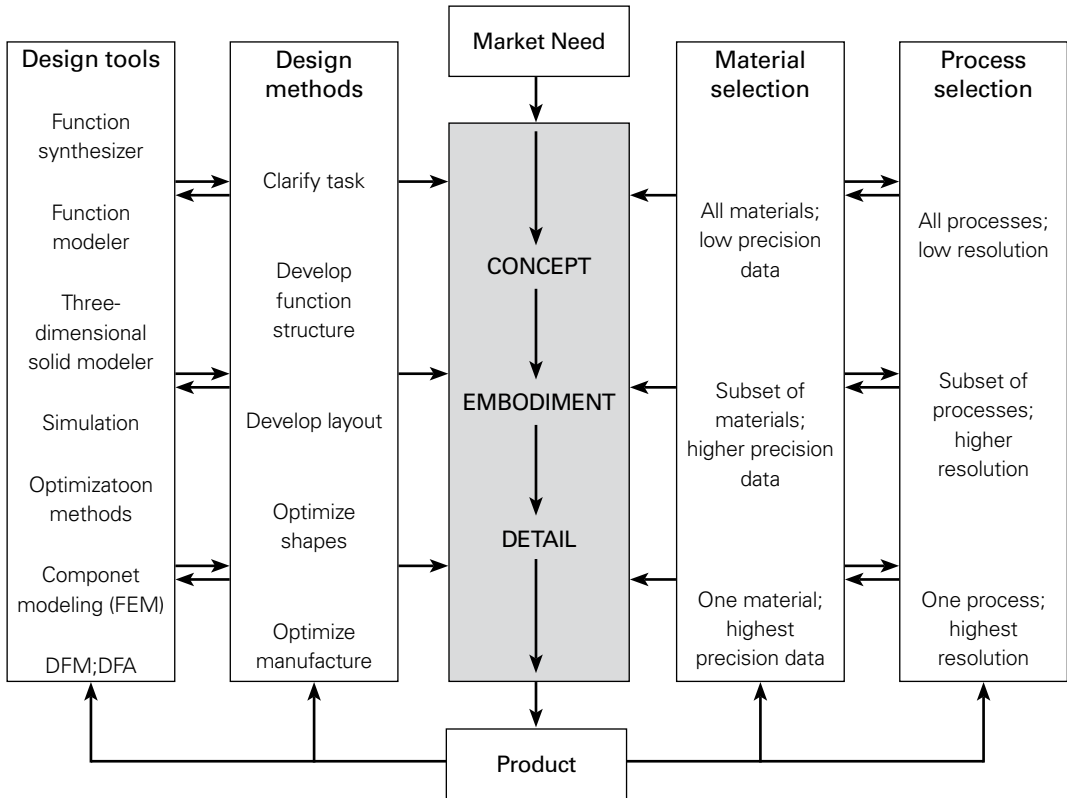
padronização e continuidade, mas podem ser preferidos por simpatia ambientalista. Tradições culturais geralmente são respeitadas, mesmo que ao custo de um *design* com materiais mais caros (às vezes, até mais ineficientes). Então, mesmo sem envolver diversos outros tipos de fatores na discussão (valores estéticos, etc.), nota-se que a seleção de materiais e técnicas construtivas não pode se resumir à influência de fatores diretos e objetivos nem pode proceder-se de forma prescritiva. Percebe-se que, especialmente em definições sobre custos, a seleção de materiais segue concomitante com o processo de projeto, naquilo que aqui se chamou de materialização do projeto.

