

Sistema de classificação e seleção dos materiais: leitura integrada de amostras físicas e catálogos virtuais em materioteca com ênfase na aplicação da ferramenta FEM e análise da sustentabilidade

Lisiane Ilha Librelotto, Paulo César Machado Ferroli

A quantidade de materiais disponíveis para os projetistas de produtos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. Novas formulações, blendas, compósitos e aditivos, além das conquistas decorrentes da nanotecnologia e dos modernos processos de fabricação contribuem para esse incremento contínuo. A correta classificação e disponibilização de dados virtuais e físicos auxiliam no processo de seleção de materiais. O presente artigo mostra um sistema de classificação integrada mediante o uso do leitor de código de barras disponíveis para sistemas android (códigos QR). A leitura dos códigos em amostras físicas são direcionadas às informações técnicas do referido material disponíveis no website da materioteca.

Palavras-chave: Materiais; Códigos QR; Materioteca; Sustentabilidade

System of classification and selection of materials: integrated reading of physical samples and virtual catalogs in materials library - emphasis on the application of FEM tool and sustainability assessment

The amount of materials for designers to use in their projects has greatly increased in the last years. New formulations, new blends, new composites, new additives, and the achievements of nanotechnology and modern manufacturing processes contribute to this continuous increase. The correct classification and virtual and physical data provision assist in the materials selection process. This paper shows an integrated system classification by using the barcode reader available for android systems (QR codes). Reading the codes in material samples are directed to the materioteca website. On the website the designer get the technical information for this material.

Keywords: Materials; Reading codes; Materioteca; Sustainability

1. Introdução

A seleção de materiais faz parte do trabalho usual dos designers. A quantidade de materiais disponíveis para uso dos projetistas tem aumentado consideravelmente. Novas formulações, blendas, compósitos e aditivos, além das conquistas decorrentes da nanotecnologia e dos modernos processos de fabricação, contribuem para esse incremento contínuo.

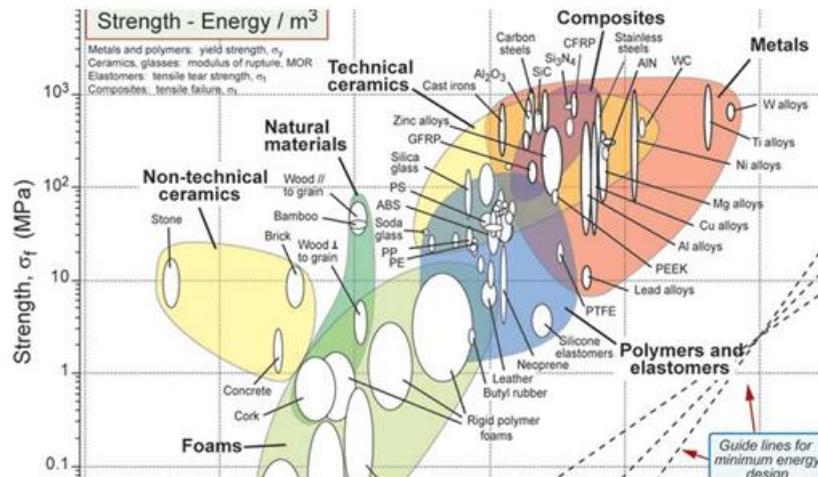
Escolher o material para tornar o projeto real sempre esteve entre os grandes desafios do designer. No passado, dois fatores eram determinantes para a escolha: (1) a trabalhabilidade era essencial para o artesão; (2) a escolha dos materiais estava condicionada a oferta regional e ao conhecimento de quem projetava o produto. Hoje, a tecnologia de fabricação praticamente anula toda e qualquer limitação projetual. Obviamente, restrições orçamentárias, tecnológicas e/ou a disponibilidade da mão-de-obra na região, requerem atenção especial por parte do projetista e continuam a compor fatores limitantes importantes. Estes, somados à oferta de materiais diferenciados, acabam por criar dúvidas e indefinições de diversos níveis mediante a definição da composição final dos materiais para o produto projetado.

Na academia, diversos são os métodos e ferramentas desenvolvidos para auxiliar nesta tarefa. Dias (2009) apresenta uma extensa lista desses. Esta inclui desde abordagens sistemáticas quantitativas desenvolvidas por projetistas com formação essencialmente técnica, como engenheiros mecânicos, civis e de materiais, até abordagens mais generalistas, com ênfase qualitativa, desenvolvidas por profissionais oriundos das áreas de ciências sociais aplicadas ou engenharia de produção.

Os métodos desenvolvidos na academia, ao serem aplicados na prática, apresentam dois pontos negativos: (1) a demasiada quantidade de dados necessários para obtenção de um resultado, tornando o processo muito demorado; (2) a complexidade envolvida, tanto na entrada dos dados quanto na apresentação dos resultados, que são apresentados por meio de gráficos de leitura criteriosa e pouco objetivos.

Mesmo levando em consideração *softwares* modernos e reconhecidos no mercado (tanto acadêmico quanto industrial/empresarial), como por exemplo o Granta Design, (<https://www.grantadesign.com/education/edupack>), mostrado de forma ilustrativa na figura 1, verifica-se que o entendimento dos gráficos resultantes nem sempre são fáceis e dedutíveis para usuários que não possuem conhecimento avançado em materiais.

