



SEM5951

Fatores Humanos em Aviação

Histórico e Conceitos Preliminares

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto

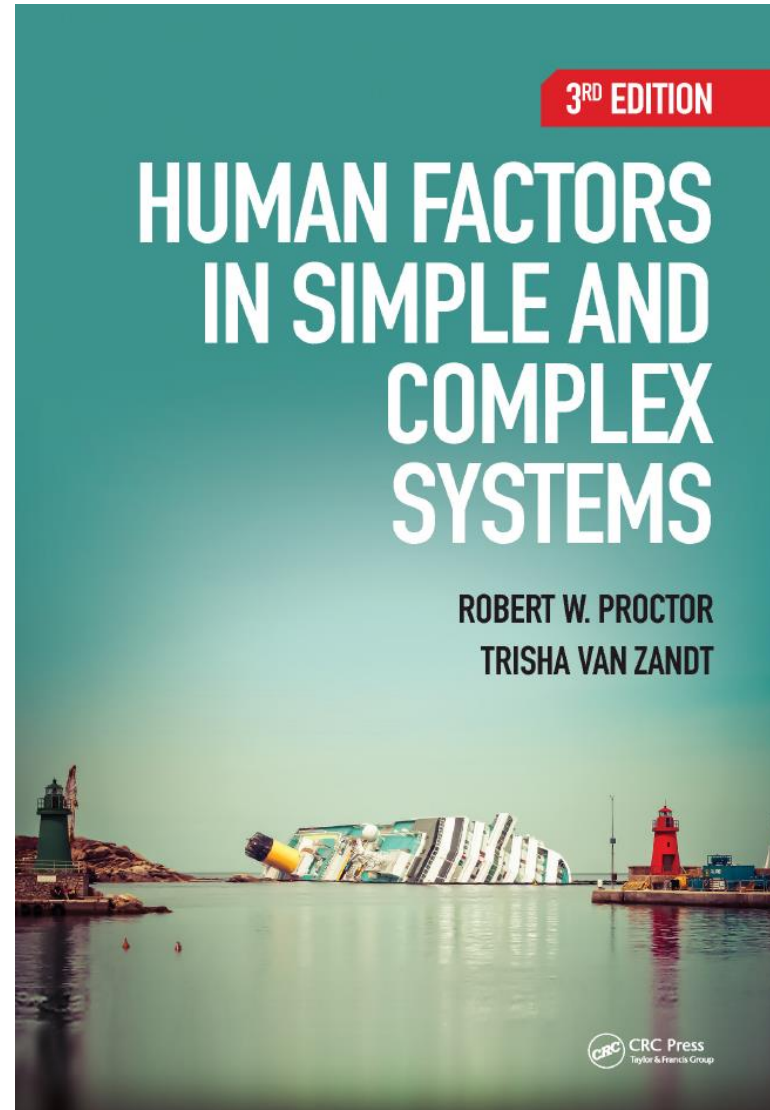
jhbidi@sc.usp.br

- Conceitos Preliminares
- Histórico e Fundamentos
- Metodologias de Pesquisa em Fatores Humanos
- Confiabilidade e Erro Humano
- Processamento de Informação

- Conceitos Preliminares
- Histórico e Fundamentos
- Metodologias de Pesquisa em Fatores Humanos
- Confiabilidade e Erro Humano
- Processamento de Informação

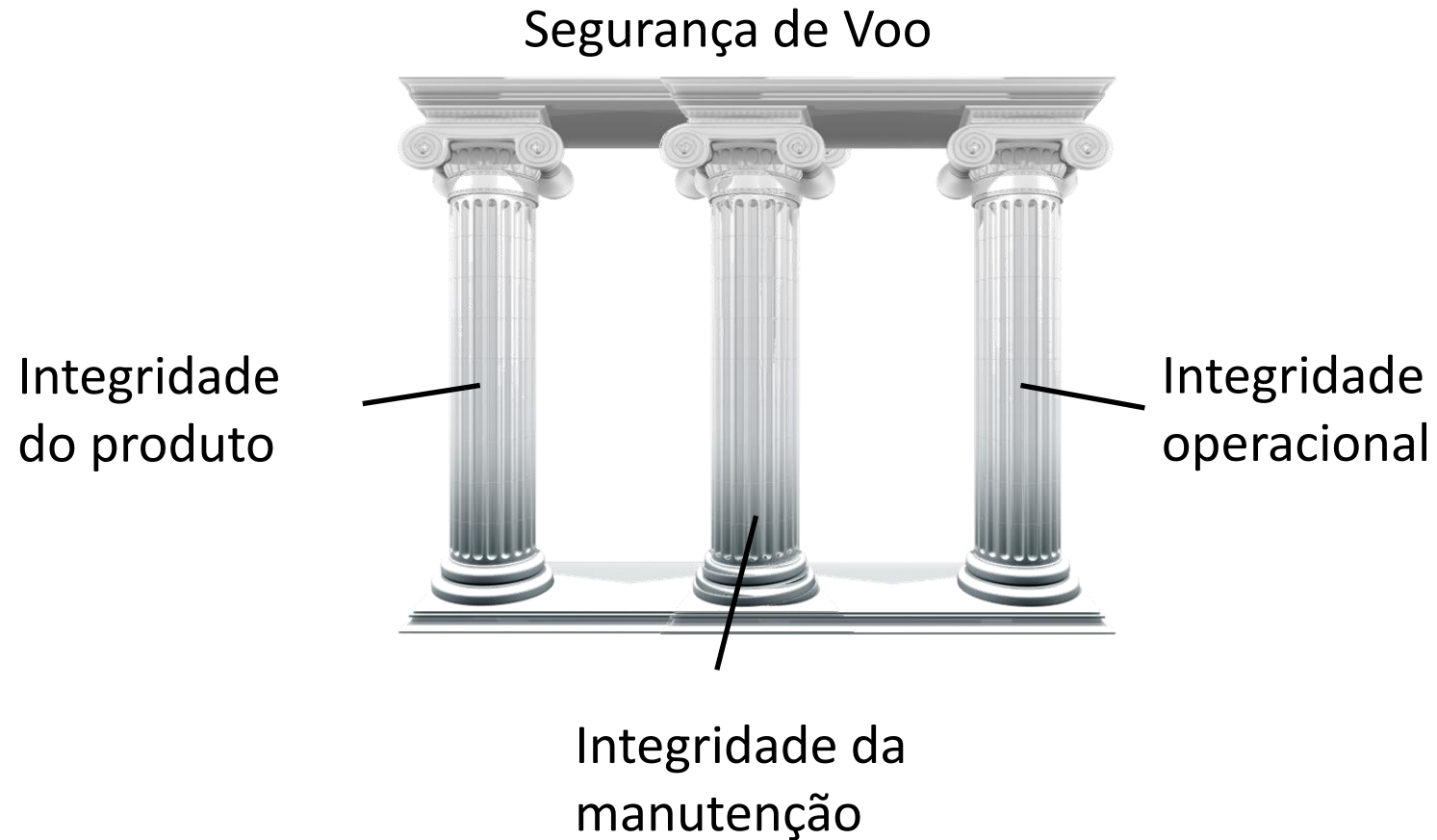
- Avaliação será feita por trabalho em grupo, a ser entregue no final do semestre
- As aulas serão das 14:20 às 16h. Após esse horário, estarei disponível para tirar dúvidas e conversar sobre o trabalho
- TENTATIVAMENTE, serão realizadas aulas demonstrativas no Simulador de Voo (opcionais, sem peso na avaliação)

- Bibliografia principal para a parte inicial do curso



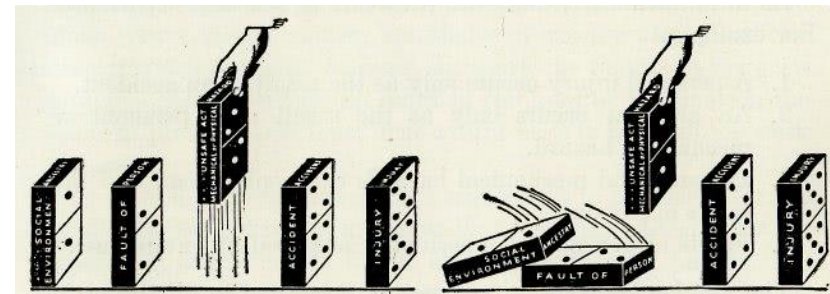
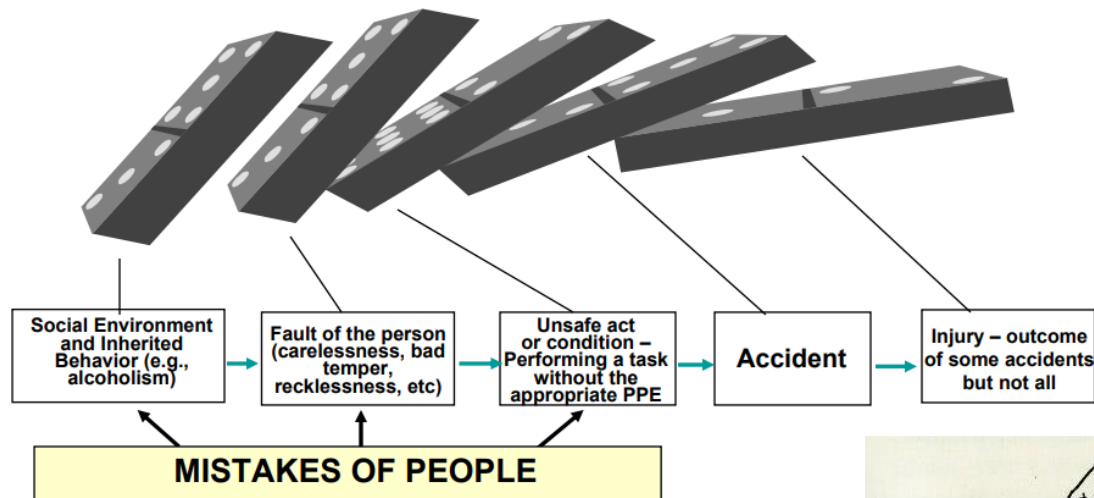
- Fatores que influenciam um projeto seguro:
 - Tecnologia
 - Metodologia
 - Lições Aprendidas
 - Requisitos
 - Fatores Humanos
 - Conhecimento das Falhas