Importância da seleção de materiais apesar das críticas aos métodos atuais

O programa de Ashby, que, por um lado, argumenta contra o enciclopedismo, por outro, por meio de programa de computador e internet, favorece o manuseio de informações enciclopédicas, como se isso levasse à familiarização com os materiais e processos. Em praticamente todas as suas publicações, Ashby insiste que, necessariamente, a seleção de materiais vem complementar um projeto já predefinido. Porém, qualquer que seja o nível de predefinição de um projeto, algum nível de materialização e alguma seleção de materiais já devem ter ocorrido. Porque, para imaginar o comportamento de um projeto, é preciso pensar em como se comportariam os materiais deste. Sem pensar em alguma materialização, não haveria como imaginar o comportamento de um projeto. A evolução do projeto durante a seleção de materiais está prevista no método Ashby, assim como em outros métodos, porém desvinculada de uma evolução simultânea. Com a coincidência das características evolutivas, tanto nos métodos de projeto quanto nos de seleção de materiais, a evolução da seleção de materiais pode ocorrer junto com a evolução do projeto todo, concomitantemente. Percebe-se alguma incoerência quando mesmo Ashby, junto com Johnson, sem se referir diretamente ao seu próprio método, afirma que os mais sofisticados métodos atuais, apesar de formarem a base do ensino da seleção de materiais, ignoram ou devotam pouca atenção à *arte*¹⁴ dos materiais (ASHBY; JOHNSON, 2004, p. v) (grifo no original). Dieter, em um capítulo de seu livro de 1991, ao falar sobre seleção de materiais, ensina que o *design* é, em si mesmo, necessariamente um processo de otimização constante (DIETER, 1991 apud ASSUNÇÃO, 2000, p. 115), o que pressupõe uma evolução conjunta de projetos e de seleções de materiais e técnicas. Embora Dieter admita (1997, p. 7) que a seleção de materiais deve se tornar cada vez mais detalhada com o progresso do projeto, ele não parece se preocupar tanto com aspectos estéticos, socioculturais, talvez por considerá-los já levantados como especificações de performance por meio de requerimentos técnicos (DIETER, 1991 apud ASSUNÇÃO, 2000, p. 158). Portanto, como se vê na figura 7, Dieter (1997, p. 7) se coloca na mesma linha que Ashby, com uma seleção de materiais que só pode ser complementar a um projeto já definido. Para Dieter, a seleção de materiais se resume em

14. No mesmo parágrafo em que usam o termo "arte" para diferenciar as preocupações com os materiais, Ashby e Johnson alegam que os aspectos técnicos da Engenharia formam um campo analítico estruturado, enquanto que o *design*, ao contrário, não pode ser formulado como método, por se basear no pensamento "visual" (grifo original).

decidir em relação a parâmetros de projeto, constrangimentos e possibilidades de materiais e processos (DIETER, 1991 *apud* ASSUNÇÃO, 2000, p. 159).



Nesta discussão da seleção de materiais entre o determinismo mecânico de alguns métodos e a necessária flexibilidade no desenvolvimento de um projeto arquitetônico, certamente haverá casos diferentes para cada situação. A solução desse suposto dilema talvez esteja justamente na aceitação de que, em termos de projeto arquitetônico, nem tudo se processará sempre de um mesmo modo, mesmo em projetos e situações similares. Ao mesmo tempo em que cabe reconhecer a importância da seleção de materiais na materialização de projetos arquitetônicos, é preciso também aceitar a dúvida e a flexibilidade na seleção de materiais durante o processo de projeto em Arquitetura e Urbanismo. Por outro lado, em termos de métodos de seleção de materiais, em relação ao caráter determinístico de Ashby e Dieter, assim como em relação ao empirismo e aos estudos de caso, deve-se reconhecer que não é possível coletar experiências suficientes sobre um assunto qualquer de modo a alcançar uma conclusão universal. A ideia básica da ciência é justamente a de um contínuo estado de revisão de conclusões anteriores. Se nunca se pode ser conclusivo e prescritivo, qualquer seleção de materiais não passa de uma etapa sujeita a revisões conforme as circunstâncias, dentro do processo evolutivo da maioria dos projetos.

O próprio Michael Ashby (1998) admite, na apresentação multimídia do seu *software* de seleção de materiais CES3.0:

Figura 6 • Processo de projeto de produto. Processo de projeto de produto (coluna central), combinado ao processo de seleção de materiais representado nas colunas da direita, com as fases de seleção de materiais (coluna de centro-direita), e os processos de seleção de materiais correspondentes (coluna de extrema direita). O processo de projeto também é apresentado relacionado nas colunas da esquerda, com as “ferramentas” de projeto (coluna da extrema esquerda) e os métodos de projeto correspondentes (coluna de centro-esquerda). Note-se que o processo de projeto de produtos industriais, embora excessivamente simplificado, está centralizado na coluna do meio, a qual as demais colunas se referem, submetendo a seleção de materiais ao processo de projeto. Fonte: DIETER, 1997, p. 7.

