



IEA-S – DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ESPACIAIS
(SPACE SYSTEMS DEPARTMENT)

TE-265 – ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM MODELOS

Edição 2023

Lecionado por Prof. Christopher S. Cerqueira



AGENDA



INTRODUÇÃO AO CURSO

3



IEA-S – DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ESPACIAIS
SPACE SYSTEMS DEPARTMENT

INÍCIO DO CURSO



MOTIVAÇÕES

43



INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE SISTEMAS

69



CONSIDERAÇÕES FINAIS

84



INTRODUÇÃO AO CURSO



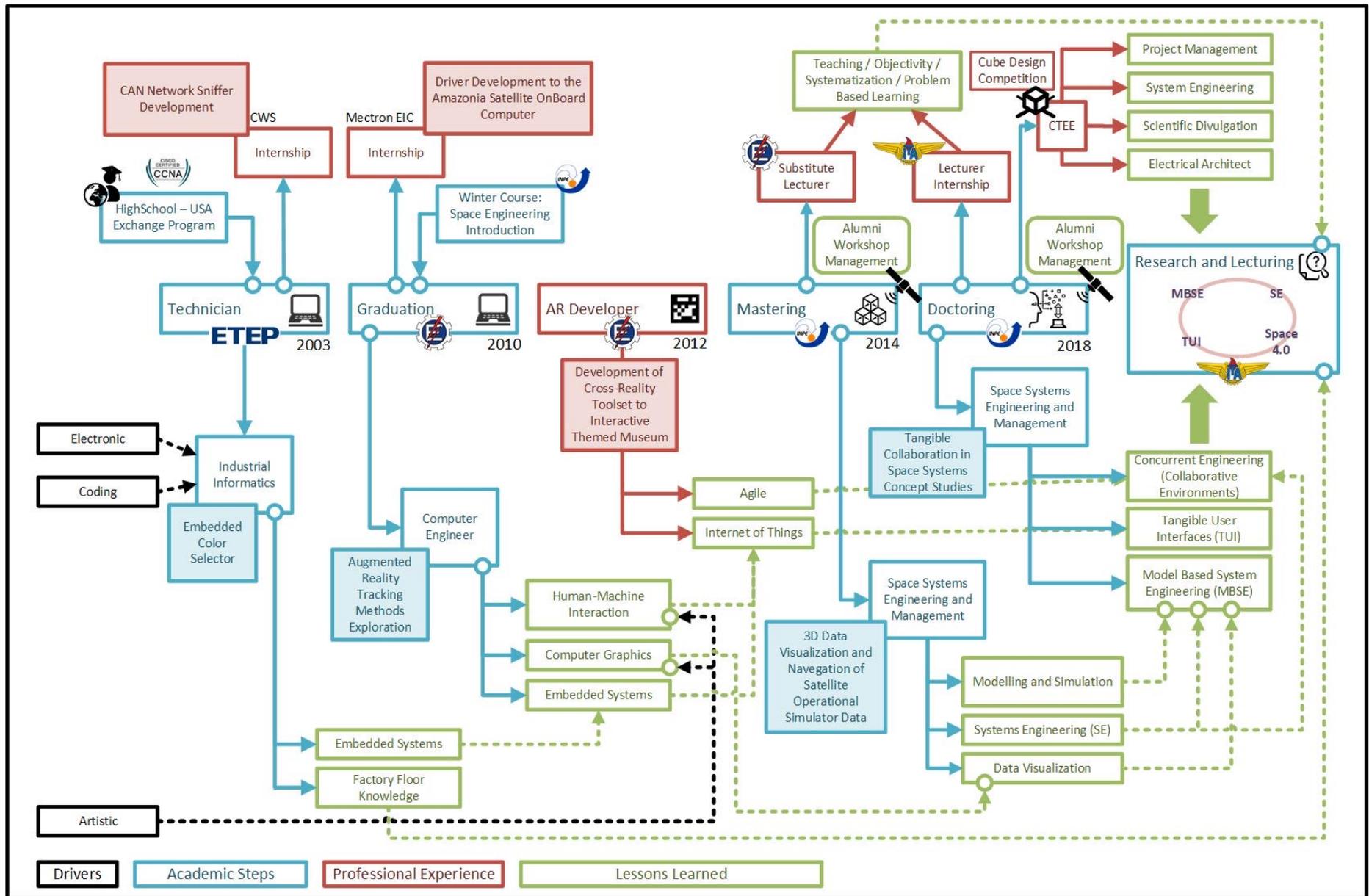
PROF. DR. CHRISTOPHER SHNEIDER CERQUEIRA

chris@ita.br // christopher.Cerqueira@gp.ita.br

www.cscerqueira.com.br

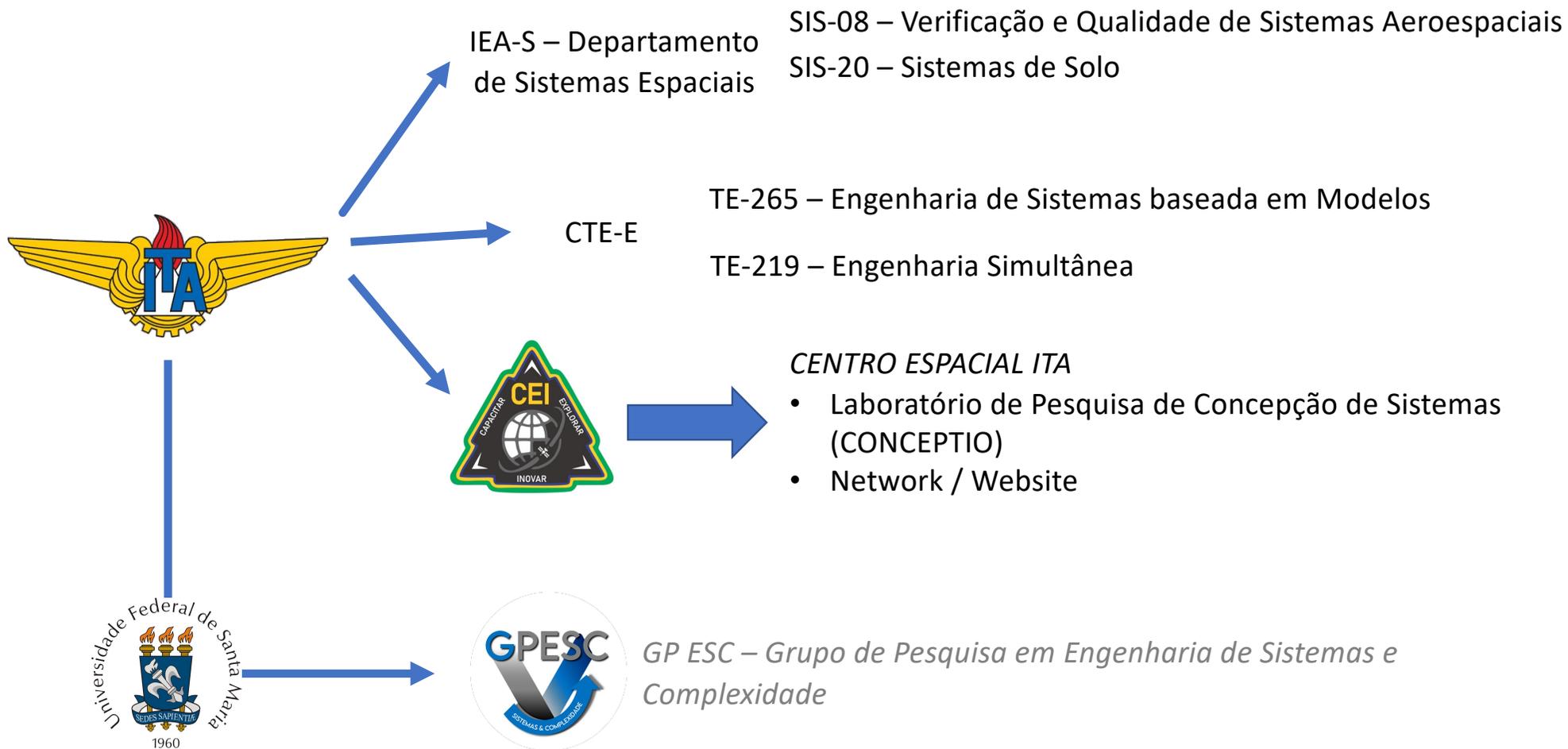
Pode me encontra na Ala 0 – 2011 ou no [CEI](#)