Figura 1. Imagem ilustrativa do software Granta Design. Fonte:Granta Design 2016.



Na imagem percebe-se o uso da composição química para identificar determinados materiais. As bolhas procuram identificar os materiais que apresentam certas propriedades desejadas ou especificadas pelos projetistas, dentro dos grupos de classificação dos materiais. O entendimento do gráfico por profissionais sem especialidade na área de materiais ou de química dos materiais pode se tornar complexo.

Os softwares para escolha de materiais são adequados para usuários com conhecimento prévio suficiente para efetuar análises multidimensionais de materiais, ou que estejam projetando produtos com *know how* estabelecido. Para projetistas iniciantes, ou produtos com conceitos inteiramente novos, é preciso uma ferramenta mais objetiva, com menor quantidade de dados de entrada e com resultados finais essencialmente quantitativos, ou seja, numéricos, favorecendo a tomada de decisão. Os resultados iniciais obtidos desta forma podem ser utilizados então em softwares mais avançados, como o Granta Design, reduzindo o tempo de inclusão de dados e também minimizando a quantidade de opções.

Da análise dos softwares para escolha de materiais e considerando-se os problemas relatados para a escolha e seleção de materiais, decorre o objetivo deste pesquisa, cujos resultados são relatados neste artigo: disponibilizar na materioteca os resultados da análise de materiais através de ferramenta de auxílio projetual para seleção de materiais de aplicação rápida e objetiva, com inclusão simplificada de dados, tendo por resultado valores numéricos quantitativos, que permitam uma análise comparativa entre materiais concorrentes.

O resultado aqui apresentado envolveu, inicialmente, a aplicação de um método para escolha de materiais denominado MAEM-6F (FERROLI, 2009). O referido método foi

aplicado durante seis semestres letivos em disciplinas da graduação de cursos de Design Industrial e Design de Produto, originando simplificações e ajustes. O know how dos autores e experiência na aplicação da método, justificou a escolha deste método em relação a outras alternativas. O método modificado resultou em uma ferramenta, com menor quantidade de itens nas tabelas e resultados mais objetivos. A ferramenta foi denominada de FEM - Ferramenta auxiliar para Escolha de Materiais e publicada em Librelotto e outros (2012).

Com o desenvolvimento do projeto Materioteca com Ênfase na Sustentabilidade, publicado em Ferroli e outros (2015), iniciou-se estudo para integração entre as amostras físicas da materioteca com o conteúdo virtual disponível no site. Ao se efetuar a leitura na amostra física mediante sistema de códigos (Códigos QR), todas as informações catalogadas sobre o referido material são carregadas automaticamente em uma planilha. Uma vez selecionados os materiais a ser comparados, o sistema correlaciona as tabelas de informações dos materiais com as tabelas da ferramenta FEM, fornecendo ao projetista um valor numérico quantitativo que permite uma análise comparativa rápida e de fácil entendimento.

O presente artigo mostra as etapas de desenvolvimento do sistema integrado de códigos das amostras físicas com as informações técnicas qualitativas e quantitativas disponíveis no site da materioteca.

2. Materioteca - histórico

De acordo com Ashby & Johnson (2012), o processo de escolha (seleção) de materiais não pode ficar restrito a atributos técnicos relacionados ao desenvolvimento de produtos. A evolução dos conceitos relacionados ao meio-ambiente, principalmente após os eventos da Rio + 20, com a publicação do documento "Nosso Futuro Comum" (<http://www.rio20.gov.br/> - Bruntland, 1987) trouxe à tona a necessidade do emprego de materiais provenientes de recursos naturais renováveis e da substituição de matérias-primas agressivas ao meio ambiente. Esses fatores impactam também na reciclabilidade, possibilidade de reaproveitamento e aumento da vida útil do produto.

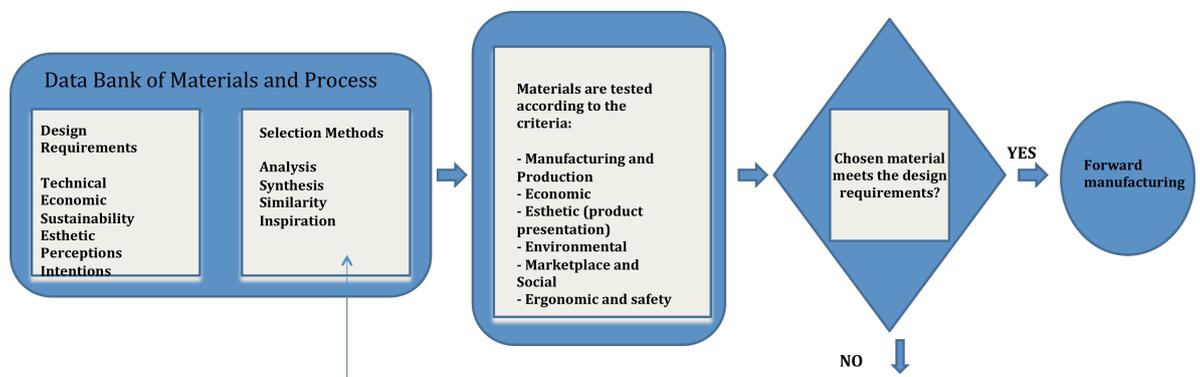
Conforme Barauna e outros (2015), atualmente a seleção de materiais leva em consideração os seguintes fatores: métodos de produção, demanda funcional e estrutural, demandas do mercado e do usuário, preço, impacto ambiental, tempo de vida, tendências, moda, consumo, reputação e cultura. Boa parte desses critérios são essencialmente qualitativos, dificultando a tomada de decisão.