“Mesmo o mais bem informado dos engenheiros não pode estar familiarizado com mais do que uma mínima fração dos materiais e processos à sua disposição.” Supostamente o mais bem informado seria o que dispõe do *software* de seleção de materiais de Ashby. Para Dieter (1991), não há caminhos para o *design* sem a seleção de materiais, nem vice-versa, porque selecionar o melhor material envolve mais do que só escolher um material cujas propriedades permitam obter o desempenho requerido. Se, para Dieter, a seleção está ligada ao processamento do material, antes, durante e após a concepção, na realização e até no descarte, então a seleção de materiais está ligada à evolução do projeto. Ashby e Johnson (2004, p. 2-10) chegam a citar exemplos de *design* bem-sucedido devido à “inspiração” de avanços tecnológicos em Engenharia de Materiais, como se coubesse à Engenharia de Materiais apenas estimular o pensamento criativo, sem saber como esse pensamento criativo, em algum ponto de seu desenvolvimento, incluiria a seleção de materiais. Ao assumir a “inspiração” dos materiais, Ashby mesmo admite a possibilidade de a seleção de materiais ser a base e não o complemento dos projetos, mesmo que apenas em projetos onde uma “abençoada” seleção de materiais se submetia à arte e à inspiração fenomenais. Ashby e Johnson (2004, p. 1) lembram que a combinação *design* + materiais é óbvia em Arquitetura e Urbanismo, e reconhecem que arquitetos expressam grande frustração com a deficiente fundamentação sobre materiais no ensino de planejamento e projeto (ASHBY; JOHNSON, 2004, p. 2), ao mesmo tempo em que atestam a dificuldade de suprir essa ponte metodológica (ASHBY; JOHNSON, 2004, p. 3). Porém quase nunca os projetistas pesquisados reconheceram utilidade na metodologia de seleção de materiais de Ashby, especialmente os arquitetos e urbanistas contatados entre 1997 e 2009 nas pesquisas do primeiro autor. Ao tomar conhecimento das metodologias de seleção de materiais existentes, a maioria dos projetistas não as compreendeu facilmente nem as julgou práticas, embora julgasse o tema importante diante das dificuldades já enfrentadas profissionalmente.

Apesar das diversas adaptações e novas edições de suas teorias, Ashby ainda não parece ter abordado de forma aceitável as influências socioeconômicas e culturais no *design* e na seleção de materiais. Certamente uma série de situações não se encontra bem discutida nas atuais teorias da seleção de materiais. Talvez, como ocorre com métodos de projeto em Arquitetura e Urbanismo, a seleção de materiais não progrida para uma síntese simples, mas para uma complexidade tão abrangente quanto impossível de resumir.

Flexibilidade e evolução tanto na seleção de materiais quanto nos processos de projeto

O tipo de *design* e o tipo de uso influenciam os processos de projeto e de seleção de materiais. Praticamente todos os tipos de materiais podem ser utilizados em *designs* diferentes, para uma mesma função, em um mesmo local (e todos sofrerão al-