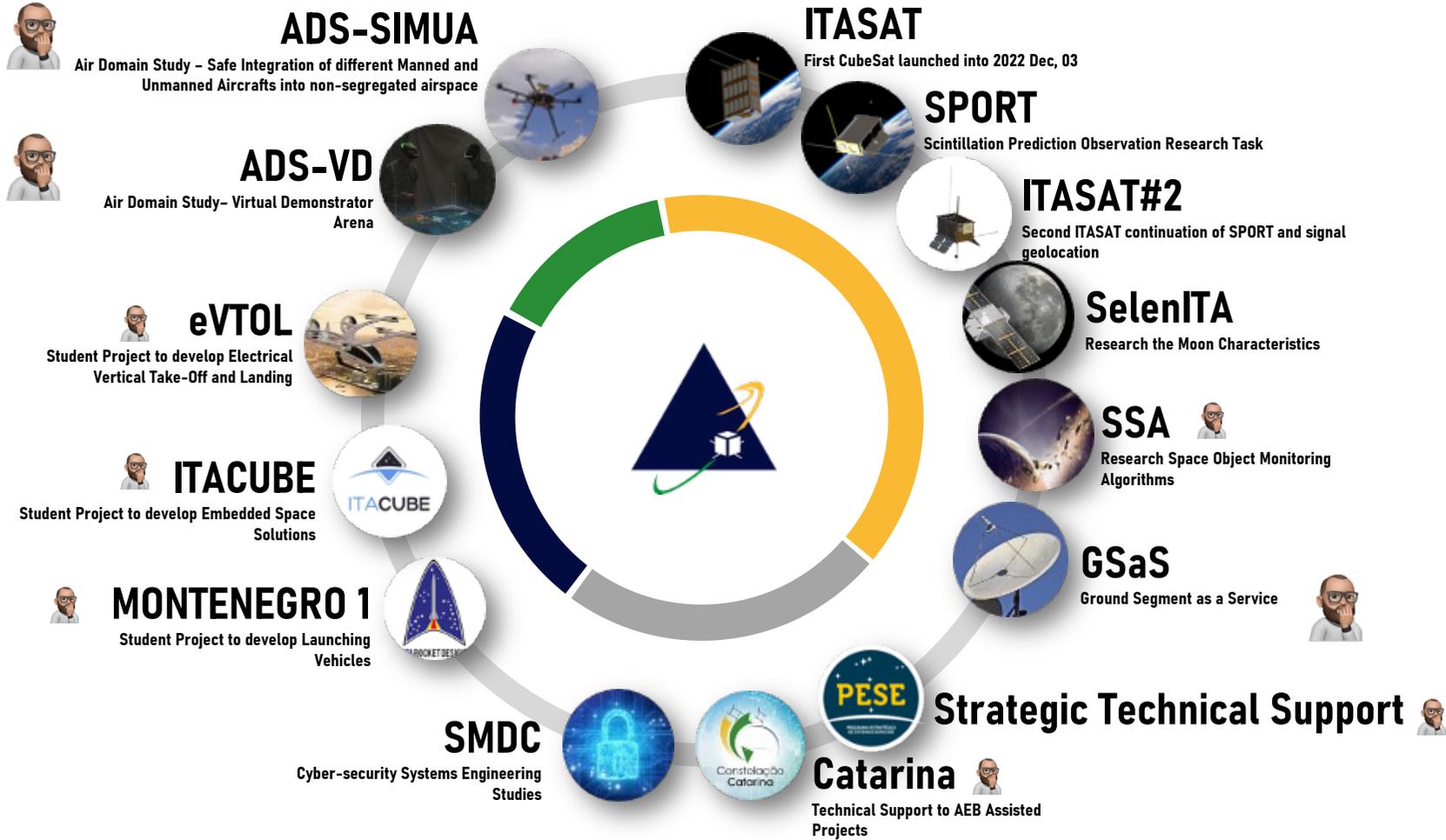






ATIVIDADES





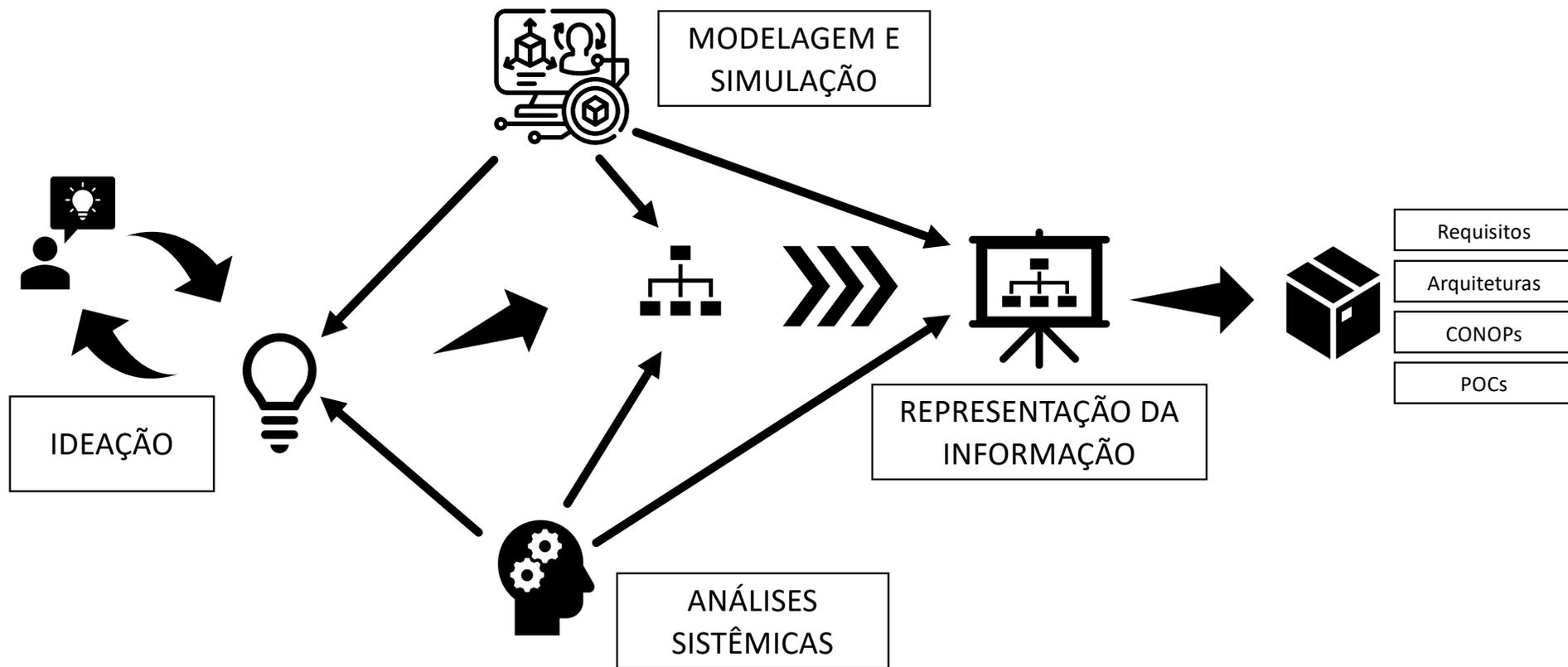


CONCEPTIO

cei.ita.br/labs/conceptio



COMPETÊNCIAS



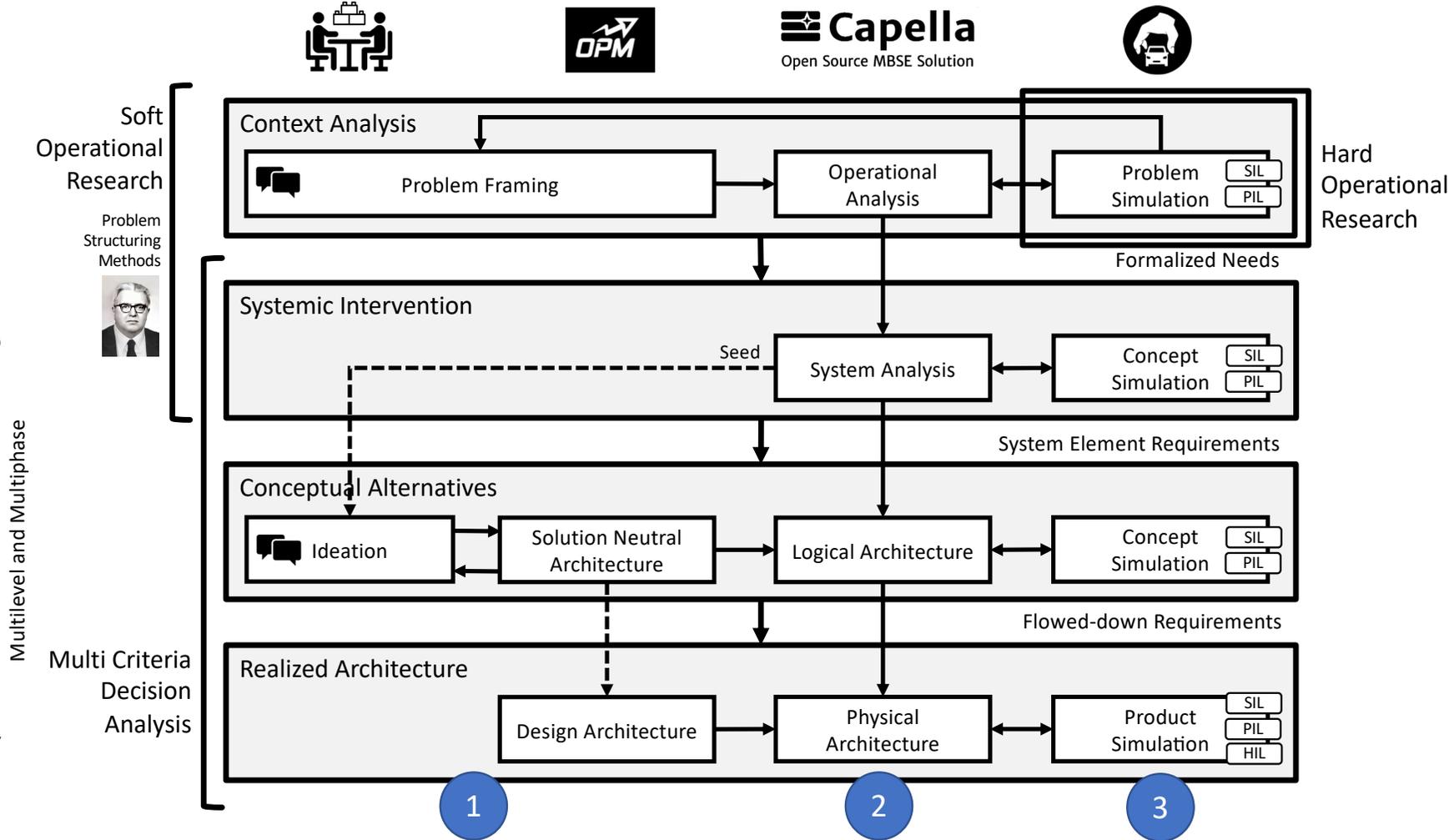


LAB FRAMEWORK



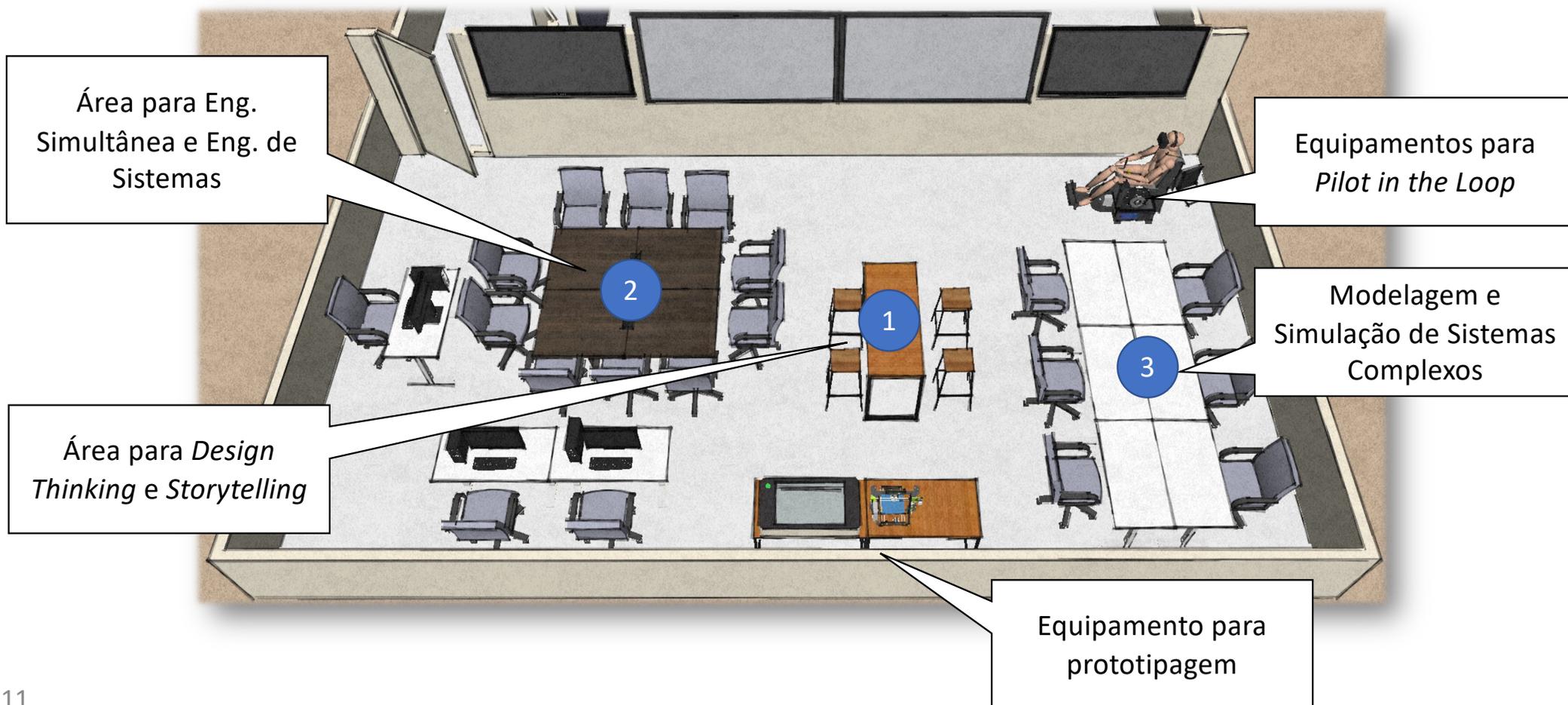
Problem

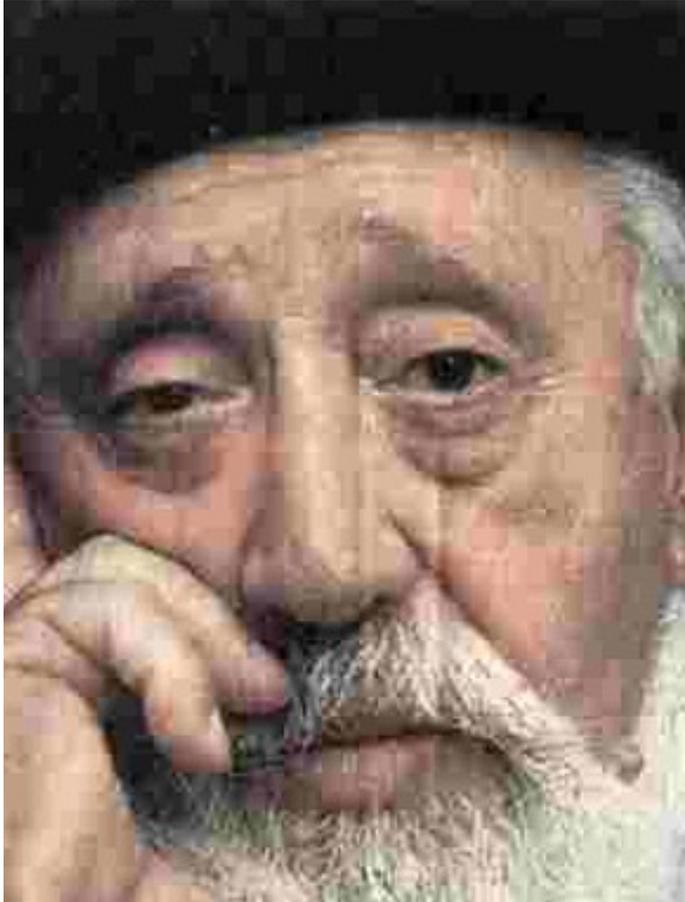
Solution





INFRAESTRUTURA DO LABORATÓRIO





A goal of education is. to assist growth toward greater complexity and integration and to assist in the process of self-organization - to modify individuals capacity to modify themselves.

— Reuven Feuerstein —

AZ QUOTES

[#escolasempartido](#)



APRESENTAÇÕES

Quem são vocês? Motivos/Expectativas?





OBJETIVOS DE APRENDIZADO



OBJETIVOS DE APRENDIZADO

- **ES-001** – Ser capaz de estruturar o desenvolvimento de sistemas utilizando Engenharia de Sistemas baseada em Modelos.
- **ES-002** – Ser capaz de identificar a necessidade do uso de modelos.
- **ES-003** – Ser capaz de identificar as limitações e benefícios da aplicação de modelos.



ENSINO BASEADO EM PROJETOS

PROJECT BASED LEARNING



COMO SERÁ...

- Engenharia de Sistemas pode ser aplicada em qualquer nível.
- Nosso estudo de caso será um Sistema Complexo Lúdico
 - Usem a imaginação / não precisamos ficar presos às regras da realidade.
 - Cada grupo vai pegar parte desse sistema.
- De forma a exercitar, vamos assumir que o nível estratégico já criou um conceito de alto nível.



DISCLAIMER



As visões expressadas são do autor do material e não refletem uma política ou posição da Força Aérea Brasileira, Ministério da Defesa, Governo Brasileiro ou do Instituto Tecnológico de Aeronautica.

NETFLIX

**TRAILER
OFFICIAL**





PROPOSTA DE MISSÃO

1. *Os viajantes do tempo Doc Emmett Brown e Marty McFly não podem revelar a existência de máquinas do tempo pois isso geraria um conflito pela posse da tecnologia.*
2. *Ações específicas na linha do tempo podem ocasionar infinitas linhas temporais acarretando no fim da estrutura do universo.*
3. *Desta forma, eles precisam de meios para estruturar um **sistema logístico seguro** de peças para uma montagem/manutenção ágil das máquinas do tempo, em cada uma das épocas, apoiado por ações de **inteligência, vigilância e reconhecimento**.*
4. *É preciso que se **monitorem os acontecimentos do entorno** do local de desenvolvimento, movimentação de pessoas, eventos, e outros fluxos para criar uma previsão de acontecimentos.*
5. *Deve ser **feito com os recursos disponíveis** em cada uma das épocas, de forma a não levantar suspeitas e colaborar com a ocultação do transito de peças.*





ERAS



HILL VALLEY 1985

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/e536531a36d58357fd91ff6d06c7068d/The-city-of-Hill-Valley-Back-to-the-future-1985>



22

The city of Hill Valley (Back to the future) - 1985



HILL VALLEY 2015

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/4718040ad9040e5b4682084832930f74/hill-valley-2015-back-to-the-future>



24

hill valley 2015 (back to the future)



HILL VALLEY 1955

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/f3592bead59e2f8bb0e34562805009ef/The-city-of-Hill-Valley-Back-to-the-future-1955>



23

The city of Hill Valley (Back to the future) - 1955



HILL VALLEY 1885

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/4d220a8ace3004bf2b637a7ab2bdda17/Hill-valley-1885-Back-to-the-future>



25

Hill valley 1885 (Back to the future)



HILL VALLEY 1985

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/e536531a36d58357fd91ff6d06c7068d/The-city-of-Hill-Valley-Back-to-the-future-1985>





HILL VALLEY 1955

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/f3592bead59e2f8bb0e34562805009ef/The-city-of-Hill-Valley-Back-to-the-future-1955>





HILL VALLEY 2015

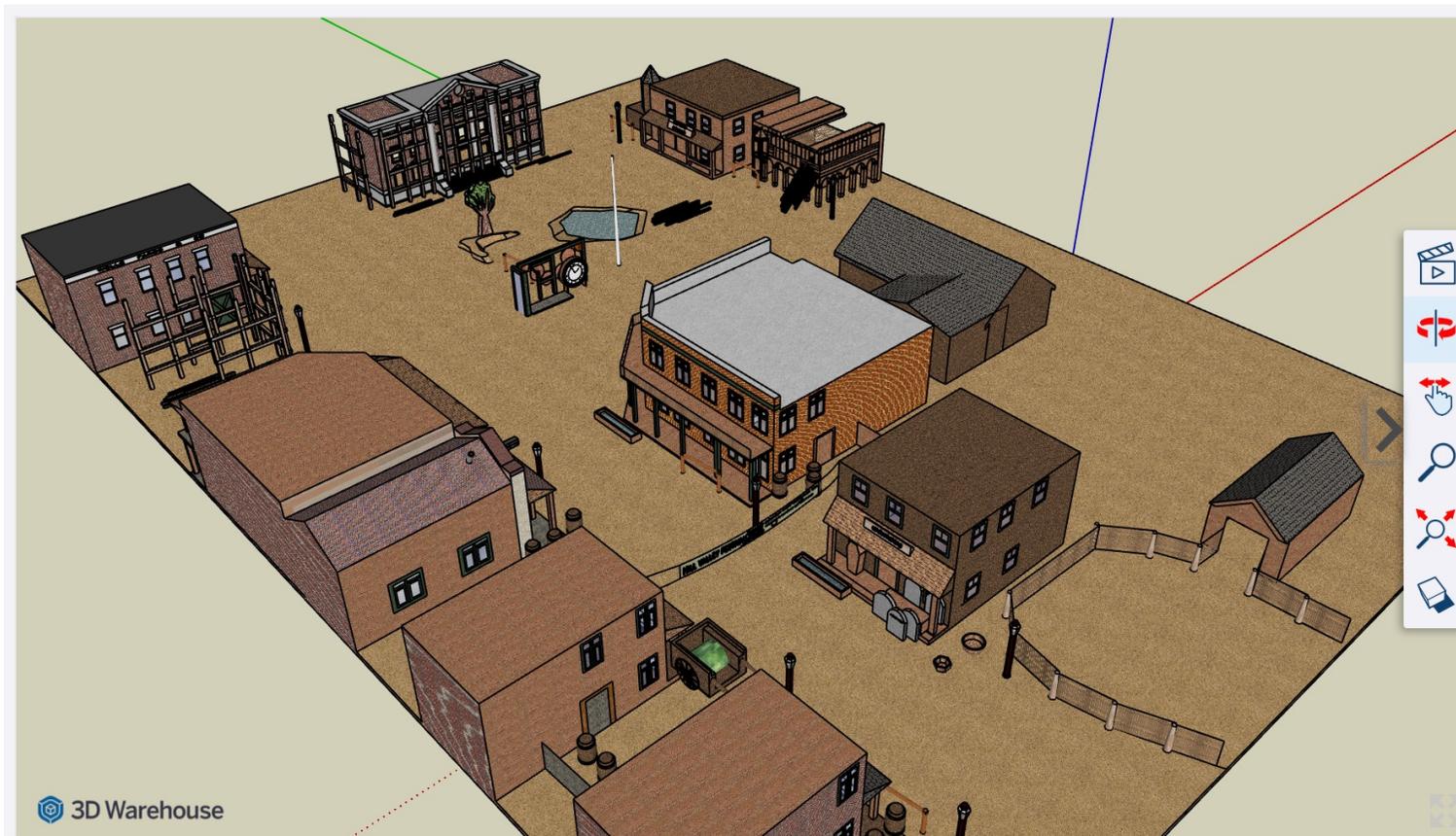
<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/4718040ad9040e5b4682084832930f74/hill-valley-2015-back-to-the-future>





HILL VALLEY 1885

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/4d220a8ace3004bf2b637a7ab2bdda17/Hill-valley-1885-Back-to-the-future>





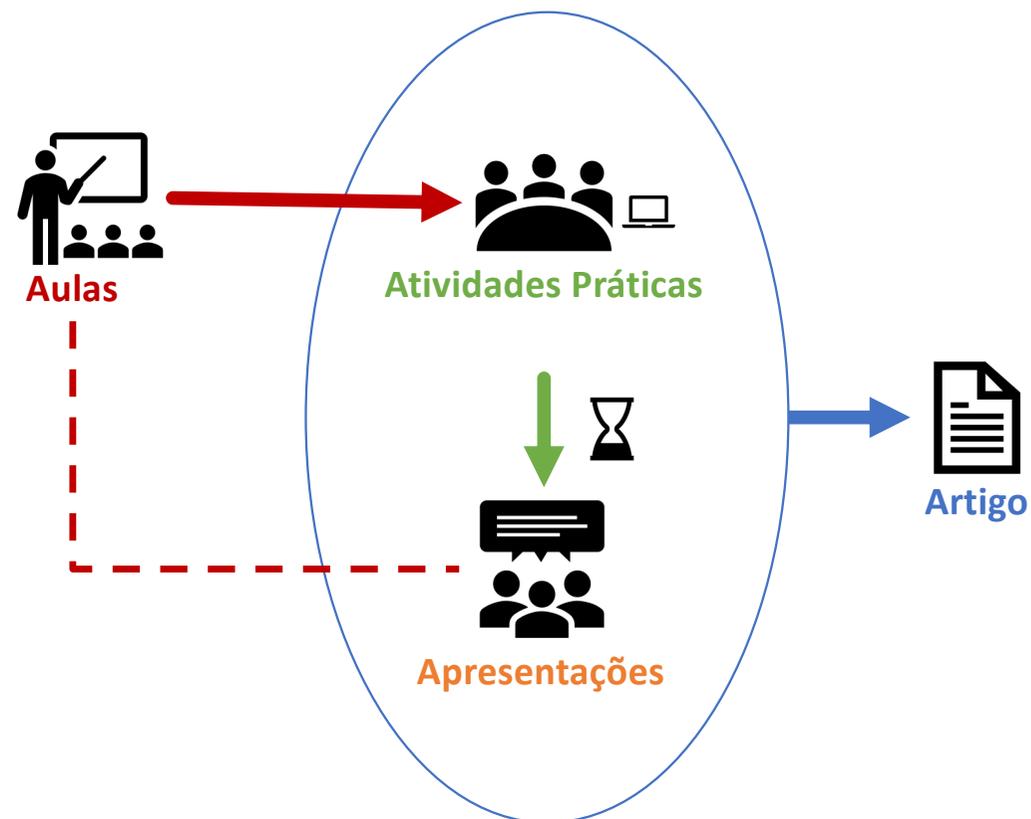
FORMATO DA DISCIPLINA



FORMATO DE 2023



- Teoria (aulas híbridas/ leitura/ sugestões de vídeo)
- Atividades práticas
 - Projeto
- Apresentações
- Artigo resumo





FERRAMENTAS



• Capella

- Arcadia Case Software (Ferramenta em Java – opensource/free)
- <https://www.eclipse.org/capella/>

• OPCloud –

- Web (proprietária mas “free” pra uso educacional)
- <https://opcloud-trial.firebaseio.com>

The banner for the Capella website features a dark blue background with a complex, geometric pattern of interconnected lines and nodes, resembling a network or a molecular structure. The text is white and centered. At the top left is the Capella logo. To the right of the logo are navigation links: WORKBENCH, ARCADIA METHOD, ADOPTERS, COMMUNITY, SERVICES, CONTACT, and a prominent DOWNLOAD button. The main heading reads 'OPEN SOURCE SOLUTION FOR MODEL-BASED SYSTEMS ENGINEERING'. Below this, a sub-heading states: 'Eclipse Capella™ is a comprehensive, extensible and field-proven MBSE tool and method to successfully design systems architecture'. Two play button icons are positioned below the text, with the first labeled 'Discover Capella in 2 minutes' and the second 'The spirit of Arcadia and Capella in 8 minutes'. At the bottom, the text 'YOUR INDUSTRIAL-GRADE MBSE WORKBENCH' is displayed.

The screenshot shows the OPCloud web interface. The browser address bar indicates the URL 'https://opcloud-trial.firebaseio.com'. The interface has a dark blue header with the OPCloud logo and user information: 'Christopher Oliveira Cordeiro Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA'. The main workspace displays a UML-like model diagram for an 'Emergency Braking' system. The diagram includes components like 'Car', 'ABS System', 'Velocity Status', 'Driver', 'Brake Pedal', and 'Applied Force'. 'Velocity Status' has states 'high' and 'zero'. 'Applied Force' has states 'below threshold' and 'above threshold'. 'Safety' has states 'low' and 'high'. The diagram shows various relationships and dependencies between these components. On the left side, there is a 'Draggable OPM Things' panel with a search bar and a list of items including 'ABS Data', 'ABS System', 'Abs Database', 'Actuating Pulse Set', 'Actuating Wheel Signal', 'Applied Force of Brake Pedal', 'Brake Assembly', 'Brake Duration', 'Brake Fluid', 'Brake Pedal', and 'Brake Pulse Duration Table'. At the bottom, there is an 'OPL' (Object Property List) section with a list of properties and their values.



EMENTA NO CATÁLOGO

- TE-265/2022 – Engenharia de Sistema Baseada em Modelos
 - Requisito recomendado: Não há. Requisito exigido: Não há. Horas semanais: 2-1-0-5.
 - Apresentação do método Agile para o desenvolvimento de sistemas aeroespaciais. Introdução ao SysML. Taxonomia do SysML. Identificação e modelagem de Stakeholders utilizando Use Case Scenarios. Geração de requisitos de Stakeholders a partir dos cenários. Identificação e modelagem do Sistema Utilizando Use Cases. Geração de requisitos de sistemas aeroespaciais. Identificação e modelagem dos subsistemas. Construção da arquitetura do sistema. Alocação dos requisitos aos elementos da arquitetura. Identificação e captura dos requisitos de interfaces do sistema de interesse com seus níveis hierárquicos e com seus sistemas de apoio.
 - Bibliografia: DOUGLAS, B. P. Agile systems engineering. Ed. Morgan Kaufmann. 2015. HOLT, J., PERRY, S. SysML for systems engineering. Ed. Institution of Engineering and Technology, 2008. WEILKIENS T. Systems engineering with SysML/UML: Modeling, Analysis, Design, Morgan Kaufmann, 2011.