- Segurança de Voo



- Segurança de Voo – Modelos
- Modelo Sequencial (Dominó)

Herbert W. Henrich (1932)



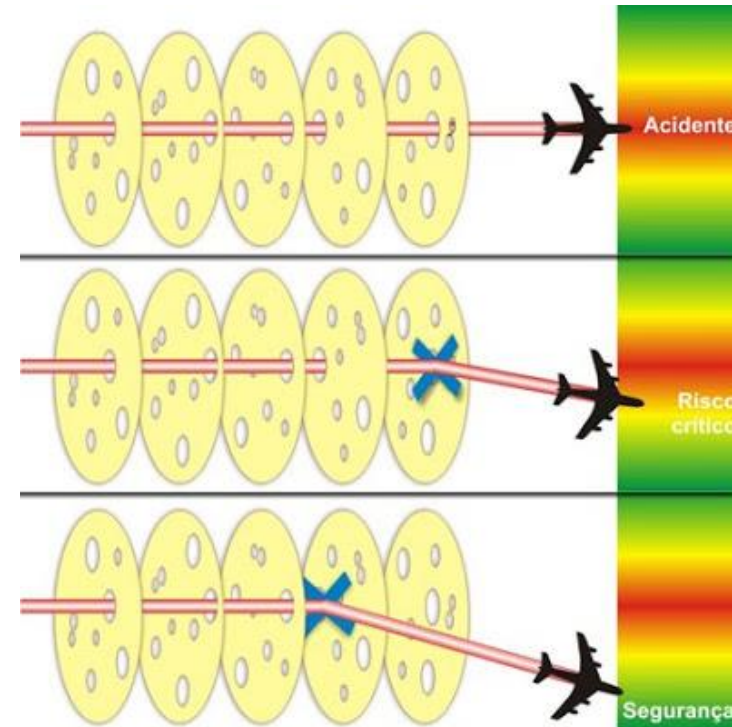
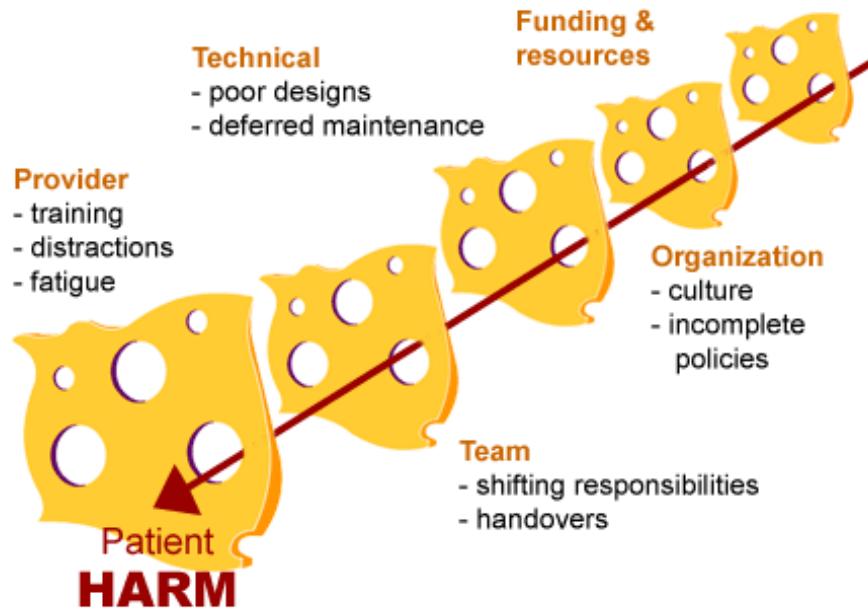
- **Segurança de Voo – Modelos**
- Pirâmide de Heinrich

Herbert W. Henrich



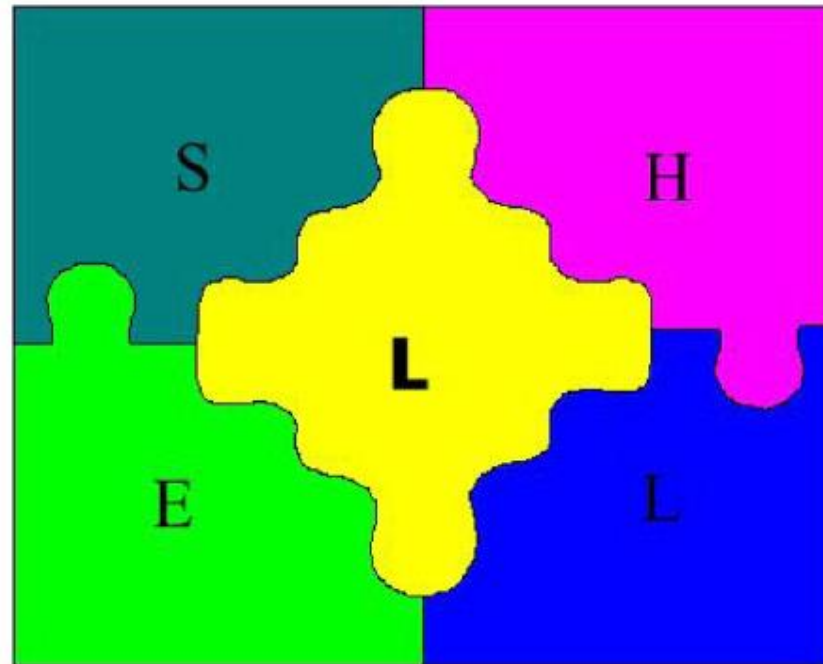
- Segurança de Voo – Modelos
- Modelo do queijo suíço

James Reason (década de 1980)



- Segurança de Voo – Modelos
- Modelo SHELL

Edwards & Hawkins (década de 1970)



- **Segurança de Voo – Modelos**
- Modelo SHELL

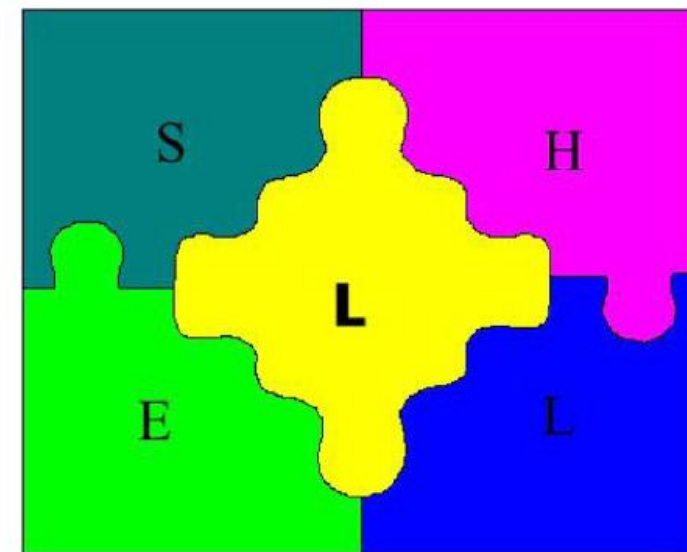
Edwards & Hawkins (década de 1970)

Software (S): Suporte lógico, representa todo tipo de informação escrita disponível (requisitos normativos, manuais de operação, fichas de despacho, etc.) e também a automatização dos processos (piloto automático, planilhas de calculo etc.);

