

# ENSINO DE ENGENHARIA: UMA VISÃO ESTRUTURADA E UNIFICADA

**Gustavo Ferreira Leonhardt<sup>1</sup>**

Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

Praça Mauá, 1

CEP 09589-900 - São Caetano do Sul - SP

<sup>1</sup>gleonhardt@maua.br

***Resumo:** A engenharia é uma profissão “quantitativa”. Recorrendo-se sempre da matemática, os engenheiros esforçam-se para entender, projetar e implementar processos e produtos. O sucesso das soluções dos problemas de engenharia requer a habilidade de descrever e analisar quantitativamente o comportamento dos processos e seus produtos. Isso pode ser feito empregando-se os princípios gerais de biologia, química e física e a linguagem matemática. No entanto, ao estudar processos e seus produtos, o engenheiro encontra dificuldades em analisá-los na sua forma natural de existência pela complexidade, por dificuldade de acesso, medição ou dos riscos e dos custos envolvidos. Procurando facilitar sua tarefa, a engenharia emprega diferentes formas de representação. Entre elas, a principal é o emprego de modelos dos processos e seus produtos. Eles permitem manipular e compreender as entidades estudadas em seus aspectos quantitativos e qualitativos. Considerando-se que todos os processos contêm componentes multidisciplinares, a habilidade interdisciplinar é uma característica do engenheiro que procura utilizar princípios integradores para a solução dos problemas. Essa habilidade geralmente ultrapassa as fronteiras das disciplinas tradicionais. O objetivo deste trabalho é o de se criar uma janela por meio da qual seja possível enxergar, de forma estruturada e unificada, os princípios que governam o universo da engenharia, estabelecendo a base e a estrutura para a obtenção de modelos matemáticos que possibilitem a análise de problemas.*

Palavras-chave: Ensino de engenharia, análise de problemas, modelagem.

## 1. INTRODUÇÃO

Entendendo tecnologia como a aplicação dos conhecimentos adquiridos pelo homem na solução de seus problemas, a engenharia pode ser entendida como a aplicação da tecnologia no projeto das soluções. Ou seja, a engenharia dá dimensão à solução dos problemas enfrentados por uma sociedade.

A engenharia é, portanto, uma profissão “quantitativa”. Recorrendo-se sempre da matemática os engenheiros esforçam-se para entender, projetar e implementar processos e produtos. O sucesso das soluções dos problemas de engenharia requer a habilidade de descrever e analisar quantitativamente o comportamento dos processos e seus produtos. Isso pode ser feito empregando-se os princípios gerais de biologia, química e física e a linguagem matemática. No entanto, ao estudar processos e seus produtos, o engenheiro encontra dificuldades em analisá-los na sua forma natural de existência pela complexidade, por dificuldade de acesso, medição ou dos

riscos e dos custos envolvidos. Procurando facilitar sua tarefa, a engenharia emprega diferentes formas de representação. Entre elas, a principal é o emprego de modelos dos processos e seus produtos. Eles permitem manipular e compreender as entidades estudadas em seus aspectos quantitativos e qualitativos.

Considerando-se que todos os processos contêm componentes multidisciplinares, a habilidade interdisciplinar é uma característica do engenheiro, que procura utilizar princípios integradores para a solução dos problemas de sua profissão. Essa habilidade geralmente ultrapassa as fronteiras das disciplinas tradicionais. O objetivo deste trabalho é o de se criar uma janela pela qual seja possível enxergar, de forma estruturada e unificada, os princípios que governam o universo da engenharia, estabelecendo a base e a estrutura para a obtenção de modelos matemáticos que possibilitem a análise de problemas.

## **2. BASE E ESTRUTURA DA MODELAGEM**

Os modelos matemáticos empregam uma linguagem simbólica para representar os componentes dos processos e suas inter-relações, buscando representações matemáticas para os vários atributos de um sistema. Um modelo matemático deve ser resolvido para que o comportamento da entidade representada possa ser analisado e entendido.