EMENTA ATUALIZADA (SERÁ ATUALIZADA NO PRÓXIMO PERÍODO)

- Proposta de nova ementa:
 - Requisito: não há. Horas Semanais: 3-1-0-3.
 - Conceitos básicos e princípios do pensamento sistêmico e da Engenharia de Sistemas. Frameworks e stakeholders. Tipos de arquiteturas, funções e análise da coesão e acoplamento. Ciclo de vida e CONOPs. Requisitos. Modelagem da estrutura e comportamento dos sistemas. Análise de contexto. Intervenção sistêmica. Exploração de alternativas. Arquitetura conceitual e desdobramento. Processo de Verificação e Validação. Arquitetura Concreta e Carta Morfológica. Desdobramento para especialidades.
 - Bibliografia: SEBoK Editorial Board, 2022, The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), v. 2.7, R.J. Cloutier (Editor in Chief). CRAWLEY, E., CAMERON, B., SELVA, D. System Architecture – Strategy and Product Development for Complex Systems. England. Pearson. 2016. ISBN 1-292-11084-8. VOIRIN, J.L. Model-based System and Architecture Engineering with the Arcadia Method. Elsevier, 2017. ISBN 978-0-0810-1794-4.



NOTA



- **Primeiro Bimestre** – Individual, assíncrona, quatro horas de duração, com entrega em PDF via o Google Moodle.
 - 20% Questões conceituais sobre:
 - Conceitos de ES,
 - Arquitetura,
 - CONOPs,
 - Coesão e Acoplamento,
 - Ciclo de vida e
 - Requisitos.
 - 60% Exercício para usar os diagramas (serão apresentadas várias situações e verificado o uso correto dos diagramas)
 - Diagramas comuns da Engenharia de Sistemas (N2, eFFBD)
 - Diagramas simplificados do SysML (Casos de Uso, Árvore, Arquitetura funcional-instanciada, Sequência, Classes, Interfaces)
 - 20% Exercícios conceituais e entregas do bimestre
 - *As atividades do projeto serão computadas na nota da P2.
- **Exame**
 - Graduação (grupo): Desenvolvimento de um mini-case de um subsistema usando o Capella com apresentação gravada. (O melhor desenvolvimento será convidado a apresentar num webinar dos desenvolvedores do Capella)
 - Pós-graduação (grupo): Entrega de um artigo (Formato do SIGE) descrevendo seu case e atividades.
- **Segundo Bimestre** - Nota exclusiva dos trabalhos em grupo
 - 70% Apresentação - A avaliação cobrirá o uso do framework em cima do projeto, será observado:
 - (a) o uso correto do OA para o mapeamento da situação atual;
 - (b) apontamento de necessidades (requisitos dos stakeholders / requisitos de missão);
 - (c) criação de um sistema (estrutura e comportamento), intervindo na situação atual no SA;
 - (d) delimitação das fronteiras do sistema e interfaces;
 - (e) apontamento de requisitos para o sistema;
 - (f) exploração de alternativas no OPM;
 - (g) desdobramento do sistema em componentes (estrutura e comportamento) no LA;
 - (h) quebra das funções em subfunções (coesão e acoplamento);
 - (i) arquitetura funcional;
 - (j) apontamento de requisitos dos subsistemas
 - (k) proposição de como o sistema deve ser verificado
 - (l) processo de escolha de alternativas
 - (m) arquitetura "final" do processo com especificações no PA;
 - (n) demonstração de rastreabilidade *end-to-end*
 - 30% Exercícios e entregas do projeto do semestre

$$NF = (1B*0.5 + 2B*0.5)*0.7 + E*0.3$$



UM POUCO DE FILOSOFIA

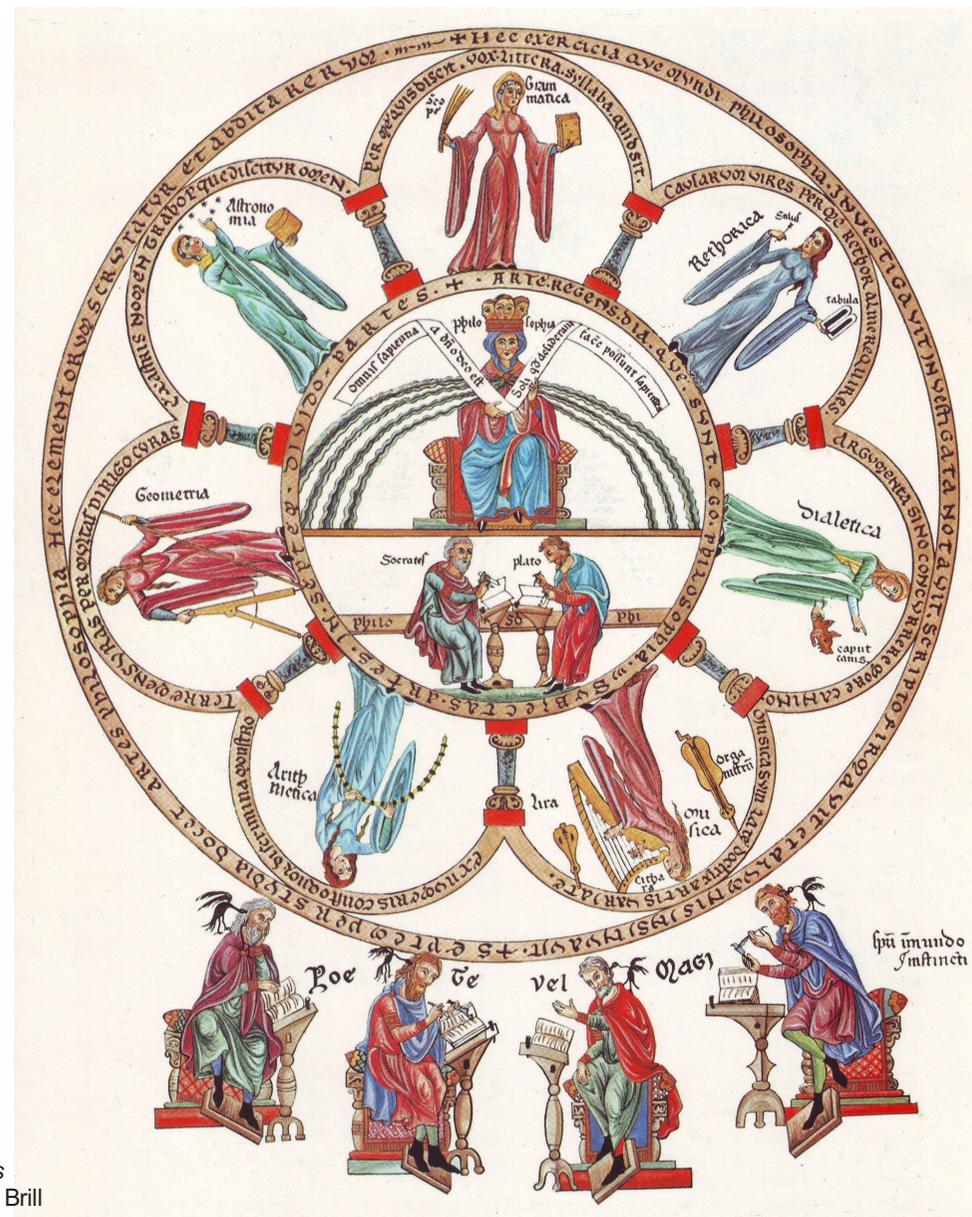
Explicando a organização do curso



HORTUS DELICARIUM

(GARDEN OF DELIGHTS)

- Texto compilado pela Irmã Herrad de Landsberg (1167).
- Foi usado como modelo pedagógico para jovens noviças nos conventos.
- *Philosophia et septem artes liberales* (Filosofia e as sete artes liberais)



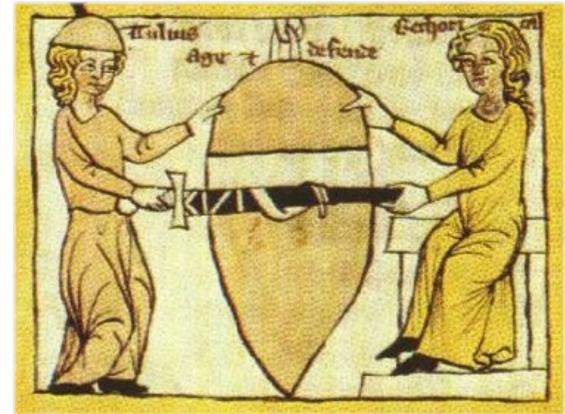
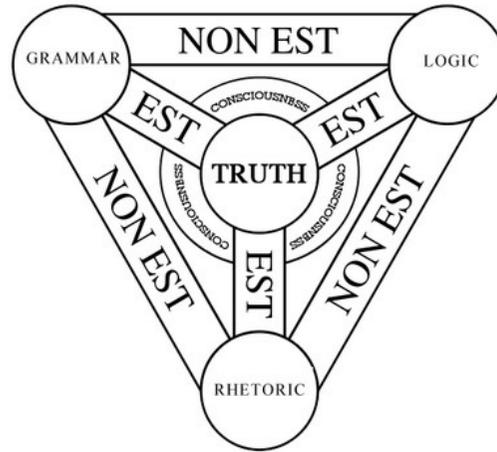
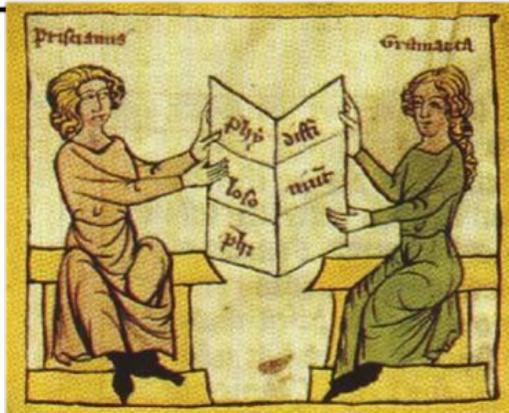


TRIVIUM E QUADRIVIUM

- O **trivium** é a parte, formada por: gramática, lógica e retórica. O Trivium é o estudo da transmissão da verdade (linguagem).
 - Gramática é a arte de inventar símbolos (signos) e suas combinações
 - Lógica é a arte do pensamento, estruturando sequência de combinações.
 - Retórica é a arte da comunicação, adaptando a lógica à circunstância.
- O **quadrivium** é a parte superior, formada por: aritmética, geometria, música e astronomia. O quadrivium é o estudo do número e sua relação de espaço/tempo.
 - Aritmética é o estudo dos números.
 - Geometria é o estudo da representação espacial.
 - Música é o estudo do tempo.
 - Astronomia é o estudo do espaço-tempo.



TRIVIUM





TRIVIUM E ESSE CURSO



Precisamos entender
"como as coisas são
representadas"

Símbolos da MBSE

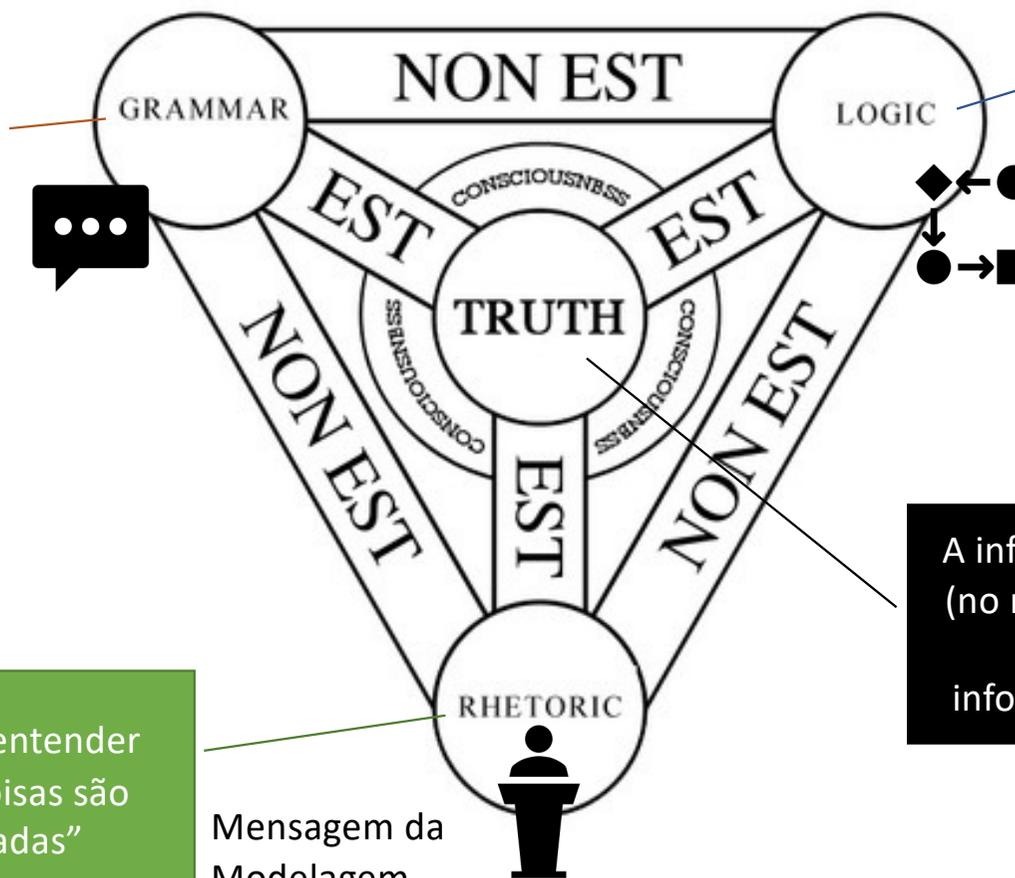
Precisamos entender
"como as coisas são
conhecidas"

Interpretação dos
diagramas

Precisamos entender
"como as coisas são
comunicadas"

Mensagem da
Modelagem

A informação integrada
(no modelo) deve ser a
única fonte de
informação (verdade).





[TE-265 ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM MODELOS] [2023]

AULA	TEORIA	INDIVIDUAL	GRUPO	AULA	TEORIA	GRUPO
06-Mar	1 Introdução e Apresentação de Engenharia de Sistemas	Resumo dos princípios	Definição do grupo. Montagem de apresentação do tema.	08-May	9 Introdução ao Arcadia e Análise do Contexto	Análise do Contexto e apontamento de necessidades
13-Mar	2 Pitch: Temas Frameworks e Stakeholders	Trabalho sobre MBSE	Elicitar stakeholders	15-May	10 Pitch: Análise do Contexto - NOP Intervenção Sistêmica	Intervenção Sistêmica e requisitos da missão sistema
20-Mar	3 Arquitetura e Funções. Coesão e acoplamento.	Exercícios de análise estruturada	Mapa de interações	22-May	11 Pitch: Análise do Sistema - ROP OPM e Exploração de Alternativas	Montagem de Alternativas
27-Mar	4 Ciclo de Vida e CONOPs		Ciclo de Vida e CONOPs	29-May	12 Pitch: Alternativas Arquitetura Conceitual e desdobramentos	Arquitetura Conceitual e requisitos do sistema
03-Apr	5 Pitch: Descrição livre da captura do problema Requisitos	Exercícios de correção de requisitos	Requisitos dos stakeholders	05-Jun	13 Pitch: Arquitetura Conceitual - RTLI Revisita de Requisitos e o processo de Verificação e Validação	Apontamento de atividades de verificação
10-Apr	6 Modelagem Estrutural da Arquitetura	Exercícios de fixação	Relatório e Gravação de 5min com explicação	12-Jun	14 Pitch: Propostas de Verificação Arquitetura Concreta e Carta Morfológica	Arquitetura Concreta com decisões tecnológicas
17-Apr	7 Modelagem de Comportamento da Arquitetura	Exercícios de fixação		19-Jun	15 Pitch: Arquitetura Final - Especificações Revisão e desdobramentos para especialidades	Relatório e Gravação de 5min com explicação.
24-Apr	8 P1 - Questões conceituais e Mini-Case			26-Jun	16 P2 - Apresentação final da relação entre as etapas	
				03-Jul	EXAME Graduação (grupo): Desenvolvimento de um mini-case de um subsistema usando o Capella	
				17-Jul	Pós-graduação (grupo): Entrega de um artigo (Formato do SIGE) descrevendo seu case e atividades.	



CONSIDERAÇÕES FINAIS



OBS.:

- Esse curso está sendo readaptado para presencial.
 - *Outros anos foram online – outra dinâmica.* 🙄
- **Problemas são esperados**
 - *Não se furtem de fazer comentários (construtivos) da condução do curso.*
 - *Tentarei sempre manter o mapa da disciplina para sabermos onde estamos no processo de aprendizado.*





IEA-S – DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ESPACIAIS
(SPACE SYSTEMS DEPARTMENT)

INÍCIO DO CURSO



[TE-265 ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM MODELOS] [2023]



AULA	TEORIA	INDIVIDUAL	GRUPO	AULA	TEORIA	GRUPO
06-Mar	1 Introdução e Apresentação de Engenharia de Sistemas	Resumo dos princípios	Definição do grupo. Montagem de apresentação do tema.	08-May	9 Introdução ao Arcadia e Análise do Contexto	Análise do Contexto e apontamento de necessidades
13-Mar	2 Pitch: Temas Frameworks e Stakeholders	Trabalho sobre MBSE	Elicitar stakeholders	15-May	10 Pitch: Análise do Contexto - NOP Intervenção Sistêmica	Intervenção Sistêmica e requisitos da missão do sistema
20-Mar	3 Arquitetura e Funções. Coesão e acoplamento.	Exercícios de análise estruturada	Mapa de interações	22-May	11 Pitch: Análise do Sistema - ROP OPM e Exploração de Alternativas	Montagem de Alternativas
27-Mar	4 Ciclo de Vida e CONOPs		Ciclo de Vida e CONOPs	29-May	12 Pitch: Alternativas Arquitetura Conceitual e desdobramentos	Arquitetura Conceitual e requisitos do sistema
03-Apr	5 Pitch: Descrição livre da captura do problema Requisitos	Exercícios de correção de requisitos	Requisitos dos stakeholders	05-Jun	13 Pitch: Arquitetura Conceitual - RTLI Revisita de Requisitos e o processo de Verificação e Validação	Apontamento de atividades de verificação
10-Apr	6 Modelagem Estrutural da Arquitetura	Exercícios de fixação	Relatório e Gravação de 5min com explicação	12-Jun	14 Pitch: Propostas de Verificação Arquitetura Concreta e Carta Morfológica	Arquitetura Concreta com decisões tecnológicas
17-Apr	7 Modelagem de Comportamento da Arquitetura	Exercícios de fixação		19-Jun	15 Pitch: Arquitetura Final - Especificações Revisão e desdobramentos para especialidades	Relatório e Gravação de 5min com explicação.
24-Apr	8 P1 - Questões conceituais e Mini-Case			26-Jun	16 P2 - Apresentação final da relação entre as etapas	
				EXAME Graduação (grupo): Desenvolvimento de um mini-case de um subsistema usando o Capella		
				03-Jul Pós-graduação (grupo): Entrega de um artigo (Formato do SIGE) descrevendo seu case e atividades.		
				17-Jul		