terações conforme uma série de fatores dinâmicos). Em Arquitetura e Urbanismo, geralmente não se desenvolvem materiais ou processos só para atender a algum problema específico, mas se restringem novas soluções aos materiais e técnicas disponíveis no local do problema. Muitas vezes, empregam-se, com pequenas adaptações, materiais que foram desenvolvidos para outros usos e problemas. Há projetos elaborados para certas funções que, após pequenas adaptações, passam a funcionar em atendimento de outras funções para as quais não foram planejados (por exemplo: um galpão que vira residência ou uma residência que vira escritório). Nesses casos, *design*, materiais e técnicas foram conjugados para certas funções, mas acabam atendendo satisfatoriamente a outras funções, não consideradas à época do projeto e da seleção de materiais. Devido à interligação da seleção de materiais com o *design* e o processo de projeto arquitetônico, às vezes, a melhor solução passa mais pela modificação do *design* do que pela substituição dos materiais especificados. A melhor solução final deve se valer tanto da otimização das disponibilidades de *design* quanto da criação e, ou, seleção de novos materiais e técnicas. Quando ocorre qualquer erro de seleção de materiais e processos num projeto de Arquitetura e Urbanismo, mesmo que esse problema, diante de todo o dinamismo de variáveis, só seja descoberto após a execução do projeto, os arquitetos serão responsabilizados pelas más opções de projeto que fizeram. Nesses casos, esses arquitetos não poderão estender a culpa por suas más seleções de materiais às características dos materiais selecionados, nem aos executantes, cuja função não é selecionar materiais em plena obra ou execução. A maioria dos *designers*, arquitetos e urbanistas contatados desde 1997, apesar de admitir que entende pouco da seleção de materiais e processos, admite também que não procura a consultoria de profissionais especializados nisso. Possivelmente porque os problemas de seleção de materiais não se resumem às informações “pré-projetuais”. Por sua vez, os engenheiros consultores procurados por arquitetos normalmente colaboraram com boas soluções para os problemas apresentados, desde que os problemas pudessem ser claramente explicitados. Mas isso só pode ocorrer num estágio avançado do projeto, o que, por sua vez, só pode ocorrer após a materialização, mesmo que seja de um erro de projeto. Se, por um lado, os problemas de materiais em projetos de Arquitetura e Urbanismo são de difícil definição, por outro, os arquitetos sempre podem mudar de rumo no *design*, em vez de tentar definir claramente suas dúvidas com os materiais de construção.

Nota-se uma argumentação falaciosa no método Ashby, pelo menos quanto ao processo de projeto em Arquitetura e Urbanismo, em relação ao levantamento prévio de todas as condições de uso dos componentes de um projeto. Pode-se duvidar que essa condição fosse regra (geral ou particular) até mesmo na Engenharia Mecânica. A julgar pela capacidade técnica genérica desses campos profissionais, as dificuldades não devem estar na compreensão dos problemas técnicos e sim no estabelecimento de metodologias de trabalho. Talvez o principal obstáculo dos atuais métodos de seleção de materiais esteja não só em pretender eliminar as dúvidas, mas em querer

tirar conclusões simples de questões complexas como as do processo de projeto e execução/construção. Talvez a seleção de materiais seja apenas uma etapa complexa de projeto que prescindia de tanto determinismo quanto sugere o método Ashby entre outros.

Novas possibilidades de resolução da questão

Ashby e Johnson (2004, p. 124), baseados em evidências psicológicas não esclarecidas, resumiram a seleção de materiais para *designers* em dois tipos de raciocínio, o dedutivo e o indutivo. Admitindo que informações de projeto em Arquitetura e Urbanismo possam ser imprecisas demais para serem utilizadas no método Ashby. De certo modo, admitindo a inadequação de seu método para *designers* e arquitetos, sem sequer descrever o método Ashby original, no seu livro de 2004, dirigido a designers, Ashby e Johnson definiram quatro tipos complementares de seleção de materiais e técnicas (2004, p. 124-133):

- seleção por análise (raciocínio dedutivo): que, em grande parte, reflete o método Ashby original (2004, p. 124-125), em quatro etapas de tradução, identificação, triagem e análise dos requerimentos técnicos em relação às propriedades dos materiais;
- seleção por síntese (raciocínio indutivo): baseada no empirismo e na seleção de soluções análogas num banco de dados com estudos de caso. Ainda requerendo uma tradução técnica do desempenho desejado para comparação com um banco de dados com projetos resolvidos conforme outras circunstâncias;
- seleção por similaridade: analogia de materiais com projetos similares bem-sucedidos. Como no caso da seleção por síntese, nesse caso, também se comparam mecanicamente atributos (enciclopédicos ou empíricos) de materiais com requerimentos de projeto diferentes e não comparáveis, sem que se possam examinar todas as informações sobre todos os casos sendo comparados.
- seleção por inspiração (pensamento criativo): busca de ideias de projeto pela observação aleatória de imagens de produtos e materiais ou visitas a lojas e lugares similares. Se, por um lado, projetar por referências é um procedimento de projeto, por que fazer isso com referências aleatórias, em um limitado banco de dados?