O uso de materiotecas é tido como sendo fundamental no processo de escolha de materiais em um produto. De acordo com Van Kesteren (2008), quatro necessidades básicas foram apontadas por projetistas europeus para uma correta tarefa de seleção de

materiais: informações comparáveis entre materiais de mesmo grupo ou similares, dados técnicos correlacionados aos problemas de projeto, detalhamento de informações e amostras físicas de materiais.

Da relação de métodos e ferramentas para seleção de materiais encontrada em Dias (2009), vários aspectos comuns podem ser destacados, dividindo-os em métodos de análise, síntese, similaridade e inspiração. Tais aspectos também são apontados por Ashby & Johnson (2012), que relacionam esses diferentes métodos de escolha de materiais com os requisitos de projeto, cuja interrelação necessita da alimentação constante de um banco de dados de materiais e processos. Em Librelotto e outros (2012) constam os critérios de seleção de materiais adotados para o método MAEM-6F, descritos na introdução deste artigo como ponto de partida do presente estudo (fatores estéticos e de estilo, fabris e produtivos, mercadológicos e sociais, financeiros, ergonômicos, ecológicos e ambientais e de segurança no produto). A figura 2 ilustra o procedimento adotado tendo por base o exposto até o momento.

Figura 2: Métodos e critérios para seleção de materiais



A figura 3 mostra, para exemplificação, uma das fichas técnicas da materioteca. Todas as fichas técnicas dos materiais que estão sendo catalogados seguem o mesmo padrão, tanto em termos de informações quanto em uniformidade visual. Inicialmente, como mostra a parte A da figura 3, as fichas de cada material apresentam uma breve introdução, focando na ACV (Análise do Ciclo de Vida). Seguem conceitos básicos, propriedades, características, um breve histórico do material e tipos principais, classificados de acordo com normas nacionais e internacionais. Conforme pode-se ver na parte B da figura 3, o Ciclo de Vida do material é construído em toda sua extensão (berço ao berço), buscando-se, na medida do possível, os dados de inventário dos materiais. Na parte final as fichas apresentam exemplos de uso em diversas áreas (Arquitetura, Engenharia, Design) e referências.

Figura 3: Exemplo das fichas usadas na materioteca (cerâmica vermelha) – site.



A listagem de materiais em permanente construção, disponível no site da materioteca, é composta por 18 quadros com a classificação dos materiais segundo grupos:

- Quadro 1: Madeiras naturais, transformadas e para revestimentos
- Quadro 2: Papéis (comum), cartões e papelão
- Quadro 3: Metais ferrosos (aços e ferros fundidos)
- Quadro 4: Metais não-ferrosos (ligas)
- Quadro 5: Materiais sinterizados – Metalurgia do pó
- Quadro 6: Polímeros - plásticos (commodities, de engenharia, de alta performance)
- Quadro 7: Polímeros - blendas
- Quadro 8: Polímeros – adesivos
- Quadro 9: Cimentos, concretos e agregados
- Quadro 10: Cerâmicas (comuns) e Vidros
- Quadro 11: Materiais naturais (bambu, gemas, pedras, couro, lã, e outros)
- Quadro 12: Fibras naturais (rami, sisal, juta, côco, etc.) e fibras artificiais
- Quadro 13: Borrachas naturais e sintéticas
- Quadro 14: Óleos e graxas
- Quadro 15: Tintas e vernizes
- Quadro 16: Materiais de nano tecnologia
- Quadro 17: Compósitos avançados
- Quadro 18: Materiais não incluídos anteriormente.

O quadro 1 traz a classificação inicial referente as madeiras. Estes quadros estão em constante atualização e alguns materiais podem ser encontrados, dependendo da fonte consultada, com diferentes e divergentes classificações. A classificação adotada pelos

autores diverge conforme sua formação básica, nacionalidade ou mesmo da região de atuação profissional considerada. É comum, em materiais, o emprego de expressões regionais. Por exemplo: alguns autores classificam madeiras nos materiais naturais, enquanto que outros preferem colocá-las em um grupo à parte. Da mesma forma, alguns autores colocam cerâmicas comuns e avançadas em um mesmo grupo e há também diferenças significativas quanto à classificação dos plásticos. Procurou-se usar na materioteca a classificação mais frequentemente, considerando artigos científicos, bibliografias e catálogos de fornecedores e fabricantes. Por exemplo, plásticos commodities é uma denominação encontrada usualmente em publicações comerciais e se refere a plásticos de uso geral (PP - Polipropileno, PE- Polietileno, PS-Poliestireno, PVC – Policloreto de Vinila e PET - Politereftalato).