AULA 01 Introdução e Apresentação de Engenharia de Sistemas					
OBJETIVOS	01-01 - Apresentar a estrutura do curso 01-02 - Familiarizar os alunos com os conceitos basilares da Engenharia de Sistemas				
DATA:	06-Mar				
	TÍTULO	#	TÓPICO	ATIVIDADE INDIVIDUAL	ATIVIDADE EM GRUPO
HORA 01	Introdução ao Curso				
		1	Ementa		
		2	Estrutura do Curso		
		3	Apresentações pessoais		
		4	Estudos de caso		Estruturar os Grupos e fazer um levantamento inicial do que é o desafio.
		5	Formato das avaliações		
HORA 02	Motivações				
		1	Caos e Complexidade		
		2	Bases do pensamento sistêmico	Pegar um case e exemplificar a aplicação dos princípios	
		3	Definição de sistema		
		4	Propriedades de um sistema		
		5			
HORA 03	Introdução à Engenharia de Sistemas				
		1	Definição de Engenharia de Sistemas		
		2	Transdisciplinariedade		
		3	Princípios da Engenharia de Sistemas	Pegar um case (domínio do problema ou solução) e exemplificar a aplicação dos princípios	
		4	Posicionamento no ciclo de desenvolvimento		
		5	Posicionamento entre outras disciplinas		
			* Próximas atividades		



MOTIVAÇÕES



CAOS



E NO INICIO SÓ EXISTIA O CAOS



***“No início havia apenas o
Caos, a Noite, o Érebus
escuro e o Tártaro
profundo. A Terra, o ar e o
céu não tinham existência.”***

[Aristophanes, Birds, line 685 \(tufts.edu\)](#)

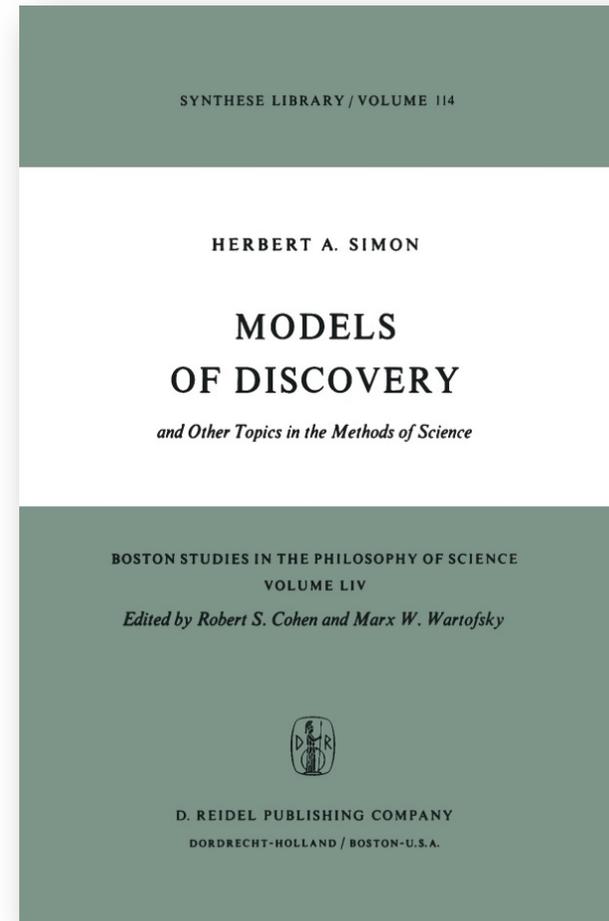


A HISTÓRIA DA CIVILIZAÇÃO É SOBRE ENTENDER E MODELAR O CAOS



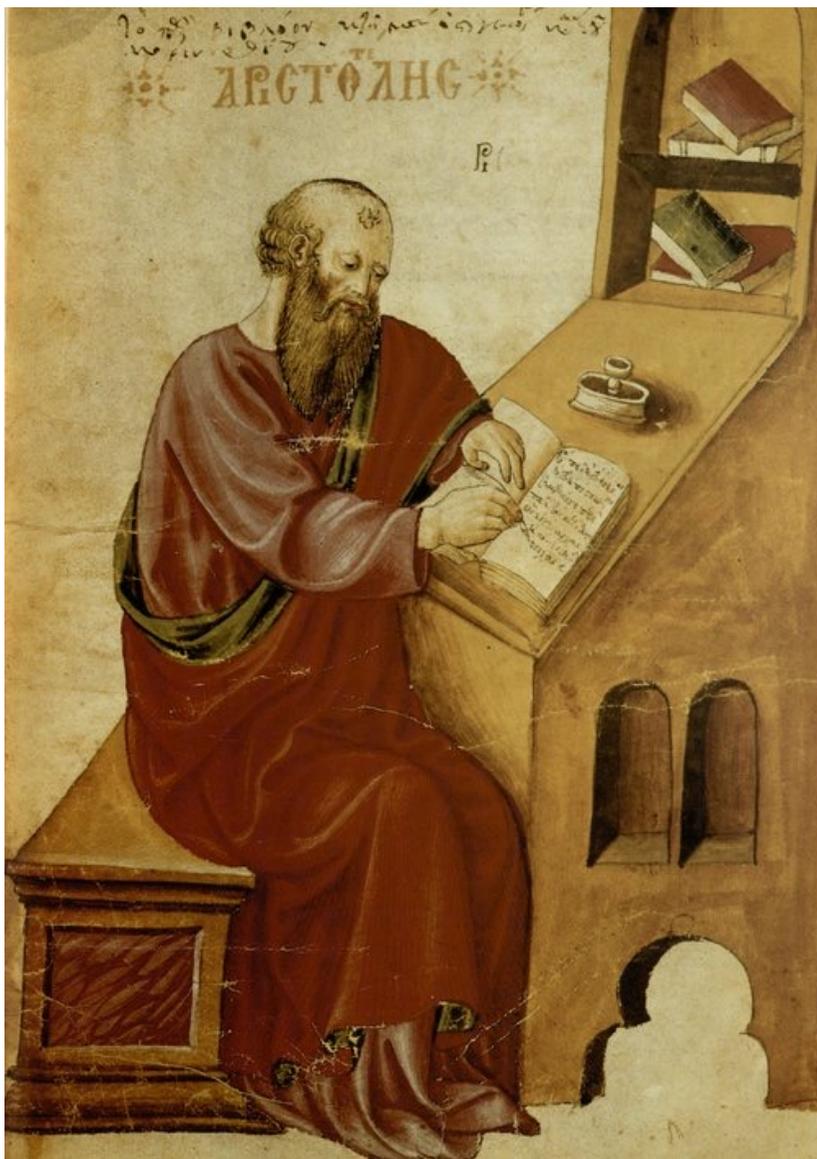
Figure 1 – The Flammarion woodcut (19th Century), illustrating the Flat-Earth cosmology. Seen from the observer's village, the Earth seems flat, as encountered in everyday experience. However, just to the left, a “curious” fellow decides to breach the sphere of the fixed stars to sneak a peek at the mechanisms that move the Sun, Moon and planets.

<https://doi.org/10.1590/S0103-40142006000300022>



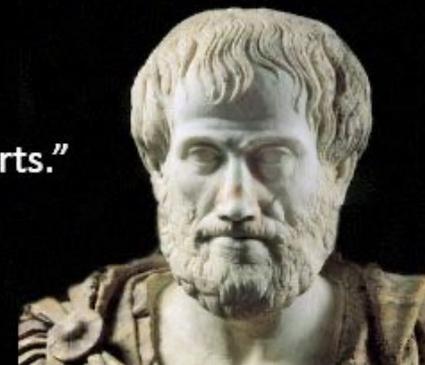


DEFINIÇÃO DE SISTEMA



"The whole is greater
than the sum of its parts."

-Aristotle



"... que **o todo não é o mesmo que a soma de suas partes** são úteis para atender ao tipo que acabamos de descrever; pois um homem que define dessa maneira parece afirmar que as partes são as mesmas que o todo. Os argumentos são particularmente apropriados nos casos em que o processo de juntar as partes é óbvio, como em uma casa e outras coisas desse tipo: pois lá, claramente, **you can have the parts and still not have the whole, in a way that parts and whole cannot be the same.** [4]

[4] Aristóteles 100a, Traduzido por W. D. Ross



DEFINIÇÃO DE SISTEMA

Um sistema é

<um conjunto, uma combinação, um grupo, uma coleção, uma configuração, um arranjo, uma organização, uma montagem, [10]>
de

<partes, componentes, elementos, objetos, subsistemas, entidades [6]>
, que

<combinados, integrados, organizados, configurados, organizados [5]>

de uma forma,

<criam, habilitam, motivam [3]>

<proriedades, funções, processos, capacidades, comportamentos, dimensões [6]>

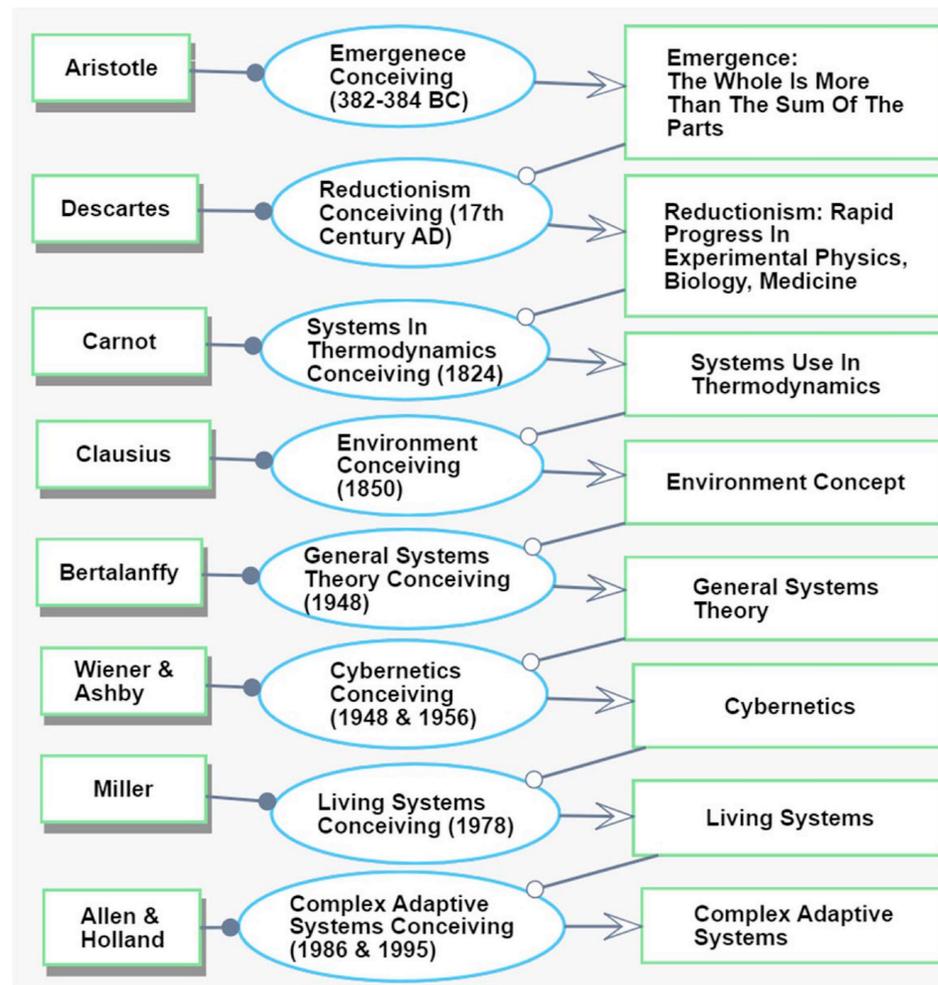
que não

<possuam, exibiam, apresentados [3]>

por suas

<partes, componentes, elementos, objetos, subsistemas, entidades [6]>

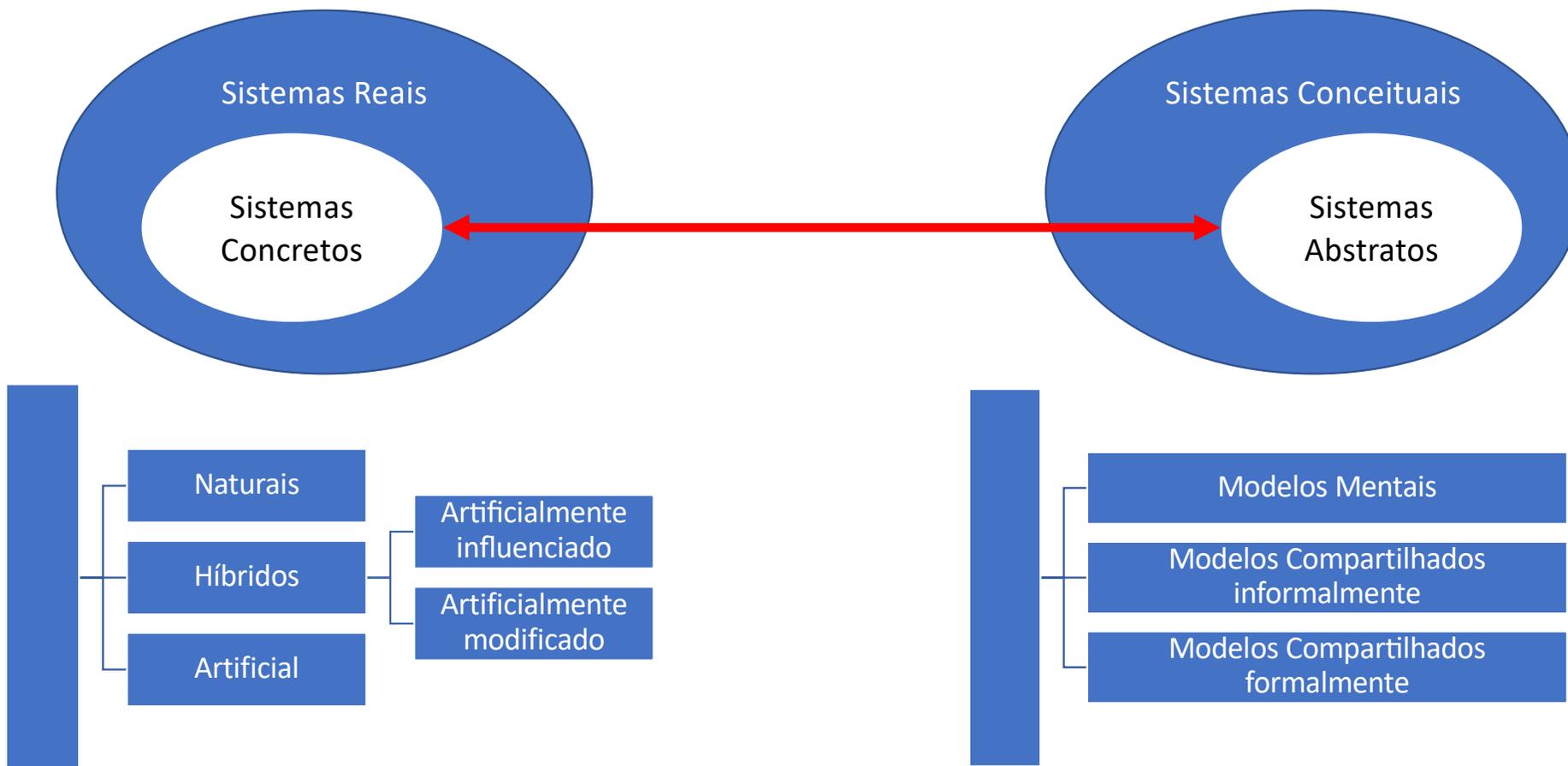
<em separado, individualmente [3]>



Defining "System": a Comprehensive Approach. 27th Annual INCOSE International Symposium. 2017



TIPOS DE SISTEMAS



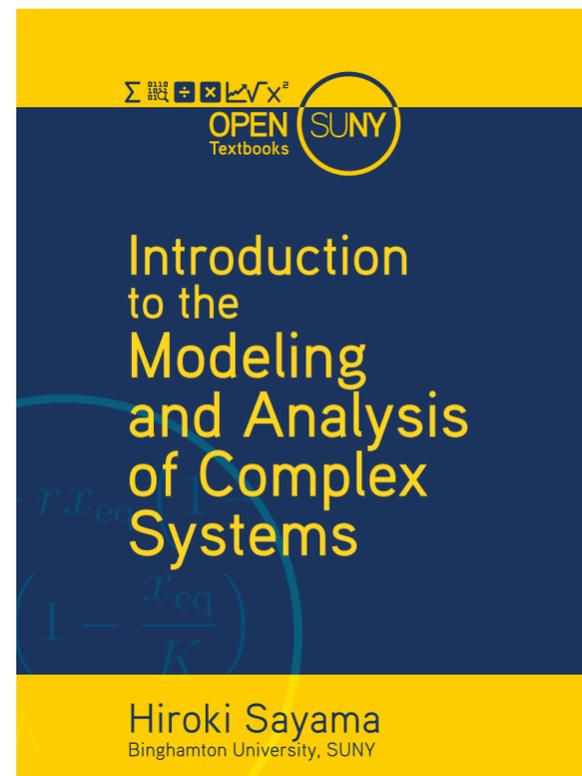
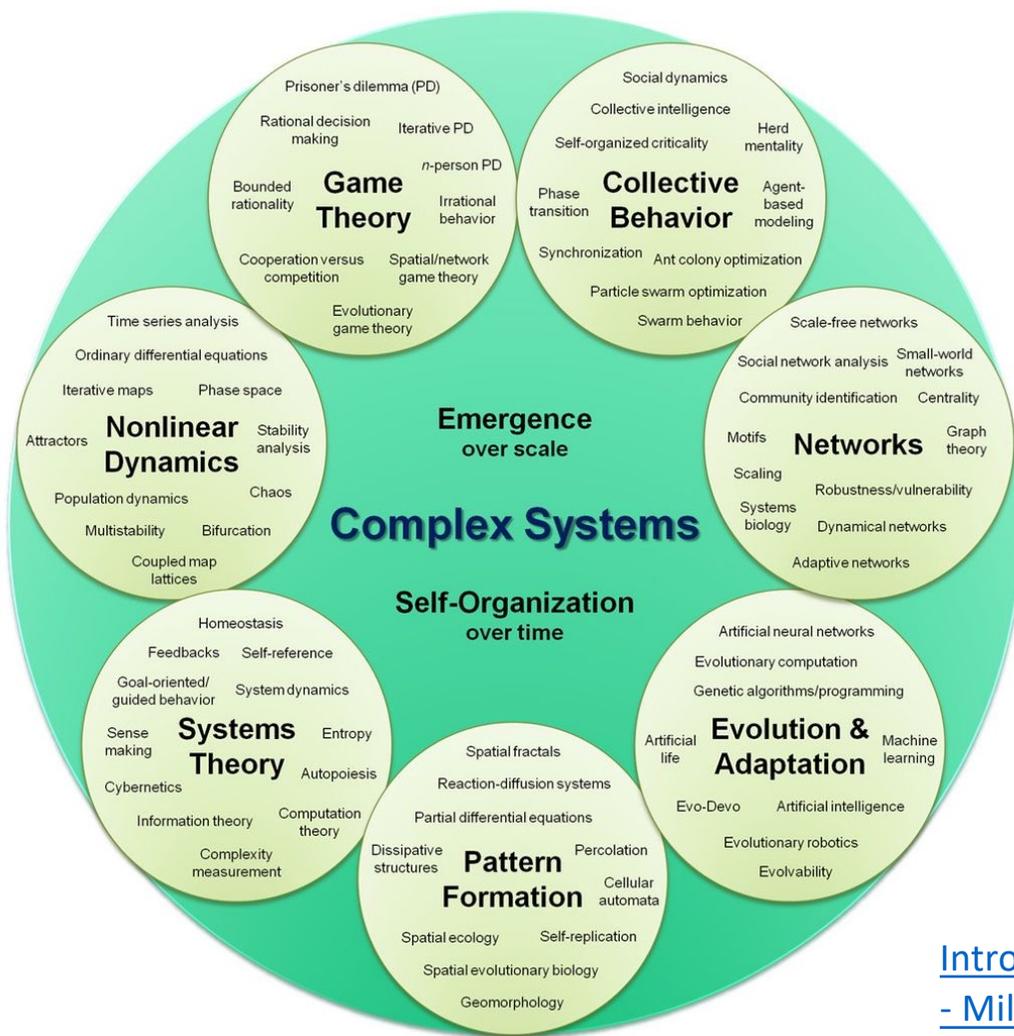