Um dado processo de seleção de materiais pode estar “correto” segundo o método Ashby e, mesmo assim, a seleção supostamente “correta” de um material pode não se adequar ao desenvolvimento de um projeto, que provavelmente incluiria condicionantes não considerados por Ashby, por serem de um incompreensível caráter artístico (condicionantes não “predefiníveis”). Mas não se pode pretender escolher apenas os materiais que se enquadrem em condições supostamente ideais para uma seleção mecanicista; como se não se tratasse, acima de tudo, de fazer o melhor projeto, o mais bem-sucedido possível. Isso sempre incluirá a melhor seleção possível dos

materiais mais adequados ao projeto, mas não apenas sob aspectos exclusivamente técnicos e prescritivos. Mesmo que um projeto se resume à aplicação em Engenharia Mecânica, soa suspeito que uma teoria de seleção de materiais pretenda considerar praticamente só as características mecânicas de um projeto. Soa incoerente que essa teoria se pretenda abrangente em termos de *design* de produtos, cujos exemplos são apresentados como didáticos. Considerando que um material pode exercer diferentes papéis dentro no processo de projeto/execução/uso (técnico, funcional, estético, comportamental, etc.), a informação a ser disponibilizada para a seleção de materiais não pode depender do tipo de procedimento ou método sendo empregado. Outro aspecto interessante, limitador da seleção de materiais, é citado por Van Kesteren (2008, p. 144) que, em suas pesquisas, notou que arquitetos e *designers* se limitavam a materiais disponíveis em fornecedores tradicionais. Van Kesteren (200, p. 144) ainda nota a importância para os projetistas de manipular amostras dos materiais, coisa que nenhuma base de dados computadorizada pode suprir. Para exemplificar os diferentes tipos de aspectos a considerarem-se na seleção de materiais, basta lembrar que Ashby e Johnson mesmo chegam a falar sobre a “personalidade de um produto”. Como quantificar previamente a influência de um material na personalidade de um projeto ou obra?

Quadro 1 - Coincidência das evoluções do projeto e da seleção de materiais. Comparação entre a evolução de um projeto e a seleção dos materiais organizada numa taxonomia sobreposta em colunas às etapas de um projeto.

Processos de projeto					
Concepção Conceitual	Estudo Preliminar	Anteprojeto	Desenvolvimento	Detalhamentos	Especificações
Seleção de Materiais					
Reino dos Materiais	Família	Classe	Membro	Propriedades	Atributos
Materiais	Poliméricos Cerâmicos Metálicos Compósitos	Ligas ferrosas	Séries 1000	Densidade Custo Resistência Durabilidade Condutividade Resistividade Conformabilidade etc	Disponibilidade Fabricante Preço Mão de obra etc
		Ligas de cobre Ligas de titânio Ligas de alumínio 4000 Ligas de Níquel Ligas de zinco etc.	2000 3000 5000 6000 7000 8000		

Fonte: adaptação pelo primeiro autor de uma ilustração de Ashby (1998)

Em Arquitetura e Urbanismo, sempre há muitos aspectos fundamentais a considerar em qualquer projeto, tais como: aspectos culturais, sensoriais, sociais, econômicos, políticos, etc. Ashby e Johnson reconhecem isso lembrando, por exemplo, que os ideais culturais, temporais e estéticos de asiáticos são diferentes dos ideais de europeus (ASHBY; JOHNSON,

2004, p. 27). Ou seja, não há como a seleção de materiais não estar ligada tanto às definições fundamentais quanto à evolução do projeto. Não há como a seleção de materiais ser relativa apenas a complementações e detalhamentos técnicos, mecânicos ou físico-químicos, daquele projeto. Não há como fazer especificações técnicas finais sem ter essas definições fundamentadas no processo evolutivo do projeto. Pelo menos não em um projeto na área de Arquitetura e Urbanismo, a seleção de materiais não pode se resumir a uma mera competição simplista entre propriedades e características dos materiais, mediante tabelas genéricas (nunca tão específicas quanto deveriam ser diante das peculiaridades de cada projeto). Não se pode proceder a uma seleção como se os materiais fossem entidades independentes do projeto; como se os materiais apenas cumprissem requerimentos mecânicos ou físico-químicos; se, como diz Ashby, materiais e processos não viessem, justamente, “incorporar” o conceito (o *design*) que integra o projeto na realização de uma solução. Como se os materiais não representassem a própria essência (a materialização) do projeto.