Quadro 1: Madeiras naturais, transformadas e para revestimento.

Fonte: <http://materioteca.paginas.ufsc.br/>

GE- RAL	GRUPO	SUB-GRUPO	TIPOS	PRINCIPAIS USOS
Madei- ras	Naturais	Coníferas (Gimnospermas)	Pinus, Cipreste, Cedrinho, Zimbros	Para uso interno: móveis, peças torneadas, forros, baús, utensílios diversos
		Coníferas (Gimnospermas)	Pinus autoclavado, Cedro, Pinheiro, Sequoia	Para uso externo: construção civil, mobiliário urbano
		Frdosas (Angiospermas)	Pau-marfim, Peroba-rosa, Canela, Amendoim, Imbuia, Cedro, Cerejeira, Uva do Japão,	Uso interno privado, folhas decorativas, móveis, construção civil, instrumentos musicais, torneados
		Frdosas (Angiospermas)	Canela, Imbuia, Cerejeira, Cinamomo, Jacarandá, Angelim, Bétula	Para uso interno compartilhado (mobiliário condominial):
		Frdosas (Angiospermas)	Garapeira, Imbuia, Angelim, Bugre, Bétula	Para uso externo: mobiliário urbano, decks, pergolados, janelas, portas
	Transformadas	Madeira compensada	Compensado laminado, compensado sarrafiado, MDP	Móveis simples, sem curvas e usos internos, utensílios diversos, embalagens, portas, janelas
		Madeira compensada	Compensado naval, chapadura	Construção civil, mobiliário urbano, externo, condominial, partes estruturais
		Madeira reconstituída inflada (núcleo de espuma PU, EPE)	<i>Softboard</i> (leves)	Isolamento térmico, isolamento acústico produtos, proteção
			<i>Hardboard</i> (pesadas)	Móveis para uso interno, isolamento acústico construção civil e construção industrial
		Madeira aglomerada	Aglomerado de partículas (aglomerado BP, aglomerado especial)	Móveis, construção civil (lambris, pisos)
		Aglomerado de fibras de média densidade - MDF	<i>Standard</i> (MDF ST)	Móveis, brinquedos, embalagens, caixas
			Resistente à umidade (MDF MR)	Móveis de cozinhas e banheiros, portas, janelas, soalhos, rodapés
			Retardante à chama (MDF FR)	Mobiliário de hotéis, casas noturnas, mobiliário condominial
	De alta densidade (MDF HD)	Soalhos, escadas, cadeiras, mobiliário infantil e de escolas		
	OSB	OSB 3, OSB 4	Mobiliário, tapumes, parte interna de móveis (sofás e estofados em geral), proteção acústica	
	Para revestimentos	<i>Finish foil</i> (FF)	Folha decorativa para laminação em painéis de madeira	Proteção e função estética
		Baixa pressão (BP)	Decalque prensado a quente	
		Folhas de madeira (WV)	Lâminas de madeira coladas sobre o material	
Melamina formaldeído		Fórmica (MF)		

A classificação dos materiais foi realizada tendo por base as seguintes normas técnicas: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); NT CSN (Norma Técnica CSN); NBR (Norma Brasileira); NM (Norma Mercosul); SAE (Society of Automotive Engineers); ASTM (American Society for Testing and Materials); API (American Petroleum Institute); EN (Euro Norme); DIN (Deutsche Institut für Normung); BS (British Standard); SEW (Material Specification by Organization of the German Iron and Steel Industry); JIS (Japanese Industrial Standards) e AS (Australian Standards).

3. Processo de leitura integrada na materioteca

No processo de catalogação dos materiais, após a construção dos quadros classificatórios, a etapa seguinte envolveu a classificação das amostras, identificando-as de acordo com os quadros correspondentes. Nesta etapa foram listadas amostras faltantes e procurou-se estabelecer um padrão físico para todas as amostras, com dimensões adequadas para cada grupo.

Como se observa na figura 4, usada para exemplificação, as amostras de madeiras possuem todas o mesmo tamanho (perímetro e espessura). Quando possível, amostras de materiais pertencentes a outros grupos também foram fabricadas com as mesmas medidas (comprimento, largura e espessura), como o caso da amostra do bambu que aparece na parte B da figura 4).

A uniformidade física das amostras facilita observações por parte do usuário, como por exemplo, o peso relativo entre um tipo de material e outro. A parte A da figura 4 mostra diversos tipos diferentes de madeiras naturais e transformadas. O designer pode, pela simples experimentação tátil, comparar características próprias de cada material, como peso relativo, textura, cor, dureza superficial, e outros.

No caso mostrado na parte B da figura 4, verifica-se outra vantagem, como a possibilidade de comparação entre a seção transversal de materiais diversos. Na imagem percebem-se, na sequência, amostras de madeira natural Teca, madeira transformada compensada laminada, madeira transformada compensada sarrafiada, madeira natural Cinamomo, madeira transformada do tipo OSB e material natural: bambu.