SISTEMAS COMPLEXOS

"Sistemas complexos são **redes feitas de componentes que interagem** uns com os outros, tipicamente de forma não linear. Sistemas complexos podem **surgir e evoluir através da auto-organização**, de modo que não são nem completamente regulares nem completamente aleatórios, permitindo o **desenvolvimento de comportamentos emergentes** em escalas macroscópica"



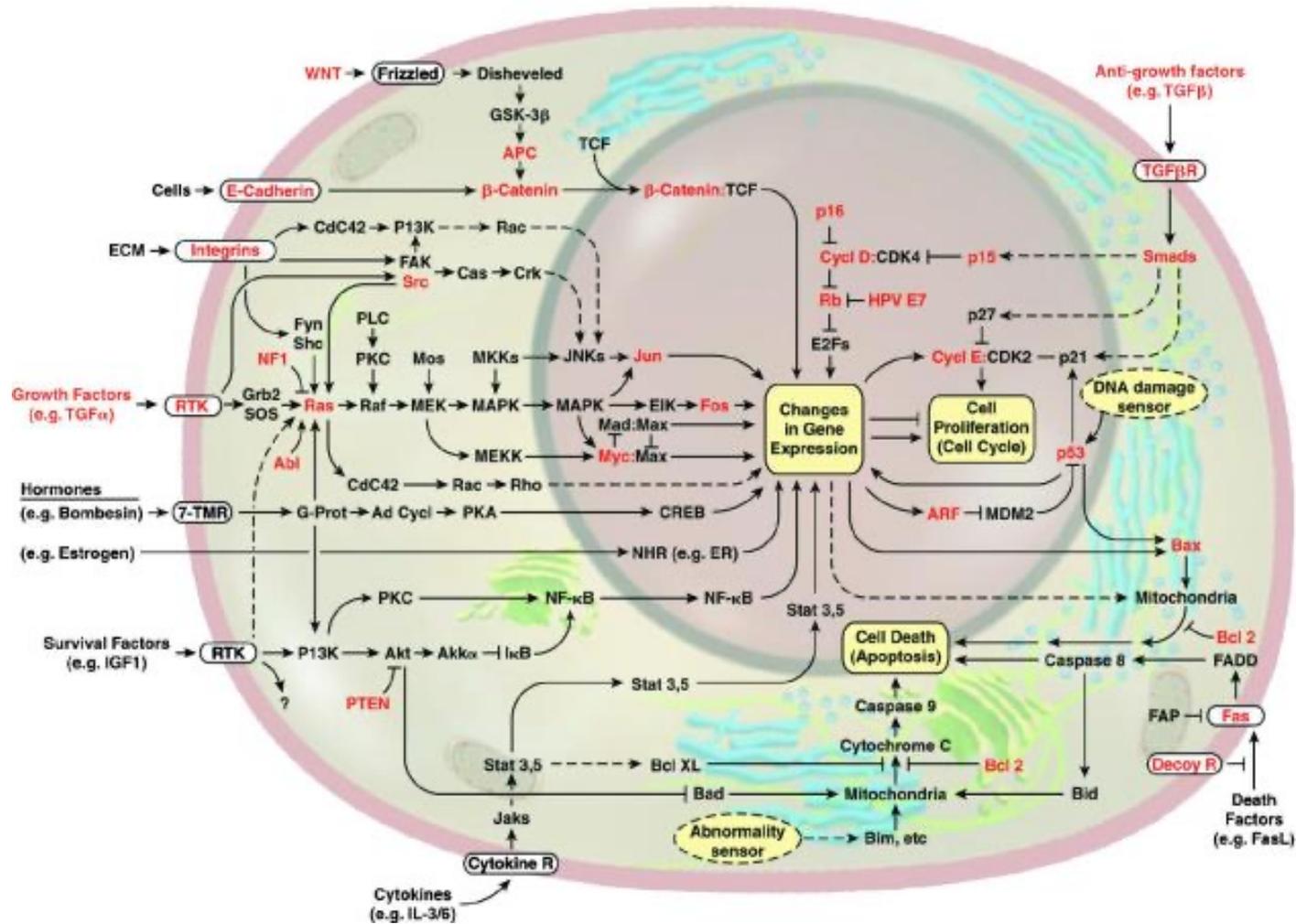
SISTEMAS COMPLEXOS SÃO (UM) CAOS



[Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems - Milne Open Textbooks \(opensuny.org\)](https://opensuny.org/)

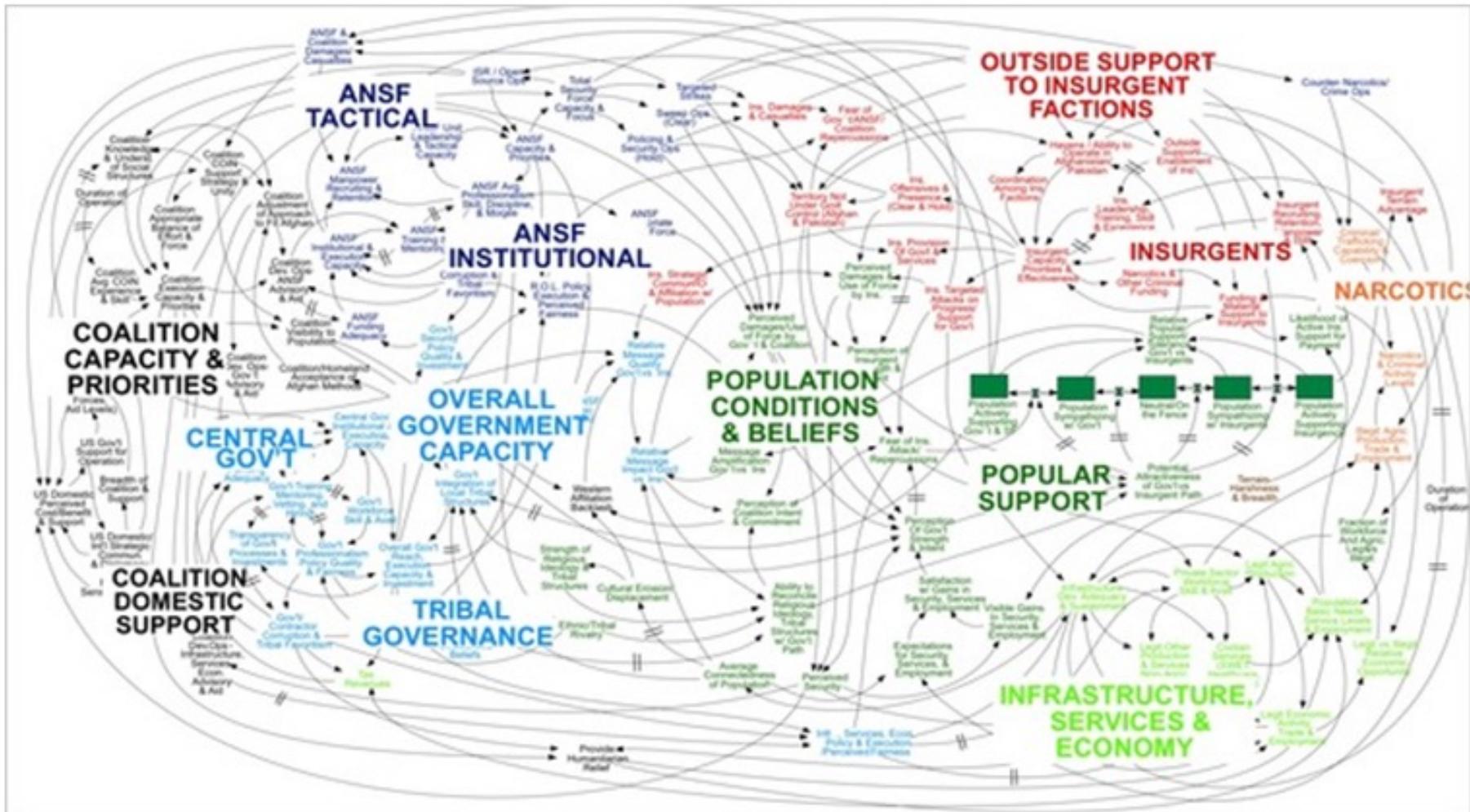


SISTEMA BIOLÓGICO



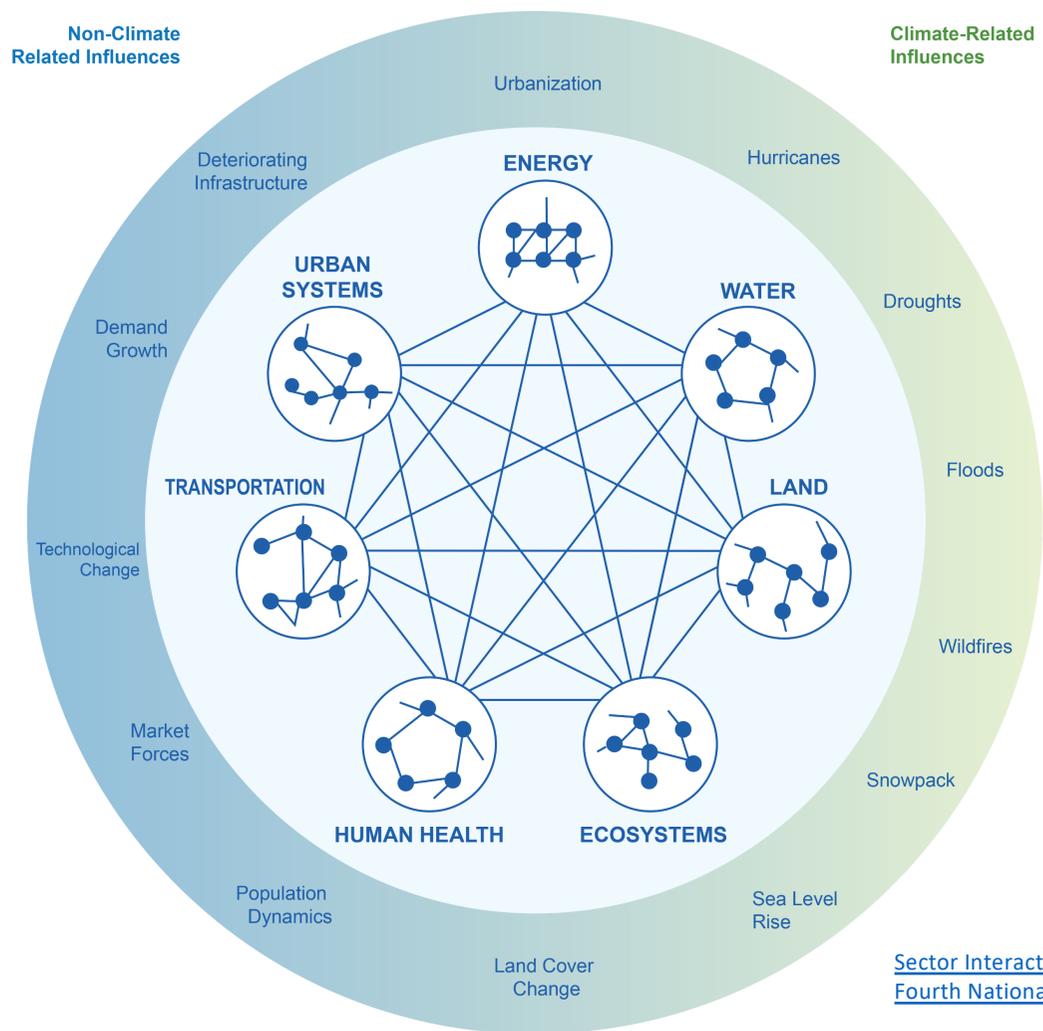


SISTEMA SOCIAL





SISTEMA GOVERNAMENTAL



[Sector Interactions, Multiple Stressors, and Complex Systems - Fourth National Climate Assessment \(globalchange.gov\)](https://www.globalchange.gov)



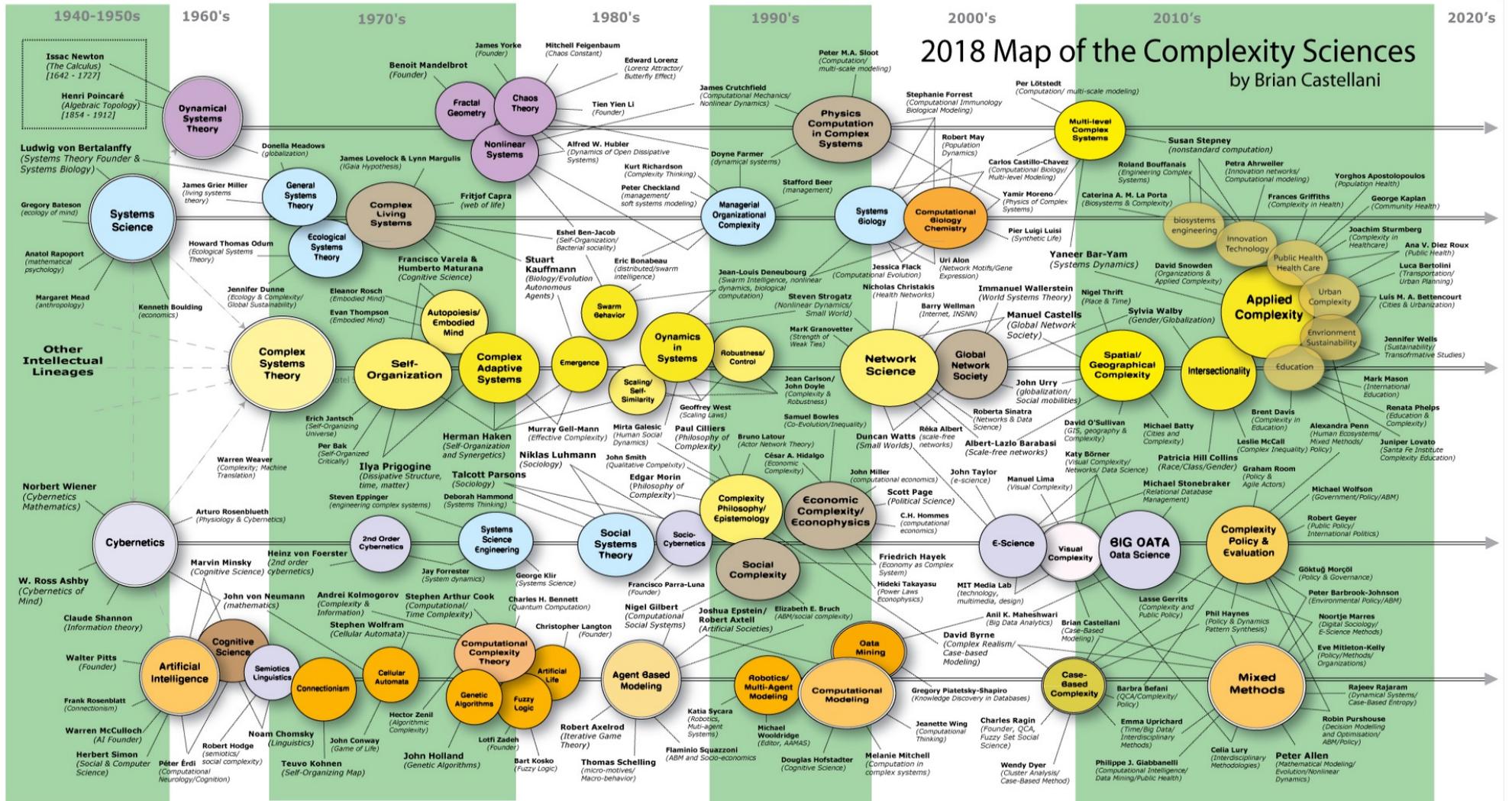
SISTEMA ARTIFICIAL





CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE

[complexity map castellani](#) [map of complexity science](#) [complexity theory](#) [complexity science](#) [complexity](#) [brian castellani](#) [durham sociology](#) [complexity \(art-sciencefactory.com\)](#)





BASES DO PENSAMENTO SISTÊMICO



PENSAMENTO SISTÊMICO

“uma disciplina para ver o todo... um framework para ver interrelações em vez de partes ... um processo de descoberta e diagnóstico ... e uma sensibilidade para a sutil interconexão que dá aos sistemas seu caráter único”



CONCEITOS

https://sebokwiki.org/wiki/Concepts_of_Systems_Thinking

Totalidade e
Interação

Regularidade

Estado e
Comportamento

Comportamento
de sobrevivência

Comportamento
de Busca de
Metas

Comportamento
de controle

Função

Hierarquia,
Emergência e
Complexidade

Eficácia,
Adaptação e
Aprendizagem



PRINCÍPIOS DO PENSAMENTO SISTÊMICO

https://sebokwiki.org/wiki/Principles_of_Systems_Thinking

Abstração	Fronteira	Mudanças	Dualismo	Encapsulamento
Equifinalidade	Holismo	Interação	Hierarquia de camadas	Alavancagem
Modularidade	Rede	Parcimônia	Regularidade	Relações
Separação de preocupações	Semelhança / Diferença	Estabilidade / Mudança	Síntese (criação)	Vista



PRINCÍPIOS DO PENSAMENTO SISTÊMICO

• Abstração	O foco nas características essenciais é importante na resolução de problemas, pois permite que os solucionadores de problemas ignorem o não essencial, simplificando assim o problema
• Fronteira	Um limite ou membrana separa o sistema do mundo externo. Ele serve para concentrar as interações dentro do sistema, permitindo a troca com sistemas externos.
• Mudanças	A mudança é necessária para o crescimento e a adaptação, e deve ser aceita e planejada como parte da ordem natural das coisas, em vez de algo a ser ignorado, evitado ou proibido.
• Dualismo	Reconhecer dualidades e considerar como elas são, ou podem ser, harmonizadas no contexto de um todo maior.
• Encapsulamento	Ocultar as partes internas e suas interações do ambiente externo.
• Equifinalidade	Em sistemas abertos, o mesmo estado final pode ser alcançado a partir de diferentes condições iniciais e de diferentes maneiras. Este princípio pode ser explorado, especialmente em sistemas de agentes propositais.
• Holismo	Um sistema deve ser considerado como uma entidade única, um todo, não apenas como um conjunto de partes.
• Interação	As propriedades, capacidades e comportamento de um sistema são derivados de suas partes, das interações entre essas partes e das interações com outros sistemas.
• Hierarquia de camadas	A evolução de sistemas complexos é facilitada por sua estrutura hierárquica (incluindo formas intermediárias estáveis) e a compreensão de sistemas complexos é facilitada por sua descrição hierárquica
• Alavancagem	Alcançar a alavancagem máxima (Hybertson 2009). Devido à disputa de poder versus generalidade, a alavancagem pode ser alcançada por uma solução completa (poder) para uma classe estreita de problemas, ou por uma solução parcial para uma ampla classe de problemas (generalidade).
• Modularidade	Partes não relacionadas do sistema devem ser separadas, e partes relacionadas do sistema devem ser agrupadas.
• Rede	A rede é uma topologia fundamental para sistemas que forma a base da união, conexão e interação dinâmica de partes que produzem o comportamento de sistemas complexos.
• Parcimônia	Deve-se escolher a explicação mais simples de um fenômeno, aquela que requer o menor número de pressupostos. Isso se aplica não apenas à escolha de um projeto, mas também às operações e requisitos.
• Regularidade	A ciência dos sistemas deve encontrar e capturar regularidades nos sistemas, porque essas regularidades promovem a compreensão dos sistemas e facilitam a prática dos sistemas.
• Relações	Um sistema é caracterizado por suas relações: as interconexões entre os elementos. O feedback é um tipo de relação. O conjunto de relações define a rede do Sistema.
• Separação de preocupações	Um problema maior é mais efetivamente resolvido quando decomposto em um conjunto de problemas ou preocupações menores .
• Semelhança/Diferença	Tanto as semelhanças quanto as diferenças nos sistemas devem ser reconhecidas e aceitas pelo que são. Evite forçar um tamanho único para todos e evite tratar tudo como inteiramente único.
• Estabilidade/Mudança	As coisas mudam a taxas diferentes, e entidades ou conceitos na extremidade estável do espectro podem e devem ser usados para fornecer um contexto orientador para entidades em rápida mudança na extremidade volátil do espectro. O estudo de sistemas adaptativos complexos pode dar orientação ao comportamento e design do sistema em ambientes em mudança.
• Síntese	Os sistemas podem ser criados "escolhendo (concebendo, projetando, selecionando) as partes certas, reunindo-as para interagir da maneira correta e orquestrando essas interações para criar propriedades necessárias do todo, de modo que ele funcione com ótima eficácia em seu ambiente operacional, resolvendo assim o problema que motivou sua criação"
• Vista	Múltiplas visualizações, cada uma baseada em um aspecto ou preocupação do sistema, são essenciais para entender um sistema complexo ou uma situação problemática. Uma visão crítica é como a preocupação se relaciona com as propriedades do todo.