Compreendido dessa forma, é necessário ter em mente que um modelo não pode ser considerado uma representação real do processo sob análise. Ele funciona como um mapa. O mapa não é o território, mas a representação de certos aspectos do território. O modelo é isso, uma teoria, uma explicação de alguma coisa. A equação, ou conjunto de equações que compõem o modelo, também, representa uma aproximação do real. O modelo não pode incorporar todas as características — macroscópicas e microscópicas — do sistema sob análise. Cabe ao engenheiro buscar o nível de detalhes do modelo, investindo tempo e esforço no seu detalhamento, em função dos benefícios esperados de sua aplicação. Precisão e exatidão dependem do propósito do modelo.

Um modelo matemático pode ser empírico ou teórico — baseando-se ou não em fenômenos já conhecidos. Um modelo empírico baseia-se na relação funcional entre as variáveis dependentes e as independentes, sem base teórica para explicar essa relação. Por isso, os modelos empíricos devem ser empregados na faixa de variação em que os dados experimentais foram obtidos. Modelos teóricos baseiam-se nas leis de conservação e nas equações dos balanços de carga elétrica, massa, energia, quantidade de movimento e entropia, na termodinâmica e em outras relações já conhecidas como a lei da gravidade ou a representação matemática de outros fenômenos do domínio do conhecimento humano. Eles podem estar baseados em parâmetros macroscópicos ou em propriedades distribuídas e envolver aspectos diferenciais ou integrais do sistema analisado.

A engenharia, no projeto das necessidades da sociedade, busca formas de obter modelos que possam representar sistemas, processos e o comportamento dos produtos no mercado. Na Figura 1, representa-se a base e a estrutura da engenharia na análise de processos e produtos.

As equações dos balanços e as leis de conservação de massa, carga elétrica, quantidade de movimento linear, quantidade de movimento angular, energia e entropia constituem o coração e a alma da estrutura proposta, tornando-se a base da modelagem para a análise de processos e equipamentos. No entanto as equações dos balanços e as leis de conservação não esgotam as informações relativas aos processos. A matemática aplicada, as definições conceituais — tais como massa, pressão, temperatura, energia, trabalho, quantidade de movimento etc. —, as

propriedades dos materiais e as relações constitutivas têm um grande peso na base necessária ao processo de modelagem.