Figura 4: Amostras físicas da materioteca

A - Tamanho padrão escolhido para as amostras de madeiras.



B - Seção transversal, em ordem: Teca, Compensado laminado, Compensado sarrafiado, Cinamomo, MDF, OSB e Bambu.



A identificação de cada material ocorre pelo sistema de codificação simples do sistema Android, o Código QR (Quick Response), um código de barras bidimensional. O uso de códigos QR é livre de qualquer licença, sendo definido e publicado como um padrão ISO. Para usá-lo, basta posicionar o celular na amostra e conectar ao site da materioteca na internet. A ficha técnica do material, que mantém sempre o padrão mostrado na figura 3, é carregada automaticamente. A figura 5 mostra dois exemplos de códigos gerados.

Figura 5: Códigos QR aplicado nas amostras



Baseando-se em Thompson (2015), a etapa conclusiva apresenta a análise da sustentabilidade relativa do material em questão, em comparação com outros que poderiam ser usados para o mesmo propósito. Para isso, está sendo elaborado, para todos os materiais relacionados nos quadros de 1 a 18 e disponibilizados na materioteca, valores quantitativos, que remetem aos seguintes critérios: disponibilidade, durabilidade, reciclabilidade, biodegradabilidade, impacto energético, índice de poluição e impacto de resíduos. O quadro 2 ilustra o processo mostrando o grupo das madeiras e plásticos, englobando madeiras naturais, madeiras transformadas, plásticos commodities e alguns plásticos de engenharia.

No comparativo final, em processo de informatização e ainda não foi disponibilizado ao público, propõem-se correlacionar os dados oriundos da aplicação da FEM com os resultantes da aplicação demonstrada no quadro 2 mediante a leitura por código de barras direta das amostras.

Na ferramenta FEM, a partir de um conjunto de questões que desdobram os 6F (Fatores), o usuário recebe valores finais quantitativos para cada fator considerado (fabril, estético, ergonômico, ecológico, etc.) que permite uma rápida comparação entre possíveis materiais para o projeto em desenvolvimento. Assim, para uma das questões relativas ao fator fabril: a empresa possui máquinas para fabricação do produto, utilizando este

material, em seu parque fabril? - existem 3 alternativas de respostas: a) 80 a 100% das máquinas necessárias estão disponíveis no parque fabril; b) 50% a 79% das máquina necessárias fazem parte do parque fabril e c) menos de 50% das máquinas fazem parte do parque fabril.

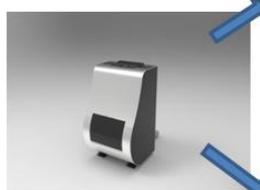
Quadro 2. Critérios de análise comparativa entre materiais

MADEIRAS NATURAIS	DISPONIBILIDADE	DURABILIDADE	RECICLABILIDADE	BIODEGRADABILIDADE	IMPACTO ENERGÉTICO	ÍNDICE DE POLUIÇÃO	IMPACTO DE RESÍDUOS
CONÍFERAS (Pinus, Cipreste, Cedro, Zimbro)	8	8	8	10	2	2	1
FRONDOSAS 1 (Peroba, Canela, Garapeira, Angelim)	8	8	8	10	3	2	1
FRONDOSAS 2 (Cerejeira, Pau-marfim, Jacarandá, Mogno)	5	9	8	10	4	2	1
MADEIRAS TRANSFORMADAS	DISPONIBILIDADE	DURABILIDADE	RECICLABILIDADE	BIODEGRADABILIDADE	IMPACTO ENERGÉTICO	ÍNDICE DE POLUIÇÃO	IMPACTO DE RESÍDUOS
COMPENSADOS, AGLOMERADOS, OSB, MDF, MDP	8	9	6	7	6	4	3
MADEIRA RECONSTITUÍDA INFLADA (com PU, EPE, etc.)	7	9	4	4	6	6	5
MADEIRAS PARA REVESTIMENTOS (FF, BP, WV, MF)	7	9	4	5	5	5	6
PLÁSTICOS COMMODITIES	DISPONIBILIDADE	DURABILIDADE	RECICLABILIDADE	BIODEGRADABILIDADE	IMPACTO ENERGÉTICO	ÍNDICE DE POLUIÇÃO	IMPACTO DE RESÍDUOS
GRUPO PE (POLIETILENOS): PEAD, PEBD, PEMD, PEL	8	8	8	2	8	6	5
GRUPO PP (POLIPROPILENOS)	8	7	8	2	7	6	5
GRUPO PS (POLIESTIRENOS)	8	7	7	3	8	7	6
GRUPO PET	8	9	8	2	7	8	6
GRUPO PVC	8	8	8	2	8	8	6
PLÁSTICOS DE ENGENHARIA	DISPONIBILIDADE	DURABILIDADE	RECICLABILIDADE	BIODEGRADABILIDADE	IMPACTO ENERGÉTICO	ÍNDICE DE POLUIÇÃO	IMPACTO DE RESÍDUOS
GRUPO POLICARBONATO (PC)	8	9	7	2	7	7	5
GRUPO POLIACETAL (POM)	8	9	7	2	7	7	4
GRUPO TEFLON (PTFE, FEP)	6	9	5	1	8	7	6
GRUPO ACRÍLICOS (PMMA)	8	8	8	2	7	7	5