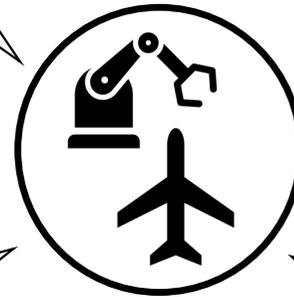
PROPRIEDADES DE UM SISTEMA



CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA

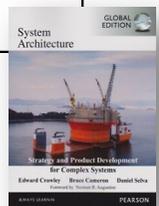
Funções e outras características emergem com as interações, guiadas pela forma dos relacionamentos. Essa emergencia é que define o sistema

Sistemas possuem forma e função, a forma é um instrumento da função.



Entidades estão ligadas através de relacionamentos que possuem também forma e função. Algumas entidades se relacionam com outras entidades fora da fronteira do sistema.

Sistemas são compostos de entidades, cada uma com sua forma e função. Essas entidades também são sistemas, e o próprio sistema pode ser uma entidade de outro sistema.





PRINCÍPIO DA EMERGÊNCIA

Quando as entidades do sistemas são conectadas, suas interações vão causar funções, comportamentos, performances e outras propriedades que irão emergir.



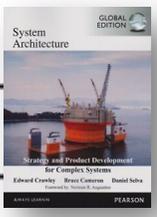
This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



- **Emergência é o “*poder e a mágica*” dos sistemas.** Ela se refere a que aparece, se materializa, ou transborda quando o sistema existe. **Obter essa emergência é o motivo pela qual engenheiramos sistemas.**
- **Entender a emergência é o objetivo – e talvez a arte – do pensamento sistêmico.**
- O que emerge geralmente são: **funções/funcionalidades.**
- Funções são as “coisas” que o sistema deve fazer. Nós devemos projetar sistemas, antecipando as funções que irão emergir.

TABLE 2.1 | Types of emergent functions

	Anticipated Emergence	Unanticipated Emergence
Desirable	Cars transport people Cars keep people warm/cool Cars entertain people	Cars create a sense of personal freedom in people
Undesirable	Cars burn hydrocarbons	Cars can kill people



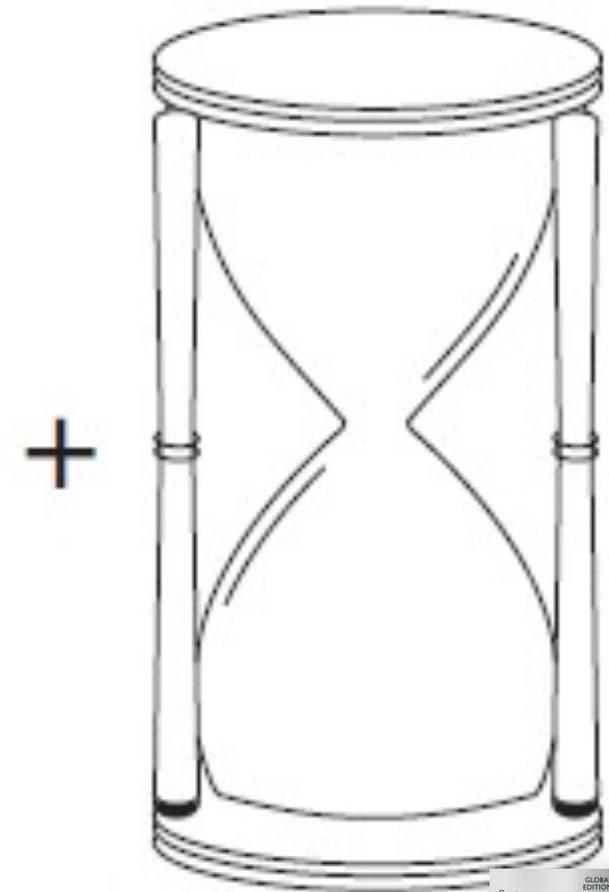
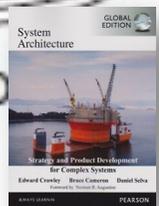


FIGURE 2.1 Emergent function from sand and a funnel: Time keeping. (Source: LOOK D Bildagentur der Fotografen GmbH/Alamy)



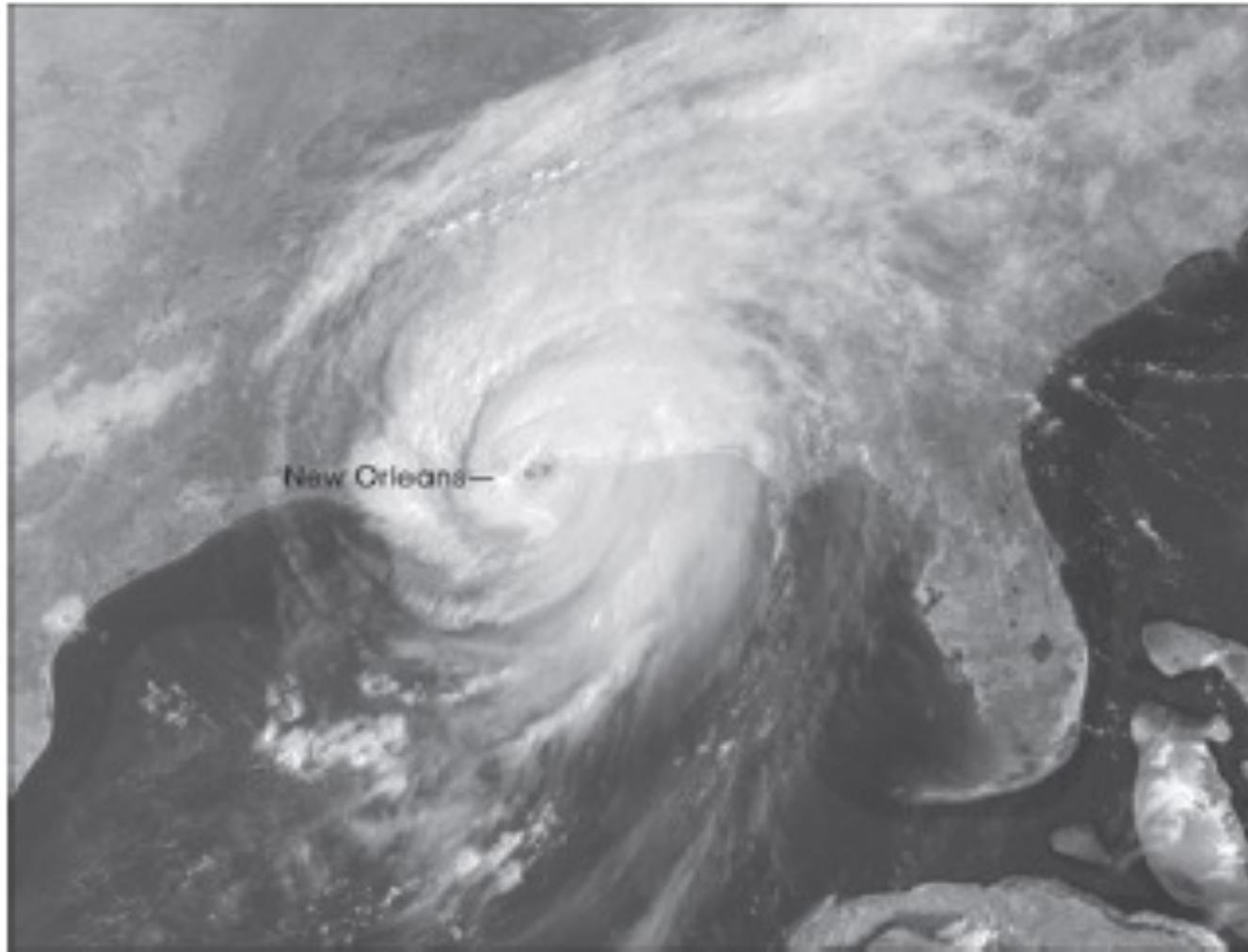
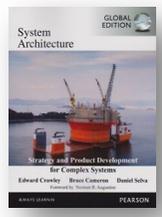


FIGURE 2.3 Emergency as emergence: Hurricane Katrina. (Source: Image courtesy GOES Project Science Office/NASA)





INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE SISTEMAS



O QUE É ENGENHARIA DE SISTEMAS:



O QUE É ENGENHARIA DE SISTEMAS?

Engenharia de Sistemas são meios e abordagens transdisciplinares, baseados em conceitos e princípios sistêmicos, para permitir uma realização bem sucedida, uso e descarte de sistemas engenheirados.

Focando em:

- estabelecer as **motivações e critérios de sucesso** dos stakeholders (interessados e impactados), ajudando a definir as necessidades atuais e antecipando funcionalidades no início do ciclo de desenvolvimento;
- estabelecer um **modelo de ciclo de vida** apropriado e os processos considerando a complexidade, incertezas e possíveis mudanças;
- **documentar e modelar requisitos e arquiteturas** de cada fase dessa atividade;
- continuar com o **desenvolvimento e a verificação/validação**;
- enquanto considerando **todo o problema** e **todos os sistemas e serviços** que dão suporte ao sistema de interesse.



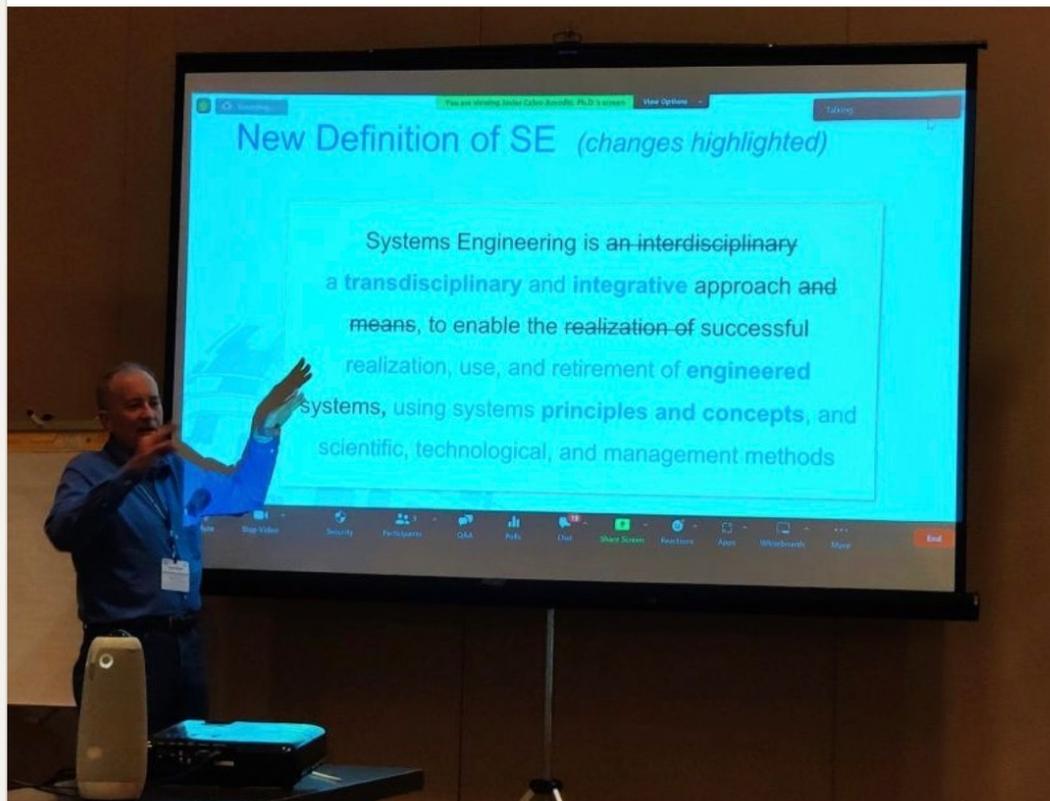
Bernardo A. Delicado · 1st

PhD/INCOSE ESEP/Systems Thinker/Stay Hungry, Sta...

3d · 🌐



James Martin explains the need of a new definition of **#systemsengineering** during a Systems Science WG session at **INCOSE IW2023**



👤👍👉 You and 101 others

31 comments · 7 reposts



👏 Celebrate

💬 Comment

🔄 Repost

➤ Send

https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7025618932573036544?updateEntityUrn=urn%3Ali%3Afs_feedUpdate%3A%28V2%2Curn%3Ali%3Aactivity%3A7025618932573036544%29



What is Systems Engineering?

Systems Engineering is a *transdisciplinary* and *integrative* approach to enable the successful realization, use, and retirement of *engineered systems*, using *systems principles and concepts*, and scientific, technological, and management methods.

We use the terms “engineering” and “engineered” in their **widest sense**: “the action of working artfully to bring something about”. “**Engineered systems**” may be composed of any or all of people, products, services, information, processes, and natural elements.

Engineered System Definition

An **engineered system** is a system designed or adapted to interact with an anticipated operational environment to achieve one or more intended purposes while complying with applicable constraints.

Thus, an “engineered system” is a system – not necessarily a technological one – which has been or will be “systems engineered” for a purpose.

Most General “System” Definition

A **system** is an arrangement of parts or elements that together exhibit behaviour or meaning that the individual constituents do not.

Systems can be either **physical** or **conceptual**, or a combination of both.

Systems in the physical universe are composed of matter and energy, may embody information encoded in matter-energy carriers, and exhibit observable behaviour.

Conceptual systems are abstract systems of pure information, and do not directly exhibit behaviour, but exhibit “meaning”. In both cases, the system’s properties (as a whole) result, or emerge from:

- the parts or elements and their individual properties; AND
- the relationships and interactions between and among the parts, the system and its environment.

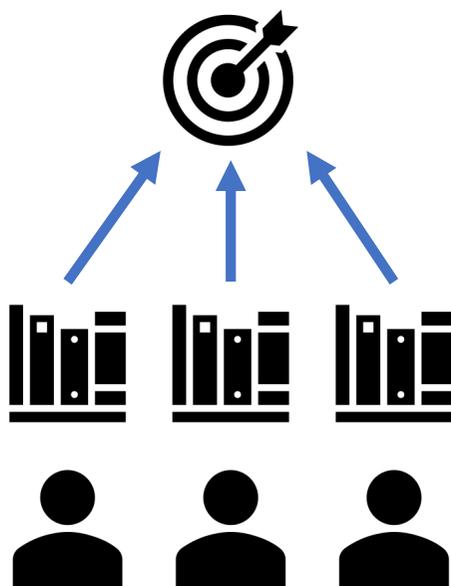
Definitions of the International Council on Systems Engineering (INCOSE) 2019



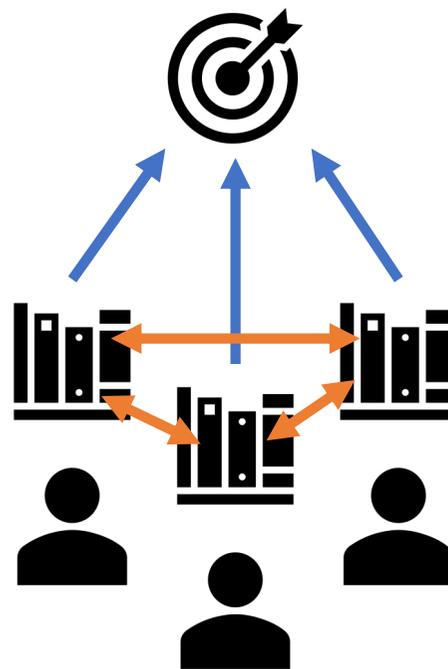
TRANSDISCIPLINARIEDADE



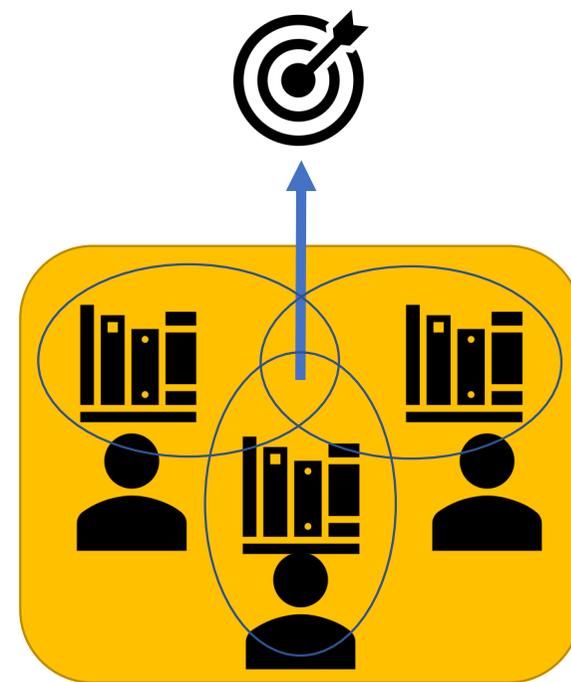
DEFINIÇÕES



MULTIDISCIPLINAR



INTERDISCIPLINAR



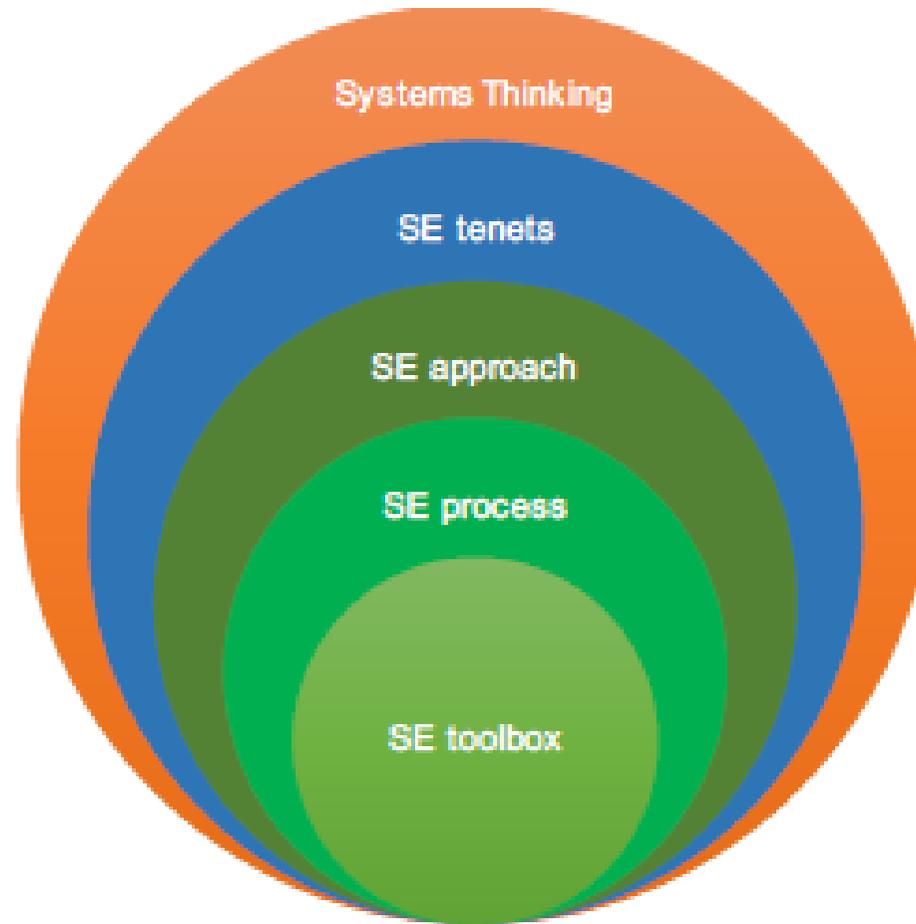
TRANSDISCIPLINAR



PRINCÍPIOS



QUATRO ASPECTOS DA ENGENHARIA DE SISTEMAS





O QUE É ENGENHARIA DE SISTEMAS?