Análise conclusiva

Considerou-se, pois, a tese de que a seleção de materiais e processos, nos projetos para o ambiente construído, pode fundamentar a evolução do projeto. Essa fundamentação pode evoluir por todas as fases do processo de projeto, realização ou construção, inclusive após o projeto e a obra, na reforma, descarte, etc. Uma seleção de materiais e processos, para ser bem-sucedida, mesmo que limitada a uma concepção inicial, também deve considerar a evolução do projeto em longo prazo, até às fases posteriores à implantação inicial. Assim, também em termos de características mecânicas ou físico-químicas da seleção de materiais, devem se selecionar os melhores materiais não só para as circunstâncias de um projeto, mas para as condições de manutenção, de reforma, de descarte e, ou, substituição de componentes, etc. (outras etapas de uso ou serviço do que quer que tenha sido projetado). A evolução de uma realização faz parte da evolução do projeto dela. Propõe-se, assim, que a seleção de materiais e técnicas pode se inserir de modo indutivo no processo de desenvolvimento de uma solução ideal para um dado problema, considerando suas condições de longo prazo no ambiente construído. Isto é: a seleção de materiais e técnicas construtivas deve não só fundamentar, mas evoluir com o processo de projeto, obra ou construção, uso ou serviço, reforma ou descarte, etc. Essa fundamentação se refere a orientar a evolução do projeto como um todo e não a servir de base só para uma etapa qualquer do projeto, devendo ser, portanto, uma fundamentação pedagógica.

Referências

ASHBY, M. F.; JONES, D. R. H. **Engineering materials: an introduction to their properties and applications.** (2v). Oxford: Pergamon Press, 1980.

ASHBY, Mike; JOHNSON, Kara. **Materials and design: the art**

and science of materials selection in product design. (reimp.). Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

ASHBY, Michael. **Cambridge Engineering Selector (CES3) software**. Cambridge, UK: Granta Design Limited, 1998.

ASHBY, Michael. **Materials selection in mechanical design**. Oxford: Pergamon Press, 1992.

ASSUNÇÃO, Rogerio Braga de. **Eco-design e seleção de materiais para mobiliário urbano**. 1999. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Redemat-UFOP/Cetec/UEMG, Ouro Preto, 2000.

BUDINSKI, Kenneth G. **Engineering materials: properties and selection**. 5. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

CALLISTER JUNIOR, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002

DIETER, George. **Engineering design: a materials and processing approach**. New York: Mc-Graw Hill, 1991.

DIETER, George. Overview of the materials selection process. In: ASM International. **ASM Handbook: materials selection**. materials park. (v. 20). Ohio: ASM International, 1997, p. 7-15.

FARAG, Mahmoud. **Selection of materials and manufacturing processes for engineering design**. London: Prentice Hall, 1991.

FERRANTE, Maurizio. **Seleção de materiais**. São Carlos: Editora da UFSCar, 1996.

GRANTA DESIGN. **Site promocional do software CES Edu-Pack 2013**. Disponível em: <<http://www.grantadesign.com/education/events/2013/edupack2013.htm>>. Acesso em: 30 jun. 2013.

LEROI-GOURHAN, André. **Milieu et techniques + l'homme et la matière**. Paris: Albin Michel, 1945. (Collections Sciences - Sciences Humaines).

SILVA JUNIOR, Maurício Guilherme. Movidas pela dúvida. **Minas Faz Ciência**, n. 52, p. 6-11, dez.-fev. 2013.

TRETHEWEY, K. R. et al. Development of a knowledge-based system for materials management. **Materials and Design**, Amsterdam, v. 19, n. 1-2, fev. 1998.

VAN KESTEREN, I.E.H. Product designers' information needs in materials selection. **Materials and design**, n. 29, p. 133-145, 2008. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/mat-des>. Acesso em: 30 jun. 2013.

Endereços dos autores

Rogerio Braga de Assunção
CP 864 - Bairro Iguazu
35162-971, Ipatinga-MG, Brasil
Telefone: (31) 9984-3242
E-mail: gegeca@unilestemg.br

Adilson Rodrigues da Costa
DEMET/UFOP Campus do Morro do Cruzeiro
35400-000, Ouro Preto-MG, Brasil
Telefone: (31) 3559-1561
E-mail: adilson@em.ufop.br