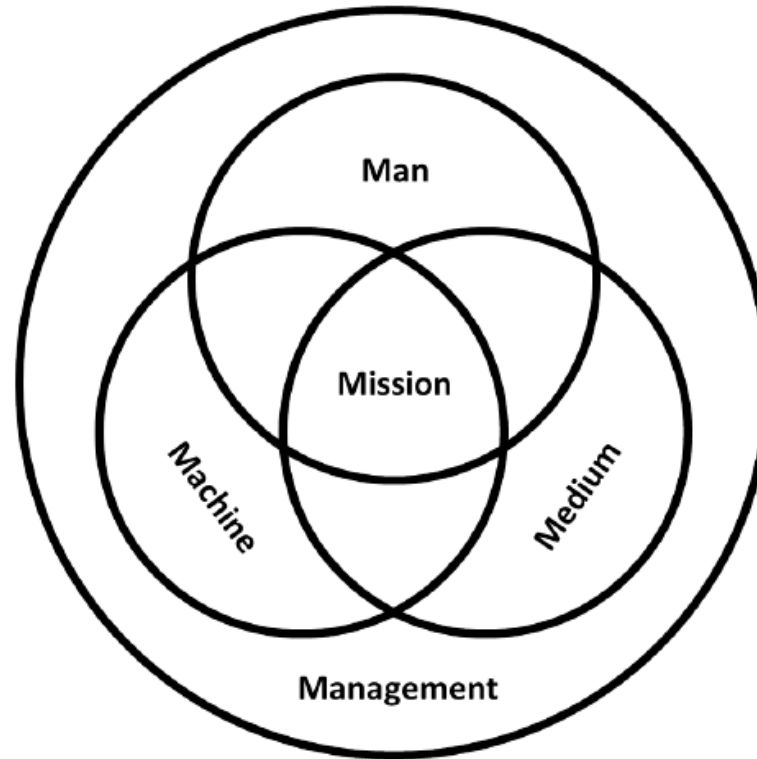
Hardware (H): simboliza os equipamentos em si com todas as variáveis envolvidas (ergonomia, espaço de trabalho etc.);

Environment (E): retrata o ambiente, sendo assim, pode estar para as condições dos espaços físico interno e externo a aeronave, assim como para os hangares de manutenção, conjuntura de pátio de manobras etc.;

Liveware (L): trata-se do próprio elemento humano com suas capacidades e limitações fisiológicas, psicológicas e sociais (visão, audição, vícios, personalidade, motivação, atenção, relações, problemas etc.).

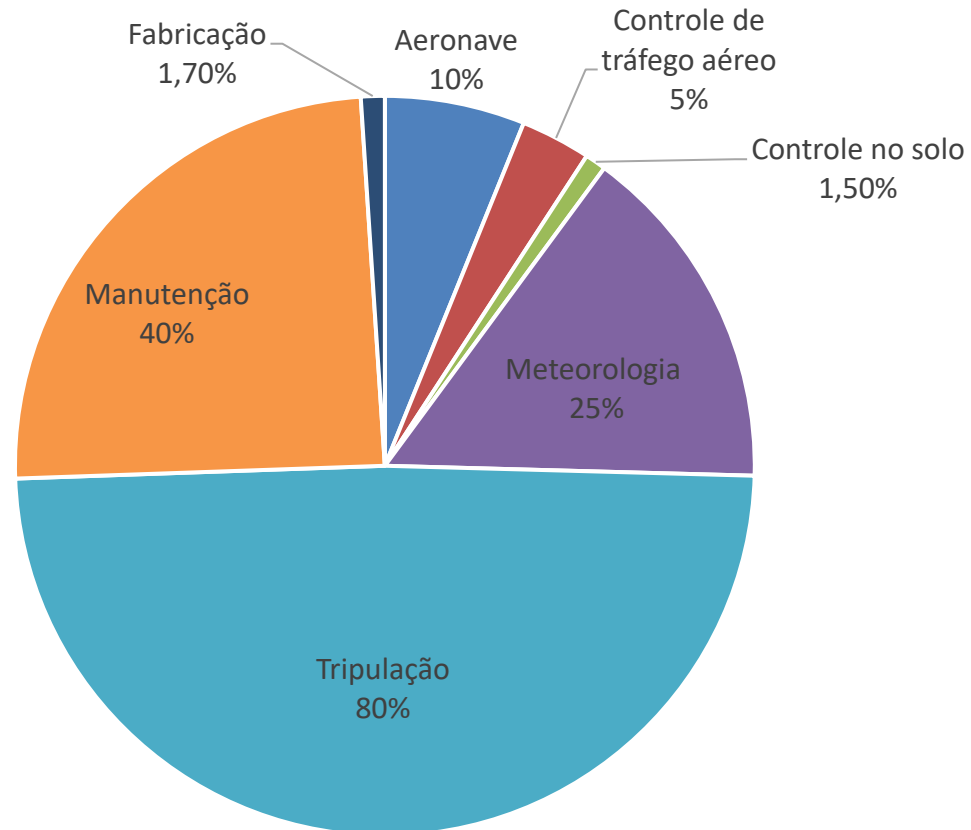


- Segurança de Voo – Modelos
- Teoria 5M



- Segurança de Voo

Influência de cada elemento em acidentes

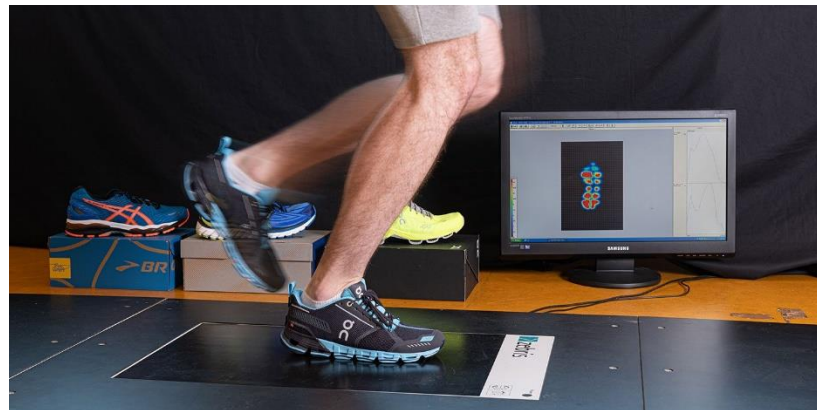
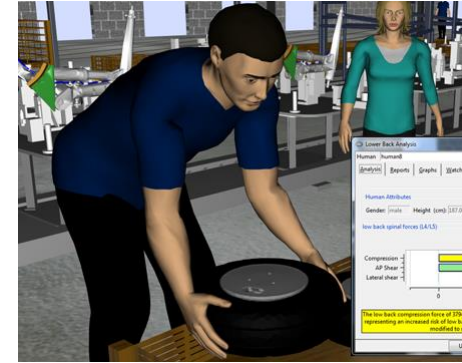


- Conceitos Preliminares
- Histórico e Fundamentos
- Metodologias de Pesquisa em Fatores Humanos
- Confiabilidade e Erro Humano
- Processamento de Informação

- Os primeiros registros conhecidos do estudo de Fatores Humanos são da década de 1670, onde Giovanni Borelli, aluno de Galileo, mostrou preocupação com a biomecânica de trabalhadores do campo
- Ao longo do tempo, poucos trabalhos foram realizados nessa área do conhecimento
- Com os avanços tecnológicos ocorridos na II Guerra Mundial, a preocupação com a performance de operadores, bem como o aumento da produtividade em empresas, iniciou um aumento expressivo de estudos nessa área
- O desenvolvimento crescente fez com que essa área ainda esteja em grande expansão

- Algumas áreas com grande interesse em fatores humanos:

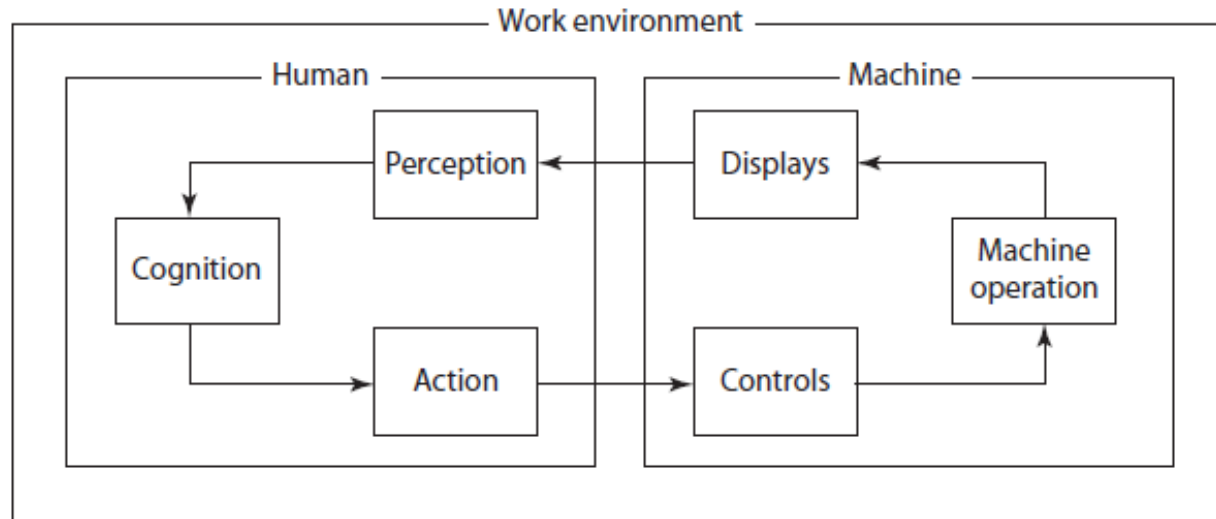
- Aeronáutica
- Automobilística
- Computação
- Medicina
- Segurança
- Processos produtivos
- Esportes
- Etc.