Engenharia de Sistemas são **meios e abordagens** transdisciplinares, baseados em conceitos e princípios sistêmicos, para permitir uma realização bem sucedida, uso e descarte de sistemas engenheirados.

Focando em:

- estabelecer as **motivações e critérios de sucesso** dos stakeholders (interessados e impactados), ajudando a definir as necessidades atuais e antecipando funcionalidades no início do ciclo de desenvolvimento;
- estabelecer um **modelo de ciclo de vida** apropriado e os processos considerando a complexidade, incertezas e possíveis mudanças;
- **documentar e modelar requisitos e arquiteturas** de cada fase dessa atividade;
- continuar com o **desenvolvimento e a verificação/validação**;
- enquanto considerando **todo o problema** e **todos os sistemas e serviços** que dão suporte ao sistema de interesse.



UM POUCO DE CONTROVÉRSIA

- Os engenheiros de sistemas geralmente falam sobre o uso de uma "abordagem de sistemas" para trabalhar em um problema que parece mais amplo ou mais difuso do que a "engenharia normal" (seja lá o que isso for 🙄).
- **Tal “abordagem de sistemas” usa princípios ou crenças de sistemas que são de valor comprovado em um contexto de engenharia e também são úteis em outros lugares.**
- Usaremos o termo "princípios de engenharia de sistemas" para nos referirmos a um conjunto chave de princípios e crenças extraídos de vários ramos do pensamento sistêmico e das ciências dos sistemas, que parecem sustentar a maior parte ou todo o que atualmente reconhecemos como engenharia de sistemas.



12 PRINCÍPIOS DE ENGENHARIA DE SISTEMAS

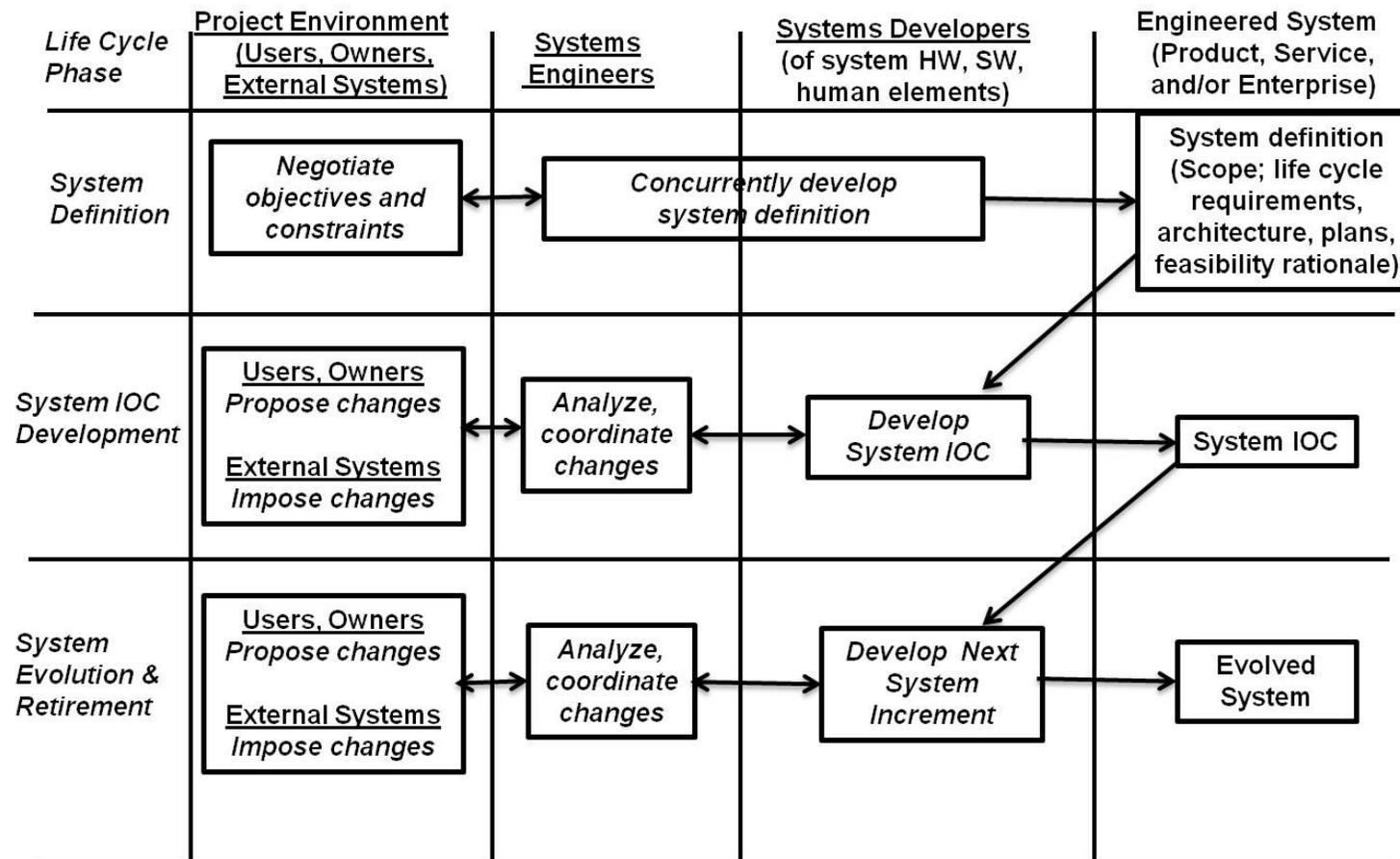
1. Entenda o que significa **sucesso**
2. Considere **todo o problema, toda a solução e todo o ciclo de vida**
3. Compreender e gerenciar **interdependências**
4. **Adaptar as partes** para servir o propósito do todo
5. Reconhecer que a Engenharia de Sistemas ocorre em **vários níveis**
6. Baseie as decisões em provas e em **juízos fundamentados**
7. Reconhecer a **incerteza** ao gerenciar mudanças, oportunidades de risco e expectativas
8. Lidar com **estrutura e comportamento** como dois aspectos complementares de qualquer sistema
9. Compreender e usar o **feedback** (loop)
10. Compreender e gerir o **valor**
11. Seja **sistêmico e sistemático**
12. **Respeite** as pessoas