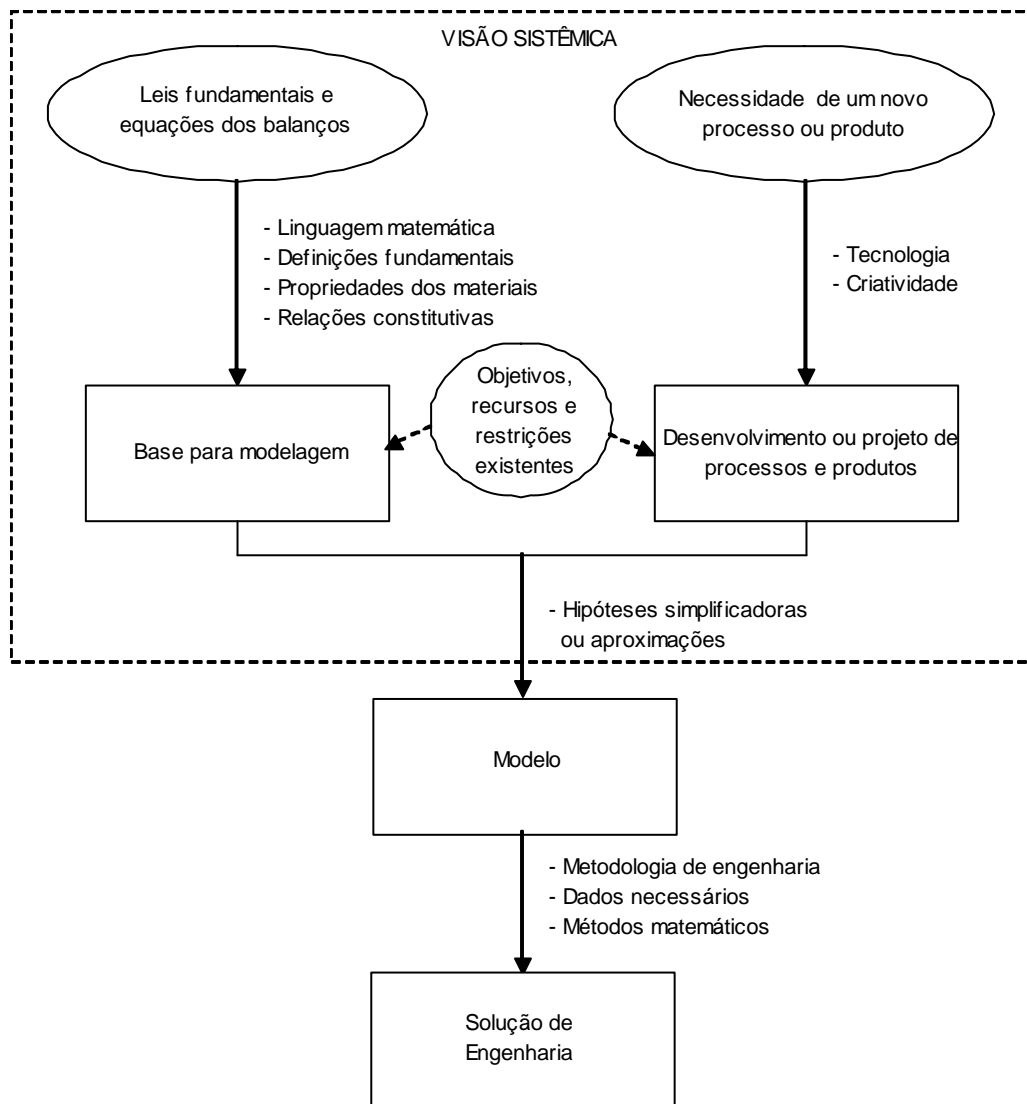


Figura 1 – Estrutura da Engenharia na análise de processos e produtos. Fonte: Adaptado de GLOVER *et al.* (1996)

Como se mostra na Figura 1, o modelo matemático que descreve quantitativamente o processo ou produto — conjunto de equações que representam as leis físicas, químicas ou biológicas e as propriedades dos materiais — deve ser resolvido por meio de métodos analíticos ou numéricos e a metodologia usual em engenharia — conjunto de procedimentos característicos da estrutura do pensamento de cada área dessa profissão. Para isso, tornam-se necessários dados que caracterizem os parâmetros do modelo. Combinando todas essas informações e a habilidade adquirida no manuseio de equações matemáticas, é possível solucionar o problema. Na maioria

dos casos, hipóteses simplificadoras ou aproximações devem ser feitas para que se obtenham soluções consistentes sem muita demora, nem esforço computacional.

Uma das características do trabalho do engenheiro, que compreende a metodologia de engenharia, é a de ser capaz de abordar problemas complexos transformando-os em mais simples, que possam ser resolvidos com exatidão e precisão desejadas num tempo reduzido e a um custo mínimo. No entanto um dos maiores erros de engenheiros inexperientes consiste em perder-se na complexidade do sistema. GLASSOCK e HALE (1994) propõem que a melhor regra a ser seguida na modelagem de sistemas é a 80-20. Ela estabelece ser possível obter 80% do resultado desejado trabalhando-se com 20% da complexidade do sistema.

### 3. EQUAÇÕES DO BALANÇO E LEIS DA CONSERVAÇÃO

Para se descrever quantitativamente um sistema é necessário trabalhar com propriedades mensuráveis. Em primeiro lugar é necessário identificar a grandeza que se deseja contar<sup>1</sup> — **uma propriedade extensiva** como massa, energia, carga elétrica etc. Em seguida, deve ser estabelecida a região do universo no interior da qual aquela grandeza será contada — **o volume de controle** ou sistema. Finalmente, deve ser estabelecido o **período de tempo** em que a contagem será feita. Fixados esses três elementos é possível estabelecer um modelo matemático que descreva quantitativa ou qualitativamente o sistema.

Uma descrição quantitativa de um sistema somente tem sentido para aquelas grandezas ou entidades que podem ser mensuradas. Este tipo de grandeza recebe o nome de propriedade extensiva. Entre as propriedades extensivas que podem ser quantificadas estão: massa, carga elétrica, quantidade de movimento linear, quantidade de movimento angular, energia e entropia. Essa é a razão pela qual a principal fonte de equações para modelos matemáticos são as equações do balanço e as leis de conservação dessas propriedades extensivas.