- Alguns termos importantes que foram assimilados a Fatores Humanos
 - Ergonomia
 - Interação Humano-Máquina
 - Sistemas Humano-Máquina
 - Integração Humano-Sistema
- Definição:

“Ergonomia (ou fatores humanos) é a disciplina científica preocupada com a compreensão das interações entre humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica a teoria, princípios, dados e outros métodos de projeto a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema”

- O sistema Humano-Máquina



- Um dos primeiros modelos matemáticos voltados a Fatores Humanos foi chamada de Lei de Weber, proposta nos anos 1870, considerando a chamada “sensação psicofísica”, onde se mede o reconhecimento de um estímulo

$$\frac{\Delta I}{I} = K$$

I – Intensidade de um estímulo

ΔI – Variação da intensidade do estímulo

K – Constante

- Anos depois, a Lei de Fechner introduz o modelo de quantificação da sensação a um estímulo

$$S = K \log(I)$$

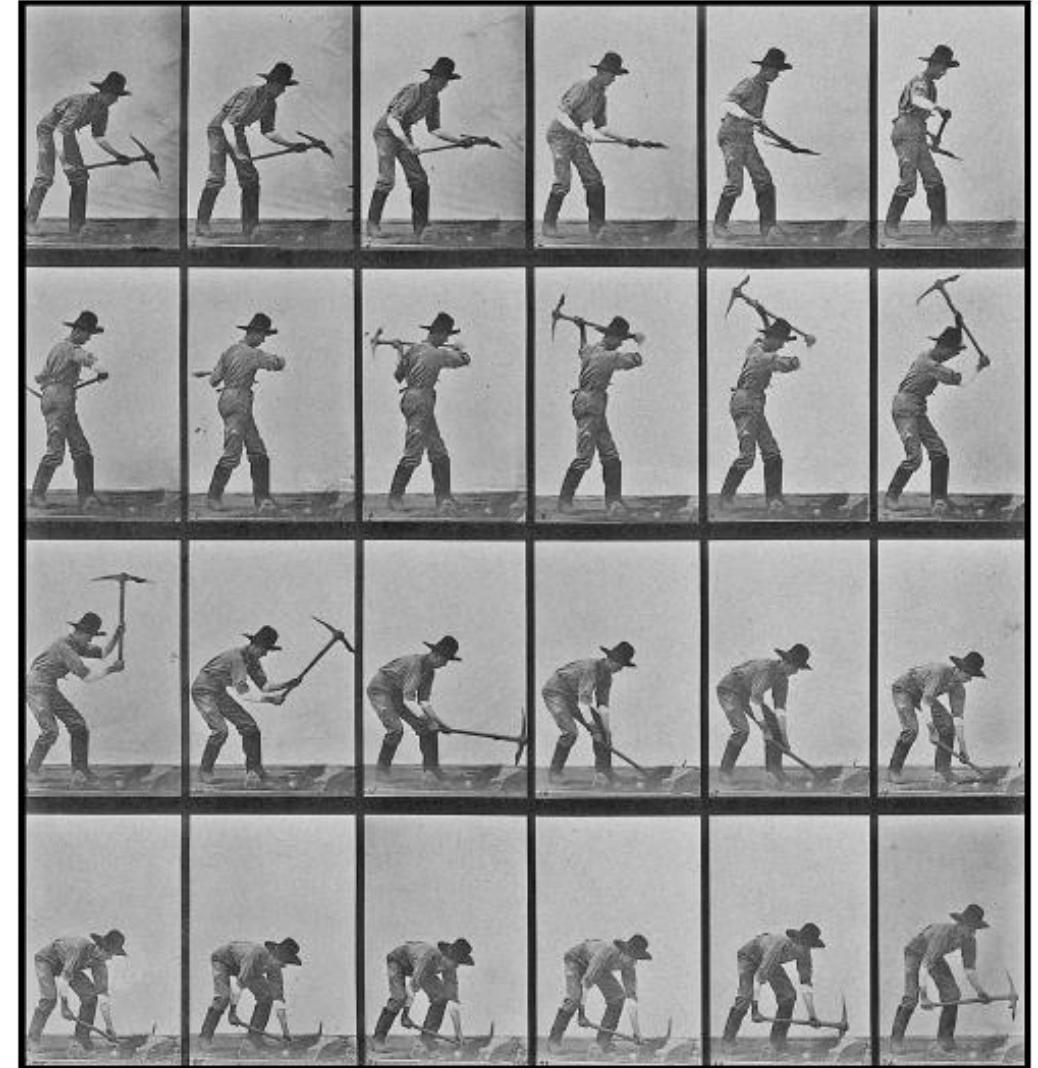
S – Magnitude de uma sensação

I – Intensidade física de um estímulo

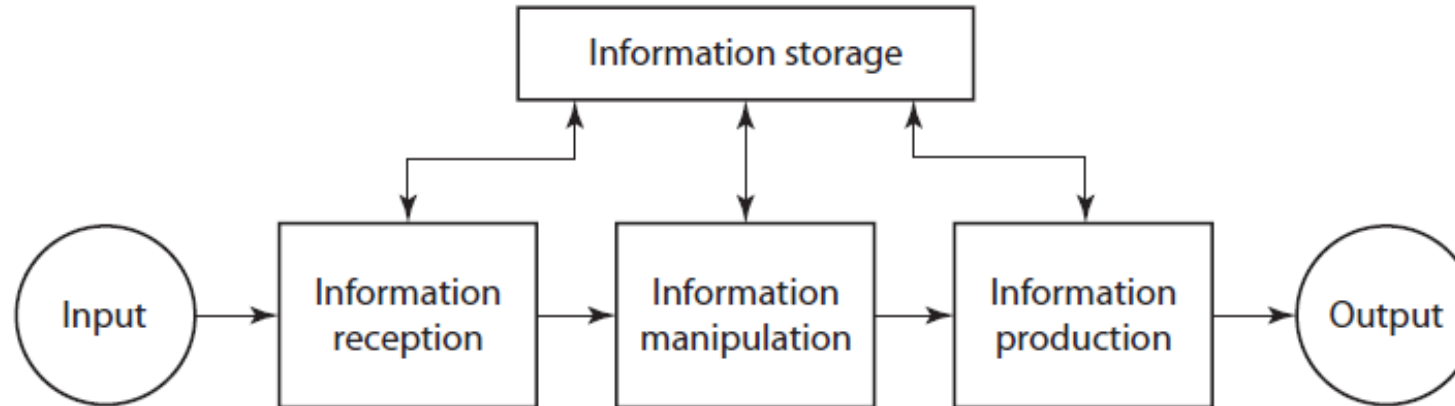
K – Constante

Histórico e Fundamentos

- Após a revolução industrial, iniciou-se a preocupação com produtividade e saúde dos trabalhadores em serviços manuais. O estudo da biomecânica contava basicamente com recursos fotográficos para correção postural ou de procedimento



- Modelo de processamento mental



- Atualmente, os fatores humanos cobrem, de forma “oficial”, as seguintes áreas:

Technical Groups of the Human Factors Society

Aerospace systems: Application of human factors to the development, design, certification, operation, and maintenance of human-machine systems in aviation and space environments.

Aging: Concerned with human factors appropriate to meeting the emerging needs of older people and special populations in a wide variety of life settings.

Augmented cognition: Concerned with fostering the development and application of real-time physiological and neurophysiological sensing technologies that can ascertain a human's cognitive state while interacting with computing-based systems ... [to] enable efficient and effective system adaptation based on a user's dynamically changing cognitive state.

Children's issues: Consists of researchers, practitioners, manufacturers, policy makers, caregivers, and students interested in research, design, and application concerning human factors and ergonomics (HF/E) issues related to children's emerging development from birth to 18.

Cognitive engineering and decision making: Encourages research on human cognition and decision making and the application of this knowledge to the design of systems and training programs.

Communications: Concerned with all aspects of human-to-human communication, with special emphasis on communication mediated by technology.

Computer systems: Concerned with human factors in the design of computer systems. This includes the user-centered design of hardware, software, applications, documentation, work activities, and the work environment.

Education: Concerned with the education and training of human factors and ergonomics specialists.

Environmental design: Concerned with the relationship between human behavior and the designed environment ... [including] ergonomics and macroergonomics aspects of design within home, office, and industrial environments.

Forensics: Application of human factors knowledge and techniques to “standards of care” and accountability established within the legislative, regulatory, and judicial systems.