POSICIONAMENTOS

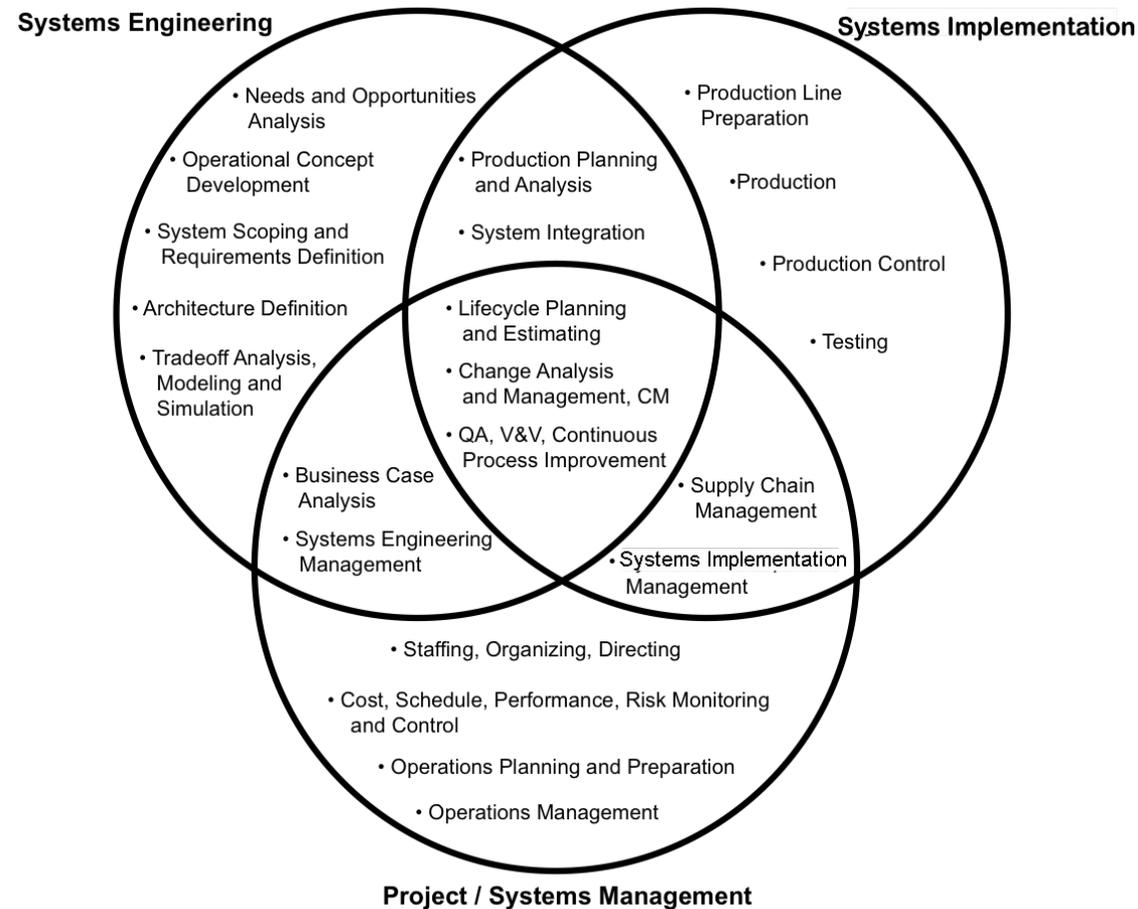


POSICIONAMENTO NO CICLO DE DESENVOLVIMENTO





POSICIONAMENTO ENTRE OUTRAS DISCIPLINAS





CONSIDERAÇÕES FINAIS



CONCEPTIO FRAMEWORK

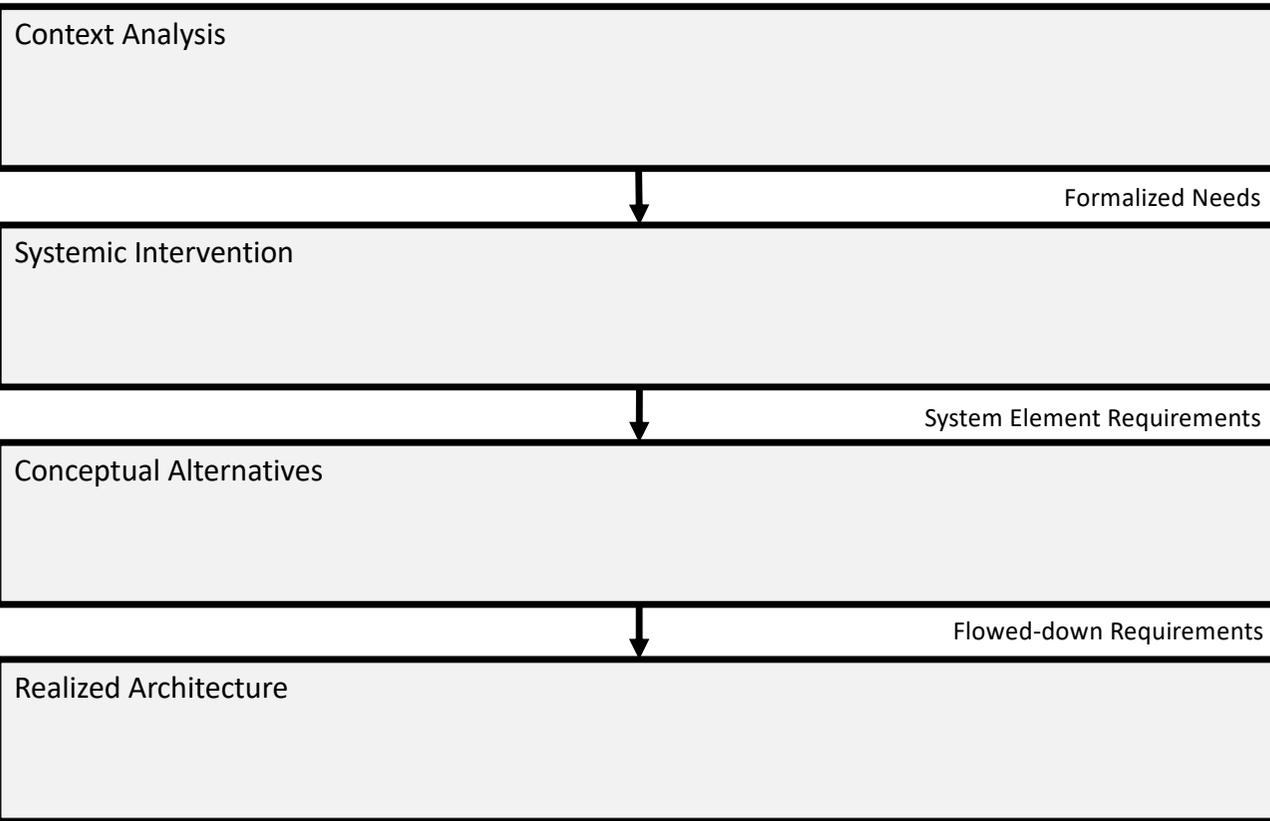


Problem



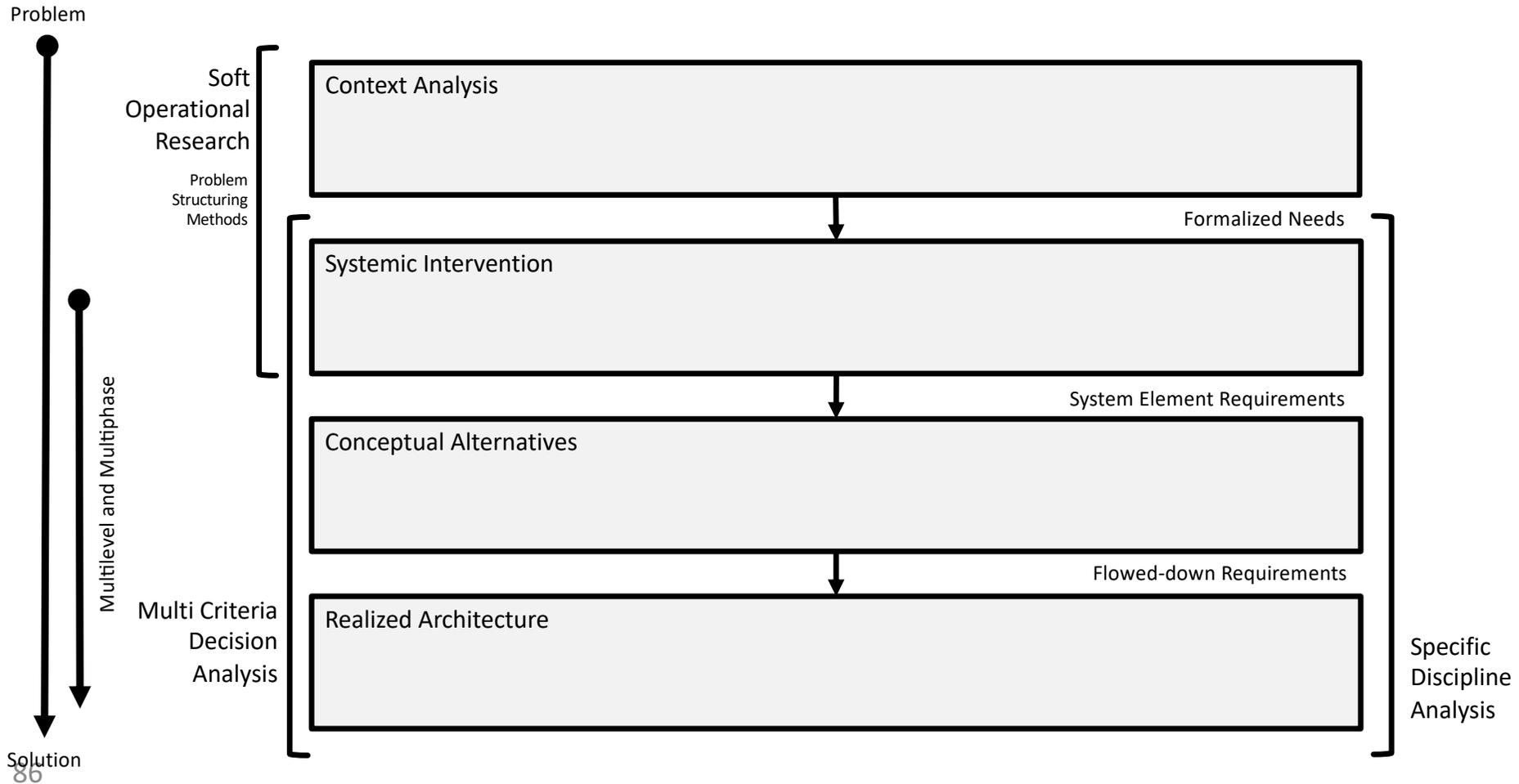
Solution

Multilevel and Multiphase



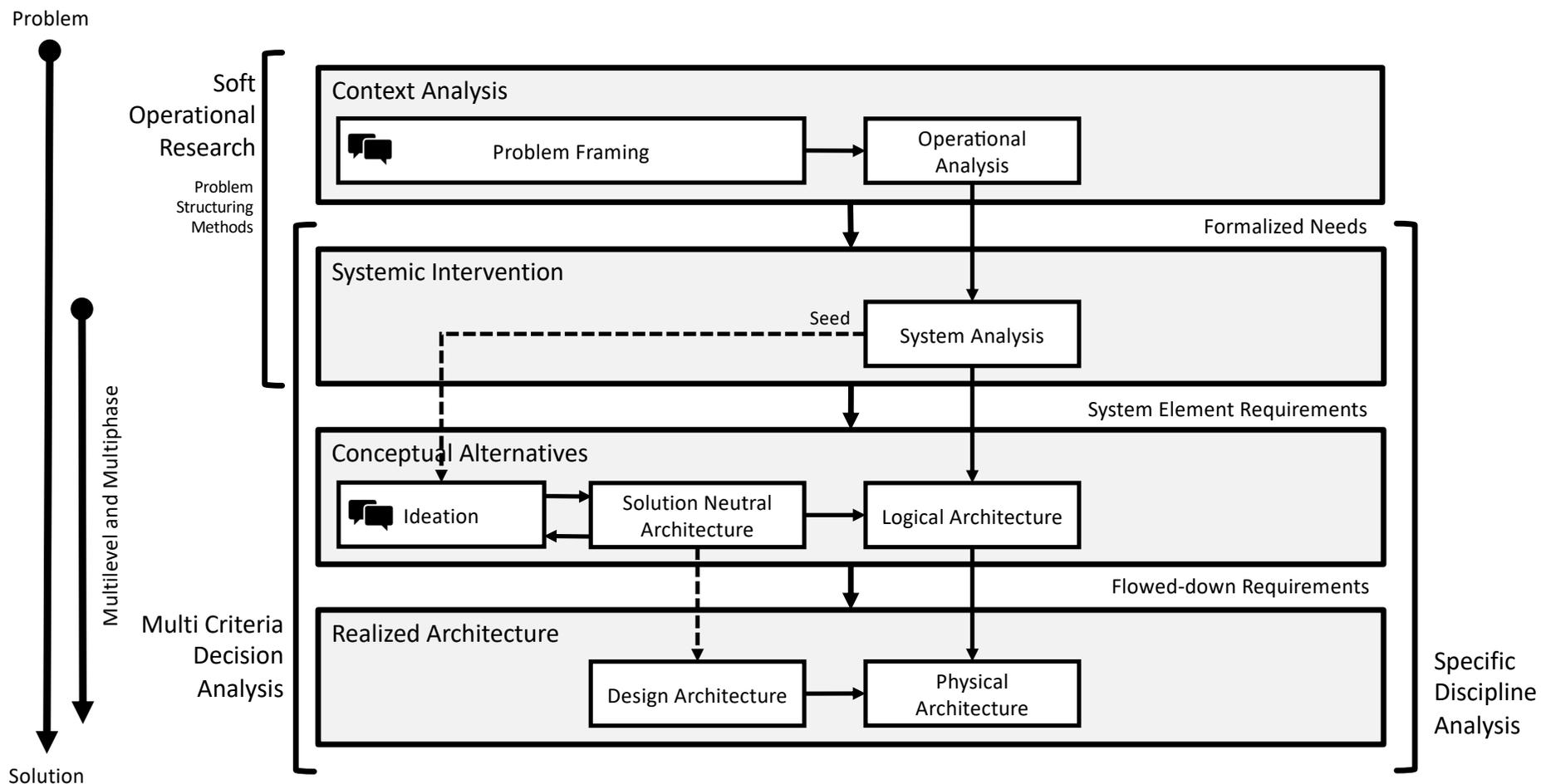


CONCEPTIO FRAMEWORK



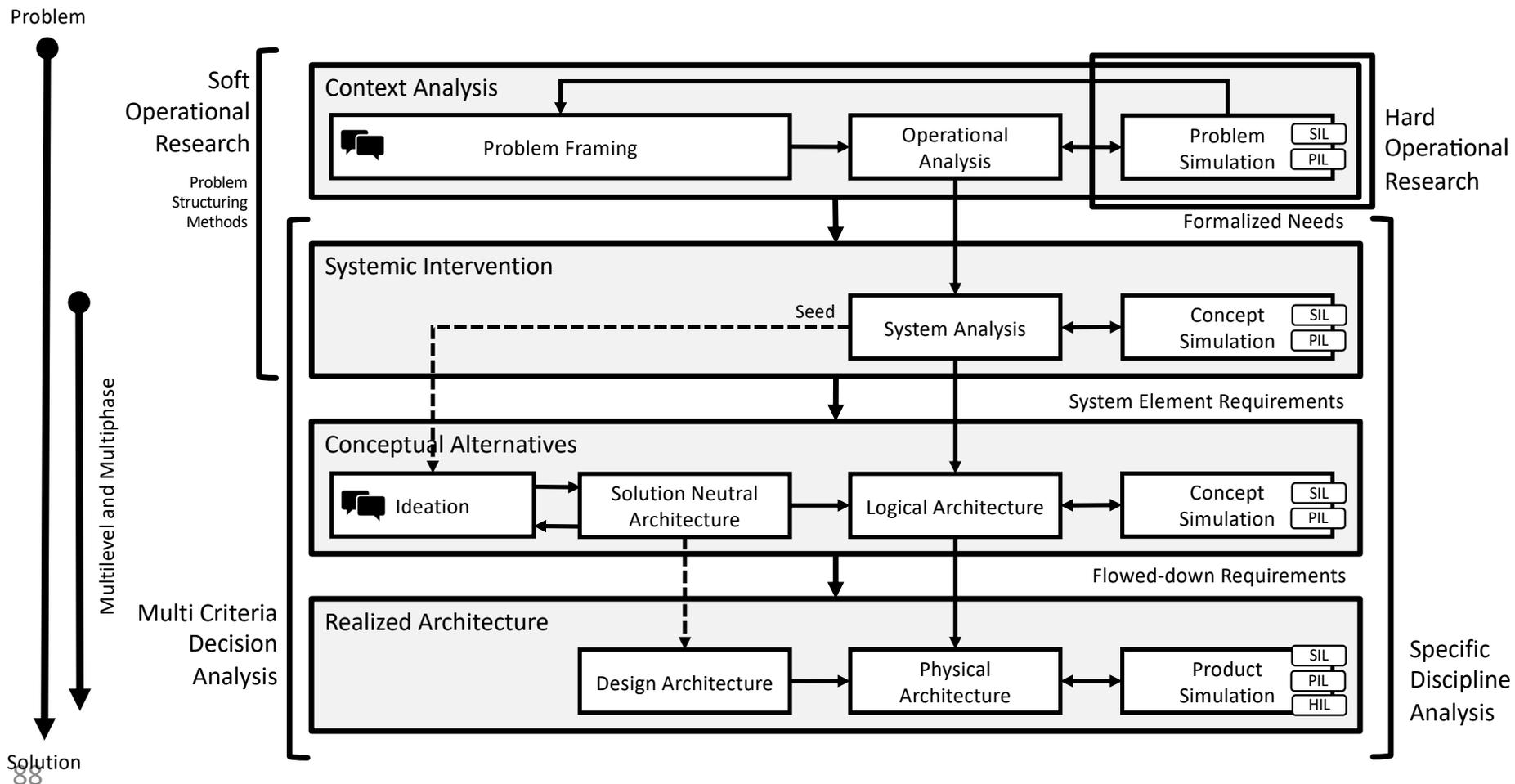


CONCEPTIO FRAMEWORK



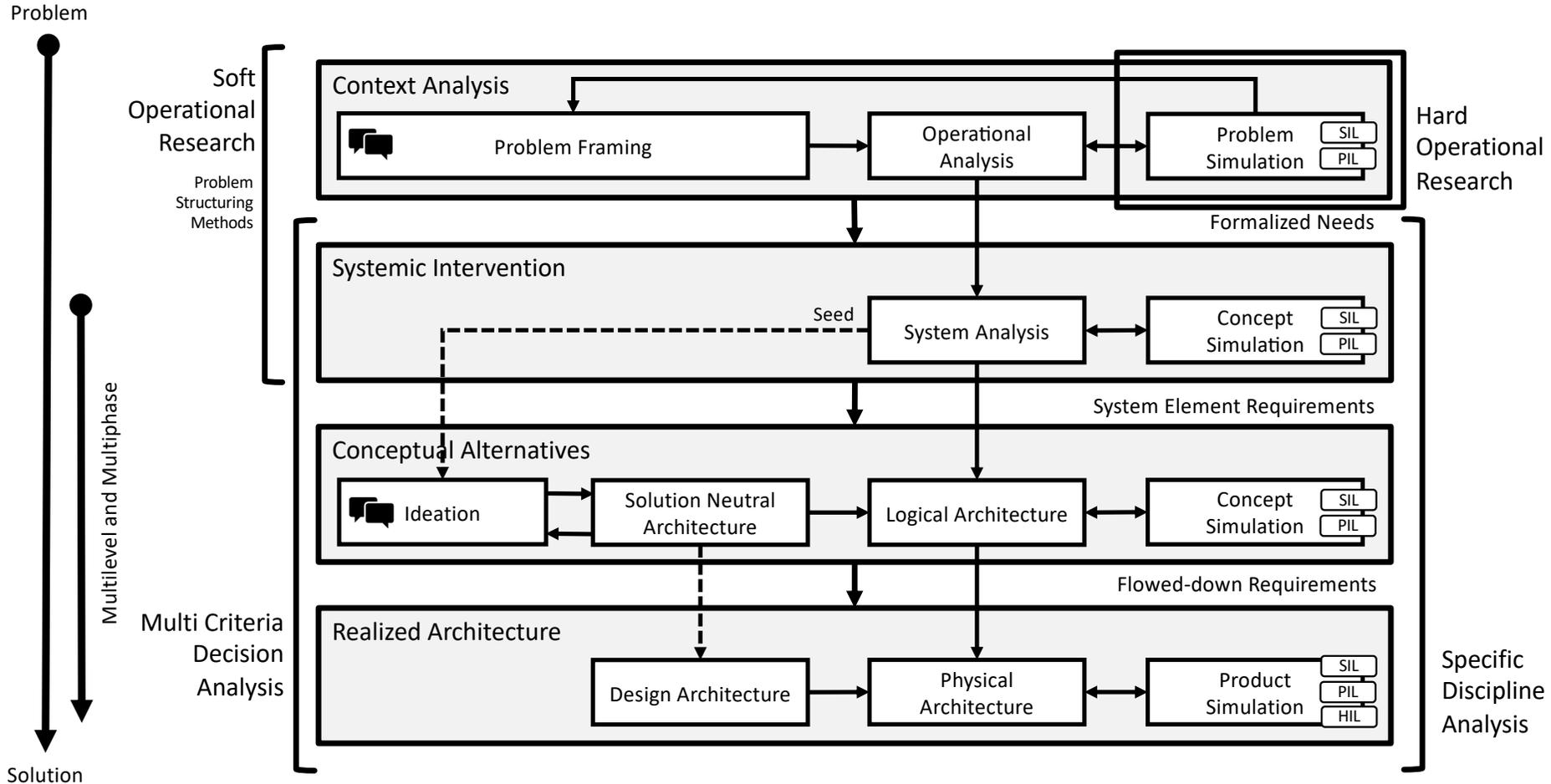


CONCEPTIO FRAMEWORK





CONCEPTIO FRAMEWORK



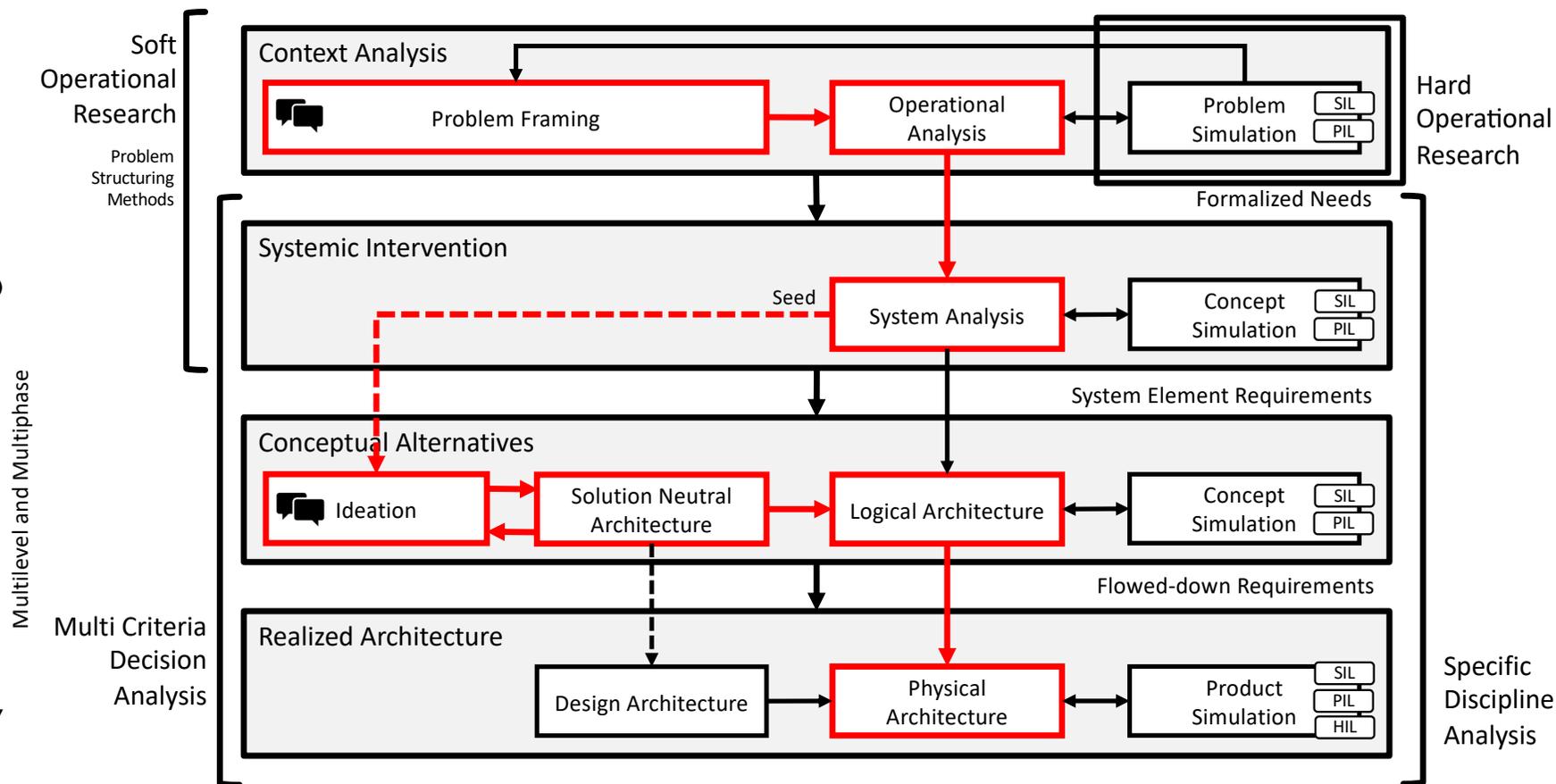


CONCEPTIO FRAMEWORK



Problem

Solution



DCA-400-6

PNOP

NOP

ROP

RTLI



CONCEPTIO FRAMEWORK



Problem

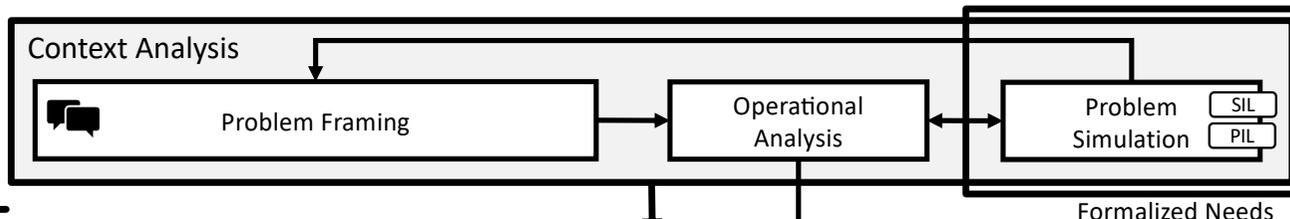


Capella
Open Source MBSE Solution



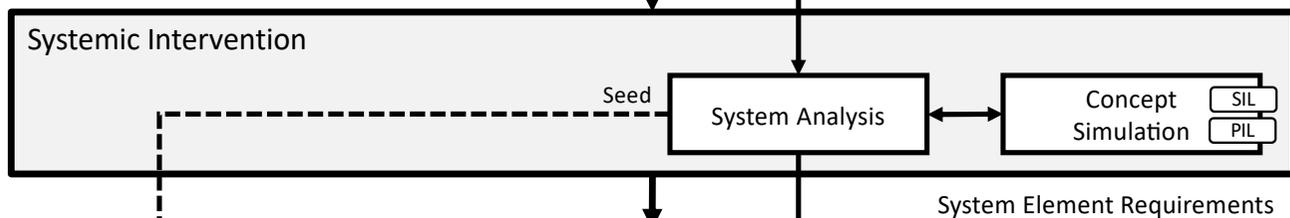
DCA-400-6

Soft
Operational
Research
Problem
Structuring
Methods

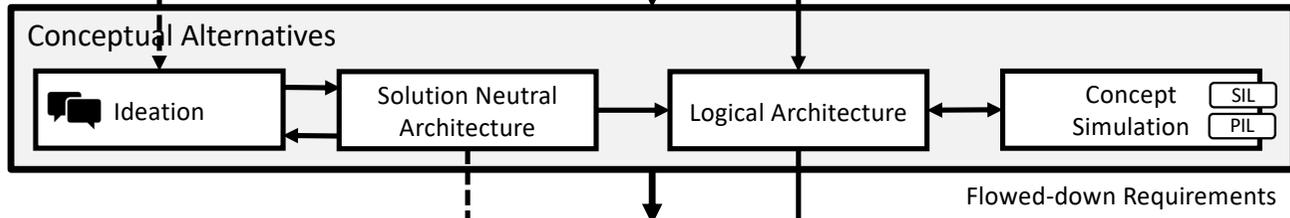


Hard
Operational
Research

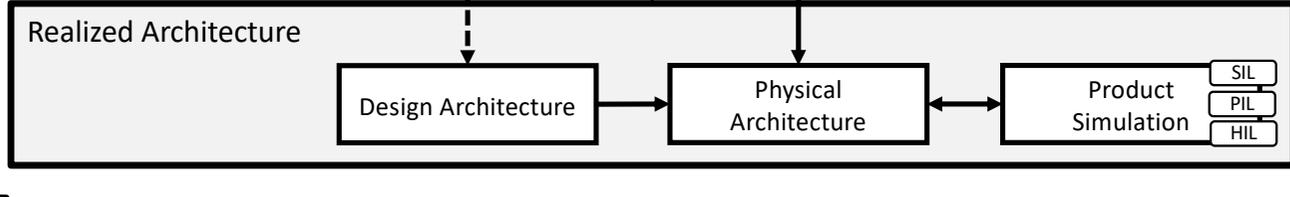
→ PNOP



→ NOP



→ ROP



→ RTLI

Multilevel and Multiphase

Multi Criteria
Decision
Analysis

Solution



RESUMO

- Estrutura do Curso
- Definições básicas do pensamento sistêmico
 - Princípio da emergência
- Definições básicas da Engenharia de Sistemas
 - Meios e abordagens transdisciplinares
- Exercícios para a próxima aula:
 - Ex.1.1 – grupo – estudar o tema e **montar um pitch** (5min)
 - Ex.1.2 – ind – escolher um evento qualquer e **analisar pela ótica dos princípios sistêmicos** (são 20)
 - Ex.1.3 – ind – escolher uma forma de realizar o domínio do problema ou solução e **analisar através dos princípios da engenharia de sistemas** (12)