Para propriedades extensivas não-conservativas — como energia mecânica, energia térmica, entropia — ao considerar o sistema e o meio ambiente, não é possível afirmar que a quantidade recebida pelo sistema corresponde à quantidade fornecida pela vizinhança. Propriedades extensivas não-conservativas podem ser geradas ou destruídas. A segunda lei da termodinâmica estabelece que a variação de entropia do sistema e do ambiente, quando calculada em conjunto, está sempre aumentando. Se uma propriedade extensiva não-conservativa pode ser contada, sempre é possível estabelecer a equação do balanço correspondente. Essa equação pode ser de grande utilidade para o modelo desejado, mas não obedece ao princípio da conservação estabelecido pela teoria da relatividade, válido para massa e energia.

As leis de conservação somente podem ser escritas para aquelas propriedades extensivas que são conservativas. Poucas são as propriedades extensivas conservativas importantes: massa, carga elétrica, quantidade de movimento linear, quantidade de movimento angular e energia. Essa particularidade é que as torna tão especiais, permitindo que a engenharia empregue as leis de conservação dessas propriedades em conjunto com a segunda lei da termodinâmica para descrever a grande maioria dos sistemas empregados.

---

<sup>1</sup> No sentido de medir, determinar, calcular, prever, quantificar, computar, contabilizar.

## 4. RELAÇÕES CONSTITUTIVAS

A aplicação da equação do balanço e da lei de conservação, na maioria dos casos, não é suficiente para estabelecer as equações básicas de um modelo. Geralmente, o número de variáveis dependentes fundamentais é muito grande por isso torna-se impraticável obter todas as informações necessárias apenas aplicando-se as equações dos balanços, as leis de conservação ou outros princípios fundamentais da física, química ou biologia. Surge a necessidade de se empregar outro tipo de função: **uma relação constitutiva**. Esse tipo de relação deve ser buscado ao se perceber a necessidade de se estabelecerem novas relações entre as variáveis dependentes fundamentais e as variáveis que as caracterizam. Ela pode ser experimental, com uma forma sugerida pela teoria, mas cujos parâmetros devem ser determinados experimentalmente, ou pode ser teórica, com base na aplicação das leis da conservação em nível molecular ou com base na estatística e na mecânica quântica.

A busca de relações constitutivas para a solução de um dado problema requer o conhecimento da situação analisada e a realização de experimentos que podem estar relacionados com o desenvolvimento do modelo que se pretende obter. Neste particular, a engenharia é evolutiva, e emprega, na grande maioria das vezes, relações já testadas. Essas relações são aperfeiçoadas com o passar do tempo.

É evidente que as relações constitutivas podem ser específicas, ou seja, uma equação aplica-se a um dado material ou a uma dada situação particular. Há um grande número de relações familiares que podem ser empregadas como relações constitutivas. Para saber selecioná-las é necessário compreender o sistema, processo ou fenômeno que se está tentando representar. Nas situações mais complexas do desenvolvimento de modelos é necessário um programa muito bem planejado de experimentos realizados em laboratório para ser possível se obterem relações constitutivas aplicáveis.

### 4.1. Propriedades extensivas e as propriedades dos materiais

A maioria das propriedades extensivas não pode ser medida diretamente. Torna-se necessário relacioná-las com variáveis mensuráveis como velocidade, pressão, temperatura, composição, massa específica, corrente elétrica, tensão etc. A finalidade das relações constitutivas é a de relacionar as propriedades extensivas como massa, energia, quantidade de movimento, carga elétrica e entropia, com as propriedades dos materiais. Este foi o trabalho dos principais pesquisadores dos séculos XVIII, XIX e XX. As disciplinas Ciências dos Materiais, Eletricidade, Termodinâmica, Mecânica dos Sólidos e Fenômenos de Transporte são resultado desse tipo de desenvolvimento.

Geralmente as propriedades dos materiais podem ser classificadas em dois tipos: propriedades que descrevem como um material responde a uma dada carga mecânica e aquelas que descrevem a resposta dos materiais a outras formas de energia como luz, calor e campo eletro-magnético. A ciência dos materiais lança mão de equações que procuram: a) relacionar algum aspecto da estrutura do material com suas propriedades; b) descrever a propriedade e c) descrever como variam as propriedades com as mudanças nas condições em que se encontra o material. Grande número das propriedades dos materiais, foi estabelecido com o desenvolvimento do conhecimento de Mecânica dos Sólidos, Eletricidade, Termodinâmica e Fenômenos de Transporte.