Health care: Maximizing the contribution of human factors and ergonomics to medical system effectiveness and the quality of life of people who are functionally impaired.

Human performance modeling: Focuses on the development and application of predictive, reliable, and executable quantitative models of human performance.

Individual differences in performance: Interest in any of the wide range of personality and individual difference variables that are believed to mediate performance.

Internet: Interest in Internet technologies and related behavioral phenomena.

Macroergonomics: Focuses on organizational design and management issues in human factors and ergonomics as well as work system design and human-organization interface technology.

Occupational ergonomics: Application of ergonomics data and principles for improving safety, productivity, and quality of work in industry.

Perception and performance: Promotes the exchange of information concerning perception and its relation to human performance.

Product design: Dedicated to developing consumer products that are useful, usable, safe, and desirable ... by applying the methods of human factors, consumer research, and industrial design.

Safety: Development and application of human factors technology as it relates to safety in all settings and attendant populations.

Surface transportation: Information, methodologies, and ideas related to the international surface transportation field.

System development: Integration of human factors/ergonomics into the development of systems.

Test and evaluation: All aspects of human factors and ergonomics as applied to the evaluation of systems.

Training: Information and interchange among people interested in training and training research.

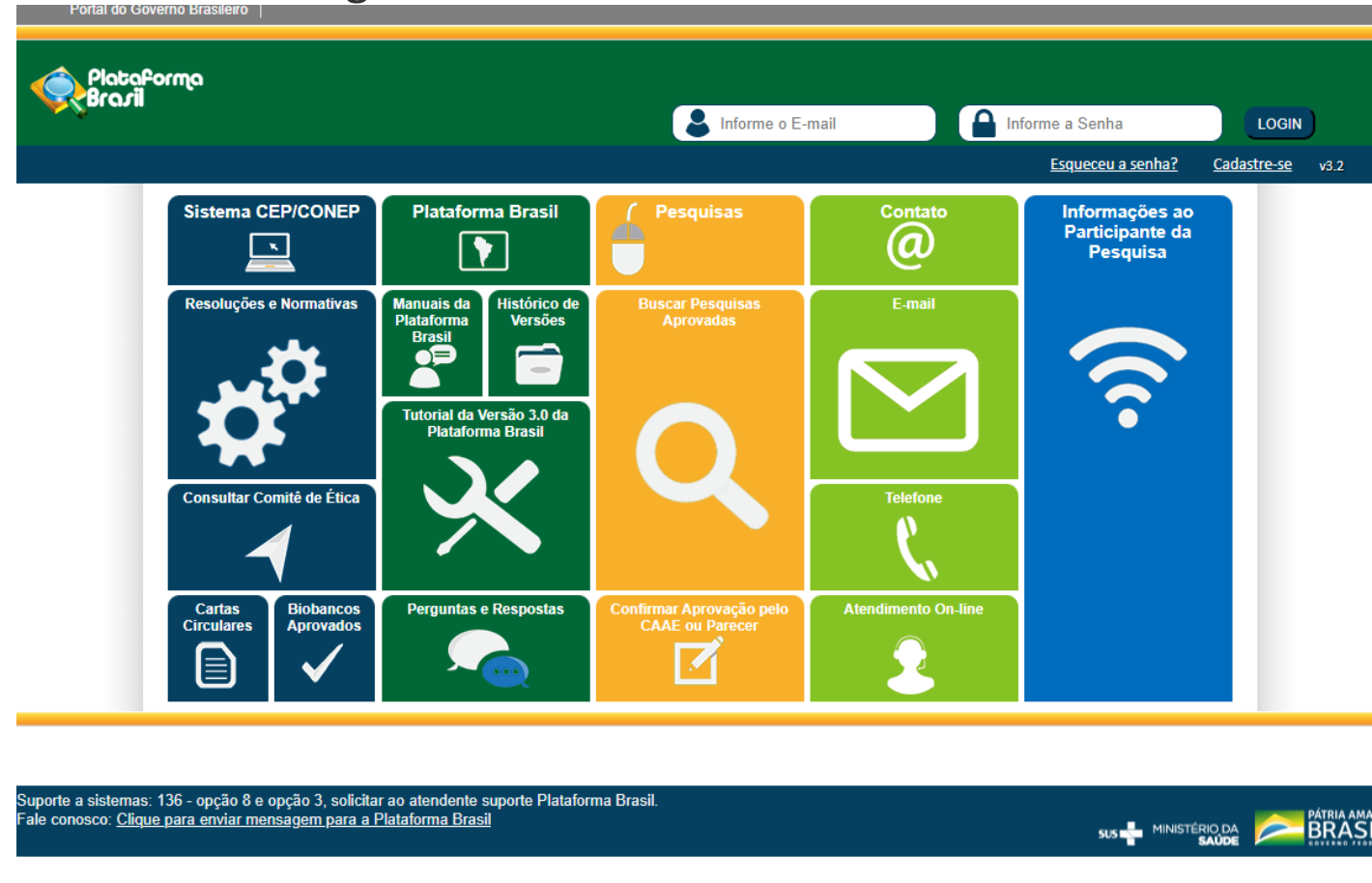
Virtual environments: Human factors issues associated with human-virtual environment interaction.

- Conceitos Preliminares
- Histórico e Fundamentos
- Metodologias de Pesquisa em Fatores Humanos
- Confiabilidade e Erro Humano
- Processamento de Informação

- Fatores Humanos é uma área muito diversa em termos de tipos de experimento e tipos de dados a serem colhidos/analísados
- Quando fazer experimentos envolvendo Fatores Humanos?
 - Para descobrir se uma hipótese sobre uma questão "é verdadeira"
 - Explorar a relação entre as variáveis
 - Para desenvolver e validar o modelo para prever o desempenho
 - Validação de conceito
 - Melhorar o design do produto
- Quando NÃO fazer experimentos envolvendo Fatores Humanos?
 - A questão pode ser resolvida por análise ou com base em dados existentes
 - Não há consequências críticas
 - Uma compreensão mais profunda não é necessária

- Cuidados a serem tomados em experimentos envolvendo Fatores Humanos?
 - Sempre que for possível se obter a conclusão sem experimentos, prefira não fazer
 - Considerações sobre ética
 - Não expor participantes a condições antiéticas
 - Cuidado com a legislação vigente
 - Considerar a dimensão das variáveis
 - Ex.: o tempo de resposta a um estímulo de um choque elétrico é muito diferente do tempo de resposta a um estímulo de temperatura, por exemplo
 - Cuidado com falsas variáveis
 - Ex.: número de liquidificadores têm relação com o número de assassinatos?
 - Não iniciar experimento com ideias já formadas

- Comitê de ética para experimentos com seres vivos
- www.plataformabrasil.saude.gov.br



- Tipos de pesquisa

Quantitativa	Qualitativa
<u>Com ou sem humanos</u> • Fenômeno natural • Experimentos físicos • Modelamento matemático • Otimização	<u>Com humanos</u> • Observação Ex.: observar pilotos em voo • Estudos de caso • Teste de usabilidade Ex.: um equipamento Pode ser quantitativo
<u>Com humanos</u> • Modelo de desempenho • Questionários • Experimentos	• Questionários de resposta aberta • Grupos de foco • Entrevistas

- Levar em consideração que boa parte dos dados colhidos podem ser de difícil quantificação. Nesse caso, planejar com antecedência quais variáveis serão medidas e como relacionar essa variável com as informações desejadas
 - Exemplos: Carga de trabalho, estresse, consciência situacional, etc.
- Levar em consideração que algumas variáveis naturalmente são subjetivas
 - Exemplo: preferência, resposta livre, etc.

- O uso de ferramentas estatísticas é muito importante em experimentos envolvendo Fatores Humanos
- Terminologia importante:
 - Letras romanas representam estatísticas (amostras)
 - Letras gregas representam parâmetros (população)
- Cabe ao responsável pelo experimento definir se e quais ferramentas estatísticas atendem melhor à sua pesquisa

- Média

Para amostra	Para população
$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$	$\mu = \frac{\sum X}{N}$

- Exemplo: média da amostra: 1, 3, 4, 2, 3, 5, 1

$$\bar{X} = \frac{1 + 3 + 4 + 2 + 3 + 5 + 1}{7} = \frac{19}{7} = 2,71$$

- **Mediana**

$\tilde{X}$ É o ponto do meio do intervalo, quando colocado em ordem crescente (ou decrescente)

- Exemplo: mediana da amostra: 1, 3, 4, 2, 3, 5, 1

Colocar em ordem crescente: 1, 1, 2, 3, 3, 4, 5

$$\tilde{X} = 3$$

Para número par de amostras, faz-se a média entre os dois números no meio do intervalo

- **Moda**

- É o(s) número(s) mais comum(ns) da amostra
- Exemplo: moda da amostra: 1, 3, 4, 2, 3, 5, 1

Modas são 1 e 3 (bi-modal)