A opção de resposta pela alternativa a) pontuará 3 pontos a favor do material, pela alternativa b, pontuará 2 pontos e pela alternativa c) pontuará 1 ponto. Assim, na figura 6, apresentam-se os 6 Fatores (e as questões/desdobramentos em número de até 13 perguntas para cada fator); a pontuação da alternativa de resposta escolhida pelo projetista para cada questão (A.E.); o peso de cada questão, representado por P.F. que pode ser atribuído pelo projetista em uma escala de 1 (fraco) a 3 (forte) e, por fim, a multiplicação do peso da alternativas escolhida (A.E) pelo peso atribuído à questão (P.F.) posicionado na coluna P x A.

Conforme a figura 6, os valores numéricos são fornecidos individualmente (para cada fator) e após somados. Isso possibilita ao designer verificar qual fator está tendo maior influência na análise final. A figura 6 mostra também a aplicação da FEM em um projeto analisando-se dois possíveis materiais para uma parte do produto: PC - Policarbonato (Lexan) ou vidro alcalino. O resultado da aplicação da ferramenta aponta para a escolha do Lexan que obteve a maior pontuação em um total de 319 pontos. Na prática outros materiais foram testados, entretanto neste artigo demonstra-se apenas dois casos para esclarecer a aplicação da ferramenta.

Figura 6. FEM aplicada para escolha dos materiais do produto.



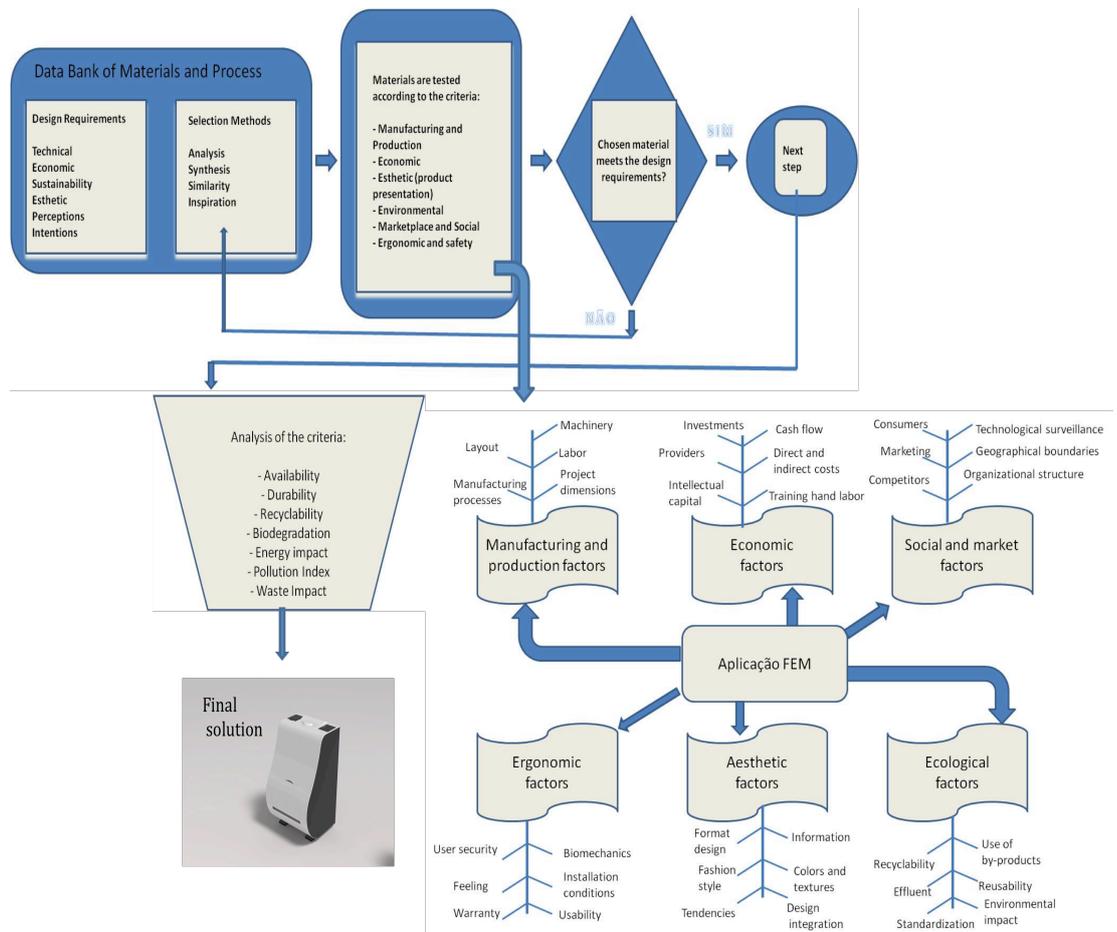
FEM: Ferramenta para Escolha de Materiais. Planilha de análise de materiais.																			
Material analisado:			Grupo: Polímero						Sub-grupo: plástico industrial do tipo policarbonato - Lexan										
FATORES	Fatores fabris			Fatores sociais			Fatores econômicos			Fatores estéticos			Fatores ergonômicos			Fatores ambientais			
QUESTÕES	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	
1	1	1	1	2	1	2	3	3	9	2	2	4	2	2	4	3	3	9	
2	3	1	3	2	1	2	2	3	6	2	2	4	2	2	4	3	3	9	
3	1	1	1	3	1	3	2	3	6	2	2	4	3	2	6	3	3	9	
4	2	1	2	3	1	3	2	3	6	2	2	4	3	2	6	3	3	9	
5	1	1	1	2	1	2	3	3	9	3	2	6	3	2	6	3	3	9	
6	2	1	2	3	1	3	2	3	6	2	2	4	3	2	6	3	3	9	
7	1	1	1	2	1	2	2	3	6	3	2	6	3	2	6	3	3	9	
8	2	1	2	3	1	3	2	3	6	3	2	6	3	2	6	3	3	9	
9	3	1	3	2	1	2	3	3	9	3	2	6	3	2	6	2	3	6	
10	1	1	1				2	3	6				3	2	6	2	3	6	
11	2	1	2				2	3	6				3	2	6	2	3	6	
12	2	1	2				1	3	3										
13	2	1	2																
TOTALIZAÇÃO			23			22			78			44			62			90	319