## 5. VISÃO UNIFICADA E ESTRUTURADA DO ENSINO DE ENGENHARIA

Na maioria dos sistemas de engenharia, geralmente trabalha-se com dois tipos de variáveis: esforço e fluxo. Um esforço é aplicado sobre algo e um fluxo ocorre através de alguma superfície. De maneira geral, o fluxo é resultado da aplicação de um dado esforço e um esforço ocorre em consequência de um dado fluxo. Os tipos mais comuns de esforços e fluxos são:

- na mecânica dos fluidos – pressão e quantidade movimento;
- na transferência de calor – temperatura e calor;
- no transporte de massa – concentração e massa;
- na eletricidade – tensão e fluxo de elétrons (ou densidade de corrente);
- na mecânica dos sólidos – tensão e deformação.

Se em cada sistema são reconhecidas as variáveis fundamentais que caracterizam os esforços e os fluxos resultantes, o próximo passo consiste em selecionar a propriedade, ou propriedades extensivas que devem ser mensuradas. As equações do balanço ou as leis da conservação aplicadas a essas propriedades constituem a fonte principal de equações que permitem descrever o sistema na forma de um modelo matemático. Se sozinhas elas não possibilitam equacionar todas as variáveis envolvidas, devem ser buscadas relações constitutivas que funções apropriadas entre as propriedades extensivas selecionadas e as propriedades intensivas que constituem as variáveis fundamentais do sistema em análise. Geralmente, essas relações passam pelas propriedades dos materiais e as relações entre esforços e fluxos fornecidas pelas disciplinas que representam as ciências da engenharia — Ciência dos Materiais, Mecânica dos Sólidos, Fenômenos de Transporte, Eletricidade e Termodinâmica.

As equações do balanço e as leis da conservação são empregadas na maioria dos problemas de engenharia. De uma forma explícita ou implícita, a maioria das disciplinas emprega-as.

A finalidade deste trabalho é o de transformar a estrutura apresentada na Figura 1 em uma janela sobre a qual todos os problemas de engenharia possam ser analisados. Para isso propõe-se apresentar essa estrutura já no ciclo básico e empregá-la no decorrer de todo o curso de engenharia.

Na Figura 2 mostra-se que as várias habilitações da engenharia surgem da aplicação das equações do balanço e das leis da conservação a cinco propriedades extensivas: massa, carga elétrica, quantidade de movimento, energia e entropia. Compreendida essa figura, é possível aceitar a Figura 1 como a base e a estrutura da engenharia na solução de seus problemas, como proposto por GLOVER *et al* (1996).

## 6. CONCLUSÃO

É possível se empregarem as equações dos balanços e as leis da conservação como fonte de equações para modelagem dos problemas de engenharia. O emprego da estrutura apresentada na Figura 1 já no ciclo básico e sua reapresentação ao longo de todo o curso de engenharia não só desenvolve a habilidade integradora no estudante de engenharia como também consiste na janela através da qual o ensino de engenharia deve ser olhado e aplicado.