- **Intervalo Médio**

- É a média entre o valor mínimo e o valor máximo do intervalo
- Exemplo: Intervalo médio da amostra: 1, 3, 4, 2, 3, 5, 1

$$\text{Intervalo médio} = \frac{1 + 5}{2} = 3$$

- Variância e desvio-padrão
- É a média do quadrado das distâncias entre as amostras e a média da amostra

Para amostra	Para população
$s^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}$ $S = \sqrt{s^2}$	$\sigma^2 = \frac{\sum (X - \mu)^2}{N}$ $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

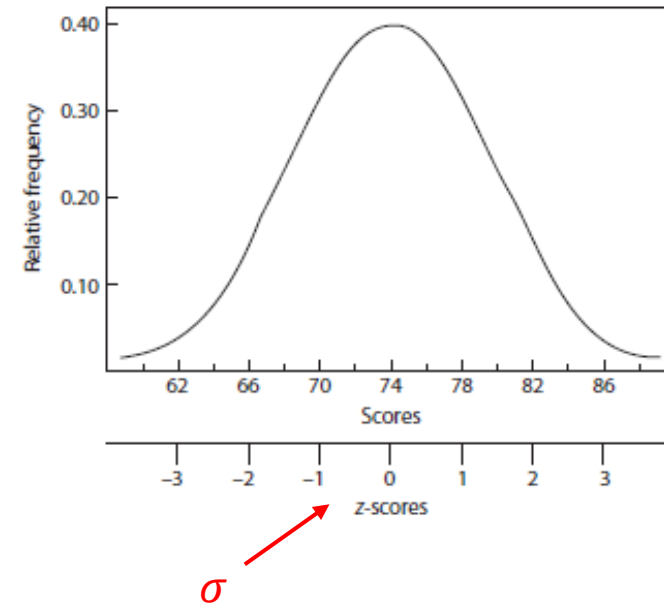
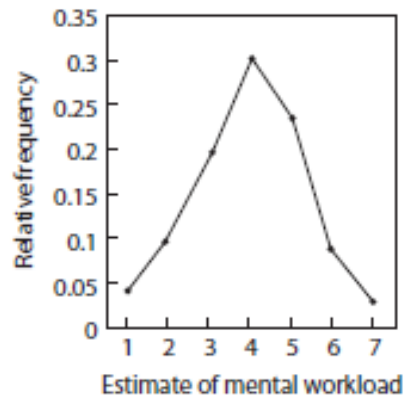
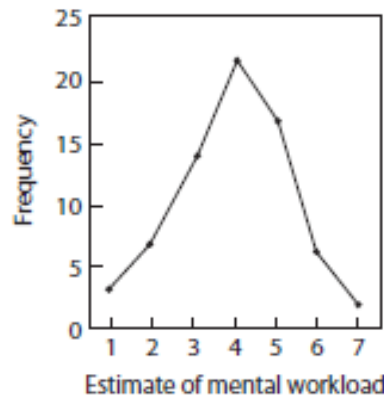
Diagram illustrating the formulas for Variância (Variance) and Desvio-padrão (Standard Deviation) for sample and population data.

Variância (Variance) is indicated by red arrows pointing to the s^2 and σ^2 formulas.

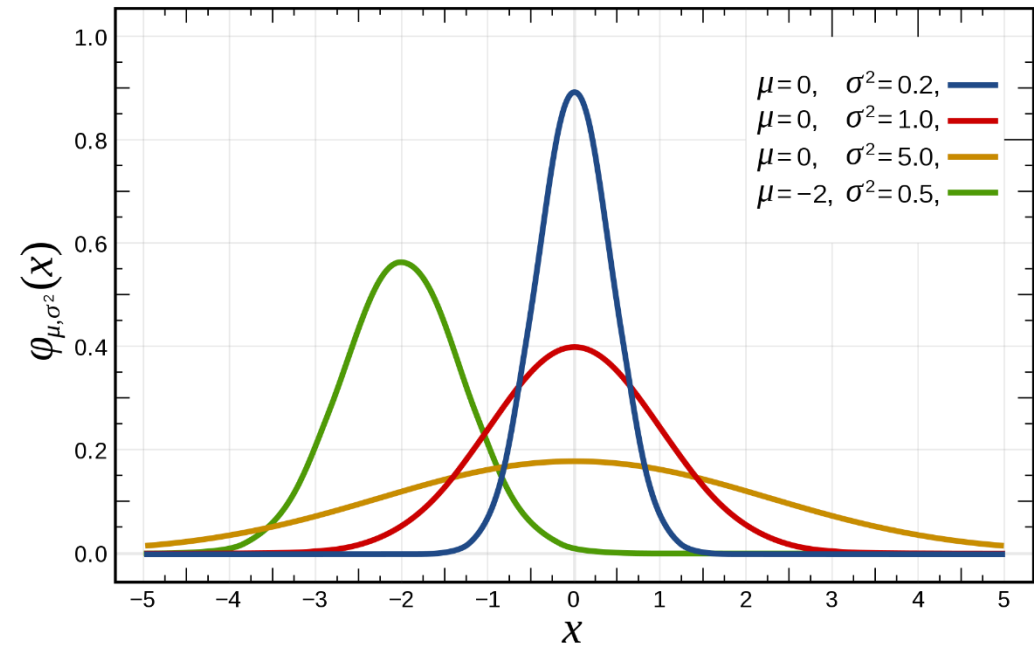
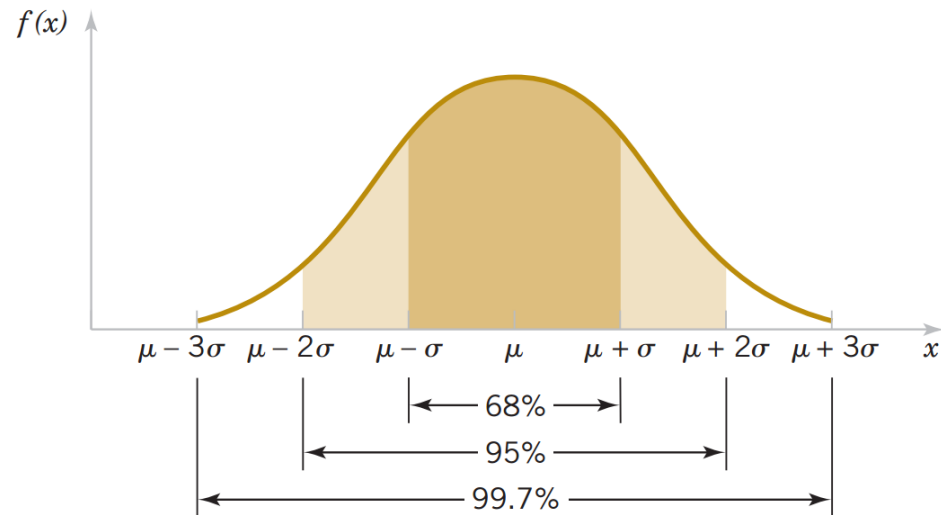
Desvio-padrão (Standard Deviation) is indicated by red arrows pointing to the S and σ formulas.

- Mostra o quanto uma amostra ou população possui os valores dispersos com relação à média
- Para amostras, o denominador é n-1, pois normalmente se descarta a amostra usada para estimativa

- Distribuição normal
- Representa a distribuição da quantidade de amostras em cada valor (ou intervalo de valores) dentre os valores possíveis



- Distribuição normal
- Representa a distribuição da quantidade de amostras em cada valor (ou intervalo de valores) dentre os valores possíveis



- Para experimentos envolvendo humanos, é normal que a variabilidade seja alta

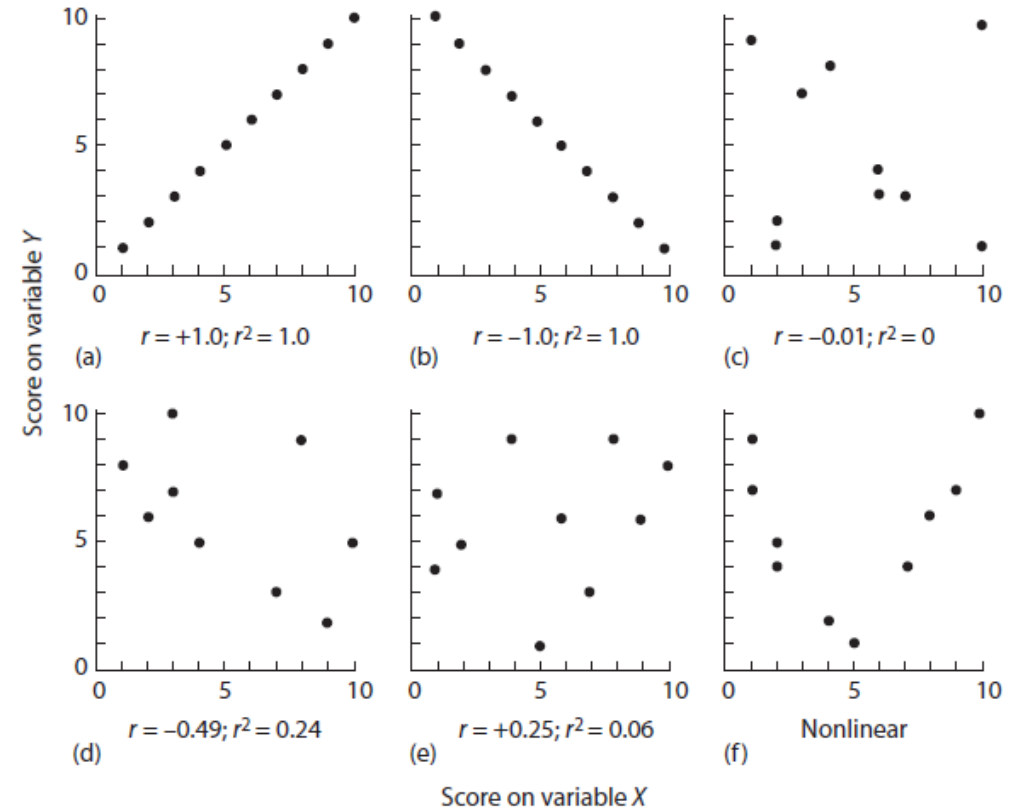
- **Correlação**
- O coeficiente de correlação (r) indica o quanto o valor de uma variável depende do valor de outra
- Quando mais o módulo de r se aproxima de 1, mais relacionados estão os valores