FEM: Ferramenta para Escolha de Materiais. Planilha de análise de materiais.																			
Material analisado:			Grupo: Vidros						Sub-grupo: vidro alcalino submetido ao processo de têmpera térmica										
FATORES	Fatores fabris			Fatores sociais			Fatores econômicos			Fatores estéticos			Fatores ergonômicos			Fatores ambientais			
QUESTÕES	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	A. E.	P. F.	P x A	
1	2	1	2	2	1	2	2	3	6	2	2	4	2	2	4	2	3	6	
2	3	1	3	2	1	2	1	3	3	3	2	6	3	2	6	2	3	6	
3	2	1	2	1	1	1	2	3	6	3	2	6	3	2	6	3	3	9	
4	2	1	2	1	1	1	1	3	3	3	2	6	1	2	2	3	3	9	
5	2	1	2	2	1	2	2	3	6	2	2	4	3	2	6	2	3	6	
6	2	1	2	3	1	3	3	3	9	3	2	6	3	2	6	3	3	9	
7	2	1	2	3	1	3	2	3	6	3	2	6	3	2	6	3	3	9	
8	2	1	2	3	1	3	2	3	6	3	2	6	3	2	6	3	3	9	
9	3	1	3	2	1	2	2	3	6	3	2	6	2	2	4	2	3	6	
10	3	1	3				1	3	3				3	2	6	2	3	6	
11	3	1	3				2	3	6				3	2	6	2	3	6	
12	3	1	3				2	3	6										
13	3	1	3																
TOTALIZAÇÃO			32			19			66			50			58			81	306

A ferramenta propicia análises individuais para cada um dos fatores. Desta forma o designer (ou equipe de projeto) tem liberdade de atender ou não a indicação do resultado. Por exemplo: em um produto, a liga ABNT 2024 (duralumínio) obteve 340 pontos e o aço inoxidável AISI 304 obteve 331. A liga de alumínio foi, portanto, indicada como melhor opção pela FEM. No entanto, em uma análise mais aprofundada, de uso do produto e do seu público-alvo, verificou-se que os fatores ergonômicos e os fatores sociais eram mais relevantes do que os fatores econômicos, por exemplo. O aço inoxidável obteve uma pontuação consideravelmente superior nestes dois quesitos. A equipe de projeto decidiu usar o aço, neste caso. É claro que no exemplo mostrado, a diferença de pontos era pequena. No caso de uma diferença significativa, apenas o valor total da FEM deverá ser considerado.

A figura 7 demonstra o processo completo, que integra a ferramenta FEM com as análises específicas da sustentabilidade. No caso a FEM funciona como um filtro, reduzindo a quantidade de materiais que iriam para a análise, deixando-a mais pontual, com foco nas três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental.

Figura 7: Processo completo de escolha de materiais integrando a análise da sustentabilidade á ferramenta FEM.



4. Conclusões

O procedimento de escolha de materiais integrando os seis fatores relacionados neste artigo exige uma abordagem multidisciplinar. A abordagem multidisciplinar é, hoje, uma necessidade, alicerçada pela sustentabilidade. Essa constatação pode ser verificada na maioria das publicações atuais sobre o tema, como por exemplo, em Santos e outros (2016). A sustentabilidade não é função ou problema de um grupo específico de profissionais. Diz respeito a todos, pois todos influenciam-na e são influenciados por ela.

O procedimento proposto neste artigo começa no momento em que o projetista define suas prioridades iniciais. Com isso, pode-se determinar, no projeto em questão, que os atributos ergonômicos são mais importantes do que os sociais, por exemplo. Cabe ressaltar que as prioridades dependem unicamente da equipe de projeto, sendo que é

recomendável estabelecer-se dois fatores como de alta prioridade, dois como de média prioridade e dois como de baixa prioridade. Não se deve ignorar nenhum dos fatores, o que remeterias a avaliações parciais em incompletas.