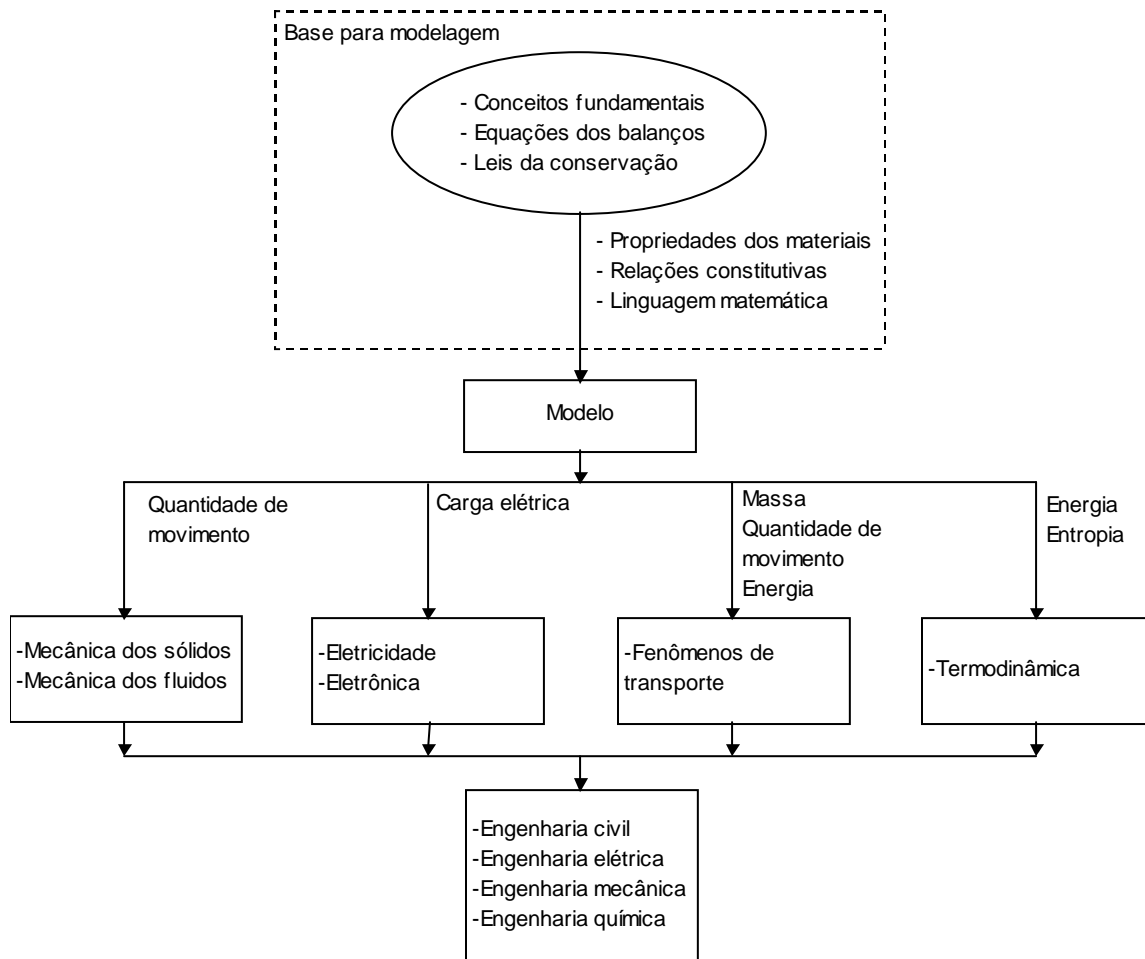


Figura 2 – Ensino de engenharia – visão estruturada e unificada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GLASSOCK, D. A. and HALE, J. C. Process Simulation: The art and science of modeling. **Chemical Engineering**, 101(11), 82-89. 1994.

GLOVER, C. J., LUNSFORD, K. M. and FLEMING, J. A. **Conservation Principles and the structure of Engineering**. 5<sup>th</sup> ed. McGraw, Inc. 1996.

## TEACHING ENGINEERING: A STRUCTURED AND UNIFIED VIEW

*Abstract: Engineering is a profession of quantities. By using calculations Engineers make an effort to understand, project and implement processes and products. The successful solution of Engineering problems demands the ability to describe and analyze, under the quantity point of*

*view, the behavior of processes and products. This can be carried out by applying general biology, chemistry and physics principles as well as mathematical language. Nevertheless, when an Engineer studies processes and their products he/she faces difficulties to analyze them in their natural existence form because of their complexity, difficult access, measurement or even due to the risks and costs involved in the process. Aiming to make this task easier, Engineering employs different forms of representation. Among those, the main one is the representation of processes and their products through models. They enable to handle and to understand the entities that are studied under their quality and quantity aspects. Considering that all processes present multidisciplinary components, the interdisciplinary ability is a characteristic of the Engineer who tries to apply integrating principles to resolve Engineering problems. This ability usually goes beyond the boundaries of traditional subjects. This work aims to create a window through which one can see, in a structured and unified way, the principles that rule the universe of Engineering, defining the base and the structure to obtain the mathematical problems that allow analyzing Engineering problems.*

**Key-words:** *Teaching engineering, analysis of problems, models.*