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y}$$

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X - \bar{X})^2}$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (Y - \bar{Y})^2}$$

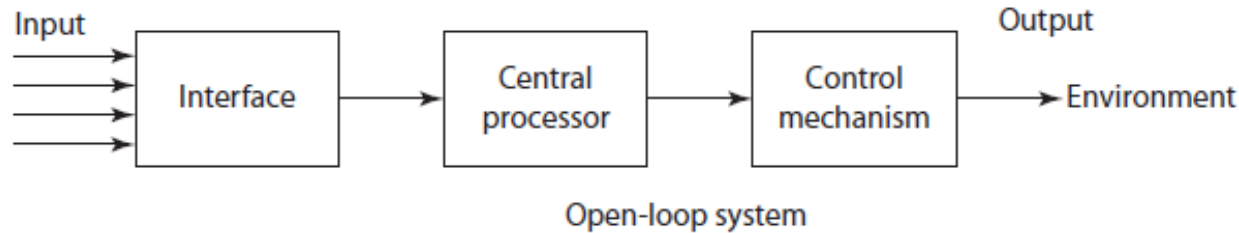
$$S_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$$



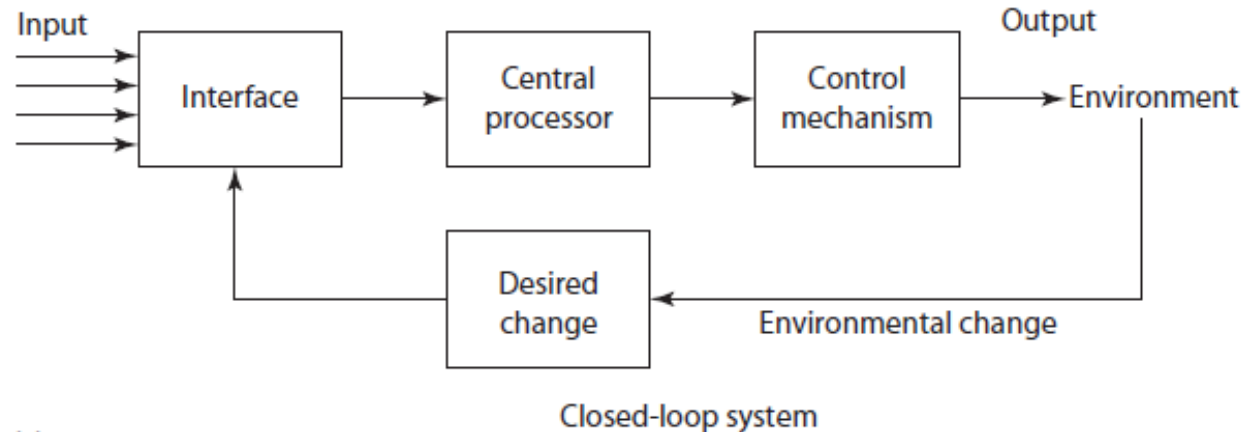
- Conceitos Preliminares
- Histórico e Fundamentos
- Metodologias de Pesquisa em Fatores Humanos
- **Confiabilidade e Erro Humano**
- Processamento de Informação

- O ser humano no cumprimento de tarefas pode ser classificado como um sistema de controle, que pode ser de malha fechada (se houver monitoramento) ou de malha aberta (se não houver)

Malha aberta



Malha fechada



- Erros humanos ocorrem. Portanto deve-se estar preparado para esse fato (será abordado em aula posterior)
- As fontes de erros podem ser muitas, como falta de atenção, incapacidade, ambiente propício, etc.
- Os erros podem ser classificados de várias formas:
 - Pela sua ação
 - Pelo tipo de falha
 - Pelo processo
 - Pela objetivo

- Pela ação, os erros podem ser classificados como
 - Erro por omissão
 - Erro por comissão
 - Erro de tempo
 - Erro de sequenciamento
 - Erro de seleção
 - Erro quantitativo

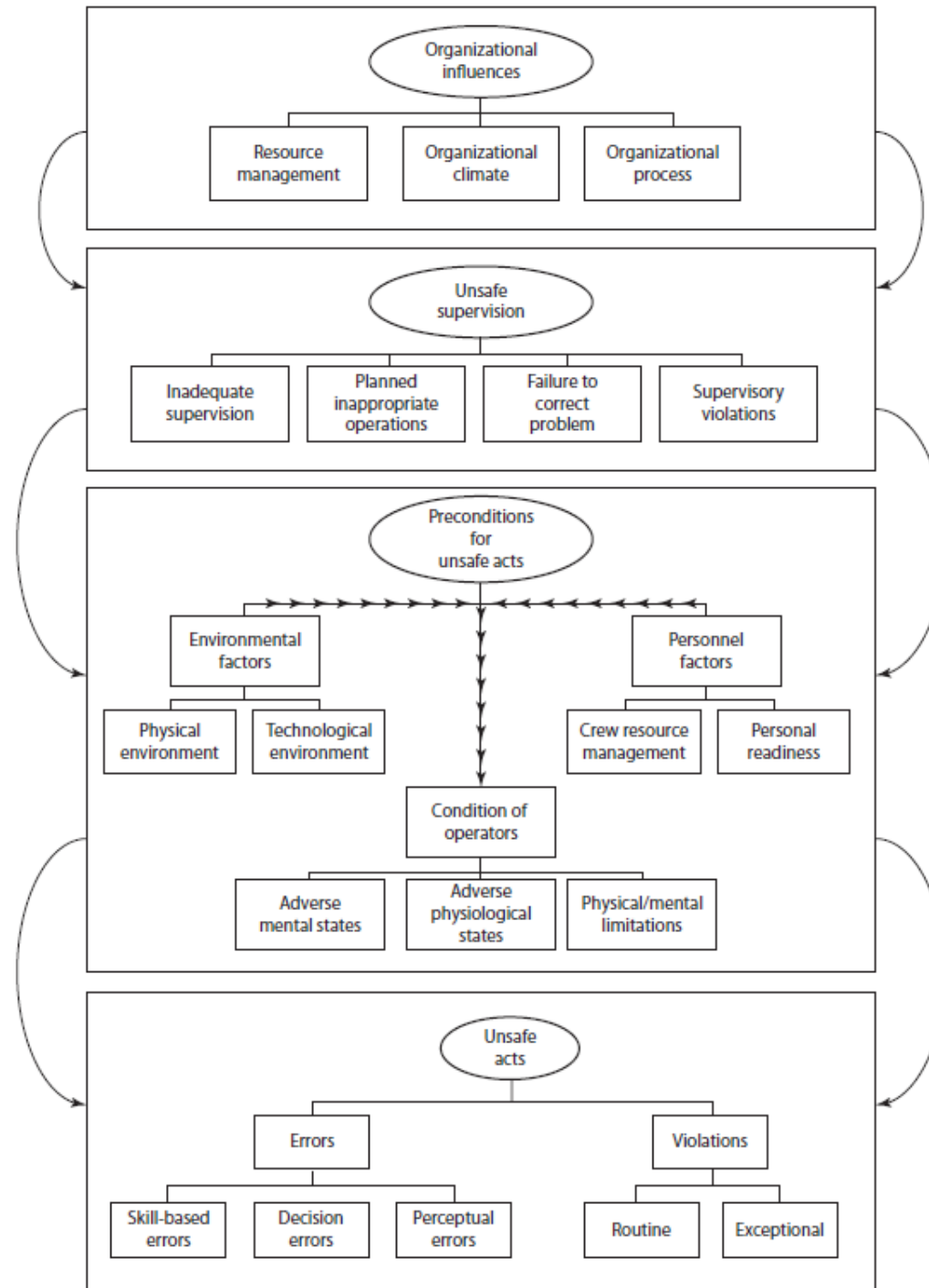
- Pelo tipo de falha, os erros podem ser classificados como
 - Erro de operação
 - Erro de projeto
 - Erro de montagem ou manufatura
 - Erro de instalação ou manutenção