As tabelas foram construídas no excell, por isso, os valores numéricos são obtidos automaticamente, bastando que o usuário selecione a alternativa desejada em cada questão do quadro. O valor final determina qual o material mais adequado para cada parte do projeto. O designer pode usar a pontuação final (onde já está se considerando o grau relativo de influência de cada fator), ou avaliar os fatores separadamente. Resultados prévios, análise de produtos concorrentes ou mesmo nowhow estabelecido podem ser determinantes para essa análise. Expertise da equipe de projeto e consultoria específica também podem ter influência final.

A inclusão do sistema Quick Response facilitou a entrada dos dados, diminuindo o tempo gasto no preenchimento das questões. A última análise diz respeito a correlação entre os valores obtidos na FEM com a abordagem específica da sustentabilidade, analisada com o preenchimento do quadro auxiliar que tem por base os valores mostrados no quadro 2 deste artigo. Desta forma, completam-se as análises permitindo a avaliação integrada para seleção do material mais sustentável frente as alternativas de materiais consideradas. A etapa final permite a extração dos dados das fichas dos materiais catalogados pela materioteca, através dos seus códigos e inserção dos dados para o comparativo final.

A disponibilização dos dados na materioteca, tanto de materiais como das ferramentas permitirá aos projetista, do simples conhecimentos dos materiais, até o auxílio na seleção dos mesmos para emprego em seus projetos.

Referências

- ASHBY, Michael; JOHNSON, Kara. 2012. "Materiais e Design. - A arte ea ciência de Seleção de Materiais em Design de Produto". Rio de Janeiro: Campus.
- BARAUNA, Debora, RAZERA, Dalton Luiz, HEEMANN, Adriano. 2015. Seleção de Materiais no Design:
- Informações Necessárias ao Designer na Tomada de Decisão para a Conceituação do Produto. "Design & Tecnologia".
- Bruntland, G. H. (editor). Our Common Future: The World Commission on Environment and Development. Oxford : Oxford University Press. 398 pp. 1987. RIO + 20. Nosso Futuro Comum.. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/>. Acesso em Maio de 2016.

DIAS, Maria Regina Álvares Correia. 2009. "Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatus". EGC-UFSC. (Tese de doutorado).

FERROLI, Paulo Cesar Machado. 2009. "MAEM-6F (Método Auxiliar para Escolha de Materiais em Seis Fatores): Suporte ao Design de Produtos Industriais". São Paulo: Blucher Acadêmico - tese de doutorado - PPGEP-UFSC.

FERROLI, Paulo Cesar Machado; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. MATOS, Juliana Montenegro. 2015. Virtuhab Portal: Materioteca with Focus on Analysis of Sustainability in Design – Focussed on Residential Units. "Strategic Design Research Journal", 1984-2988, n. 8, p. 3-21.

GRANTA DESIGN. 2016. <https://www.grantadesign.com/education/edupack>. Acesso em Setembro de 2016.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; FERROLI, Paulo Cesar Machado; MUTTI, Cristine do Nascimento; ARRIGONE, Giovanni Maria. 2012. "A Teoria do Equilíbrio - Alternativas para a Sustentabilidade na Construção Civil". Florianópolis: DIOESC, 2012.

Materioteca de Produtos Sustentáveis. 2016. <http://materioteca.paginas.ufsc.br/>. Acesso em Agosto de 2016.

SANTOS, AGUINALDO DOS; CESCHIN, FABRIZIO ; MARTINS, SUZANA BARRETO ; VEZZOLI, CARLO. 2016. A design framework for enabling sustainability in the clothing sector. "Latin American Journal of Management for Sustainable Development", v. 3, p. 47.

THOMPSON, Rob. 2015. "Materiais Sustentáveis, Processos e Produção". São Paulo: SENAC.

VAN KESTEREN, I.E.H. 2008. Product designers' information needs in materials selection. "Materials & Design". v.29, n.1, p.133-145.

Sobre os autores

Lisiane Ilha Librelotto - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (1995), especialização em Gestão da Qualidade pela UFSM (1997), mestre e doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999, 2005). Professora Adjunta da UFSC, no curso de Arquitetura e Urbanismo e do PósARQ, onde orienta mestrados e doutorados. É organizadora e idealizadora do evento anual ENSUS - Encontro de Sustentabilidade em Projeto e editora do periódico Mix Sustentável. <lisiane.librelotto@ufsc.br>

Lisiane I. Librelotto, Paulo C. M. Ferroli . Sistema de classificação e seleção dos materiais: leitura integrada de amostras físicas e catálogos virtuais em materioteca com ênfase na aplicação da ferramenta FEM e análise da sustentabilidade

Paulo César Machado Ferroli - Engenheiro Mecânico pela UFSM, mestre e doutor em Engenharia de Produção pela UFSC. Atualmente é professor adjunto IV do CCE-EGR, curso de Design da UFSC e coordenador de extensão do Centro de Comunicação e Expressão. É organizador e idealizador do evento anual ENSUS - Encontro de Sustentabilidade em Projeto e editor do periódico Mix Sustentável. <pcferroli@gmail.com>