- Pelo processo, os erros podem ser classificados como

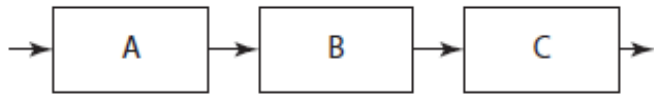
Tipo	Atividade	Exemplo
Perceptivo	Procurando e recebendo informações	Detectar, inspecionar, observar, ler, receber, varredura, enquete
Mediacional	Identificar objetos, ações e eventos	Discriminar, identificar, localizar
	Processando informação	Interpretar, itenizar, tabular, transferir
Comunicação	Resolução de problemas e tomada de decisão	Analisar, escolher, comprar, estimar, prever, planejar, responder, comunicar, direcionar, indicar
Motor	Tarefas simples e discretas	Ativar, fechar, conectar, desconectar, segurar, entrar, abaixar, mover, pressionar, levantar, definir
	Tarefas complexas e contínuas	Alinhar, regular, sincronizar, acompanhar, transportar

- Segundo o objetivo, James Reason em 1990 propôs que o erro humano pode se classificar em três grandes grupos principais:
 - Influências organizacionais
 - Supervisão insegura
 - Preconização para atos inseguros
- Em 2003, Wiegmann & Shappell ampliaram esse modelo, adicionando um novo grupo e detalhando 19 categorias dentro desses grupos

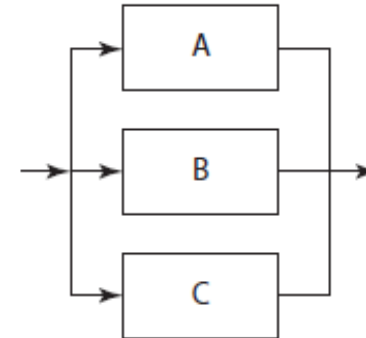
- Classificação segundo o objetivo



- Considerando que o erro humano acontece, a probabilidade nunca é zero, portanto deve ser considerada
- Dessa forma, analogamente ao que acontece em sistemas, atividades em série ou em paralelo afetam a probabilidade de um erro acontecer, e consequentemente sua confiabilidade



Probabilidades se somam

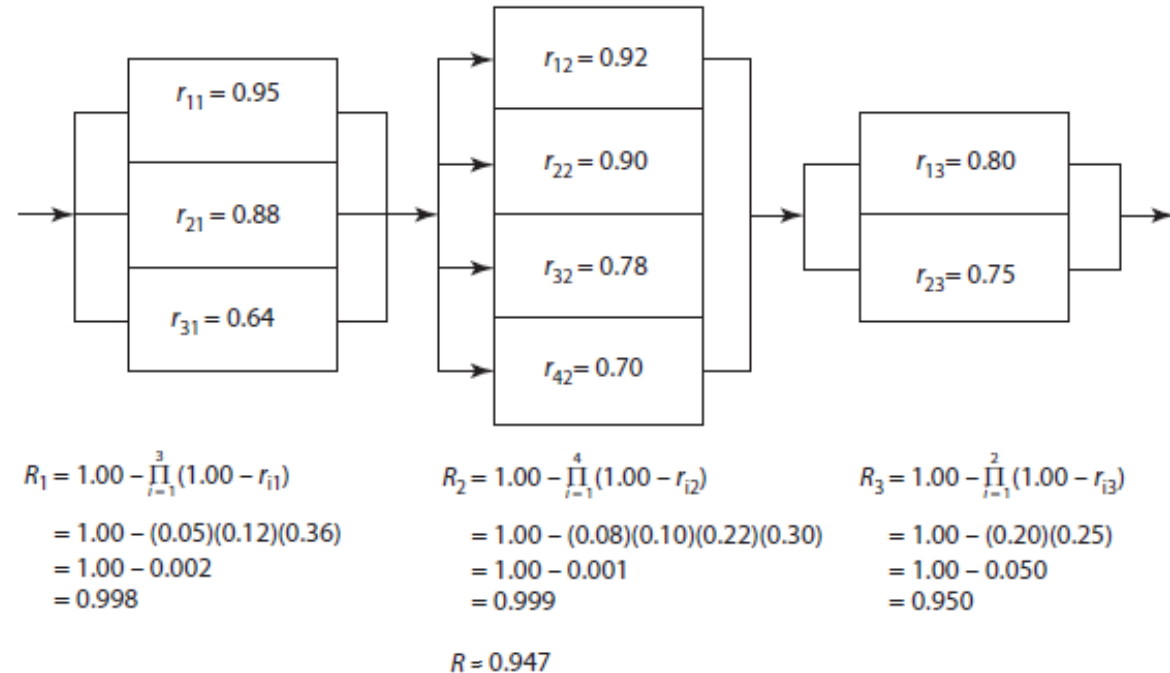


Probabilidades se multiplicam

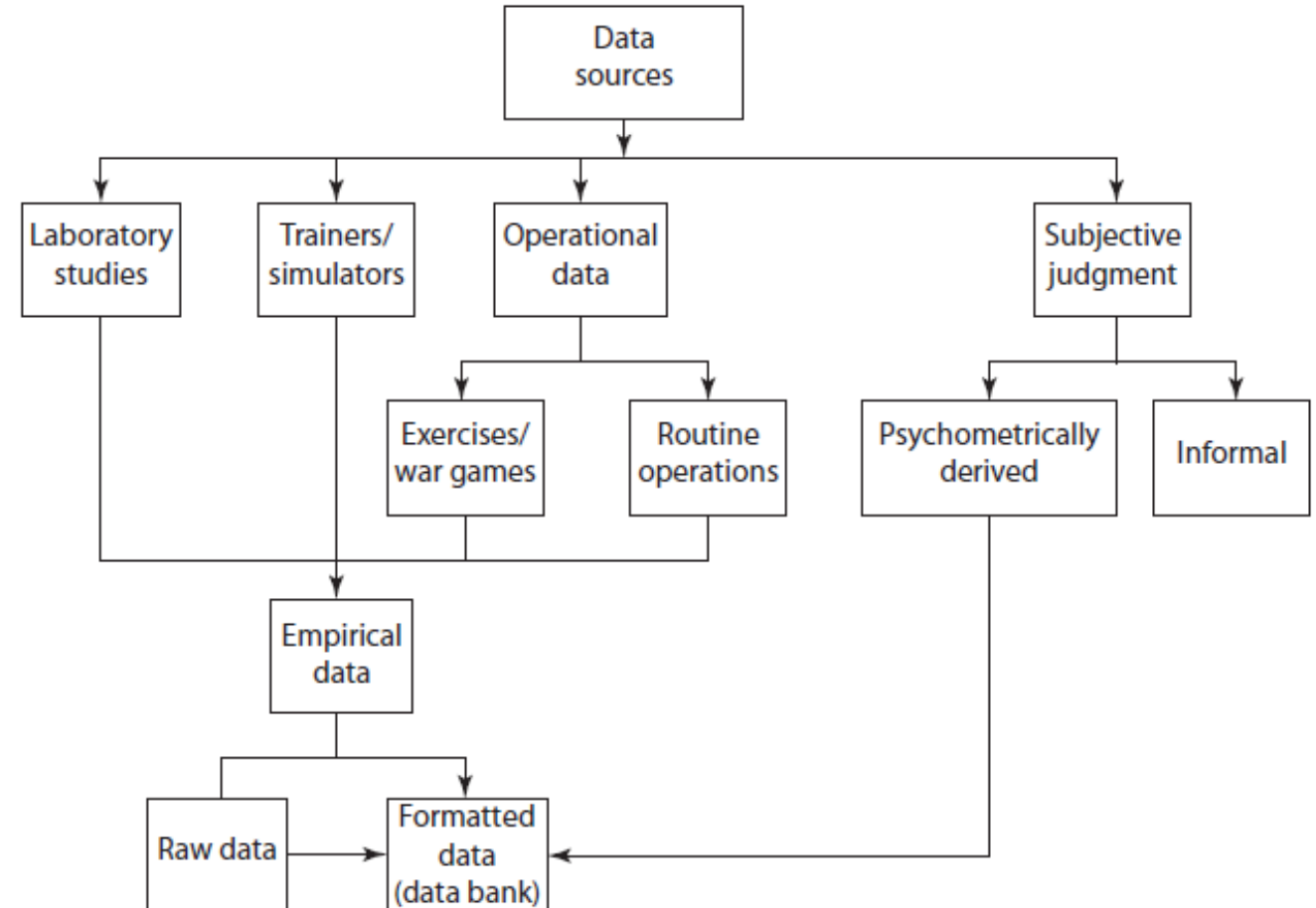
- Exemplo

Confiabilidade (Reliability)

$R=1$ - Probabilidade de falha

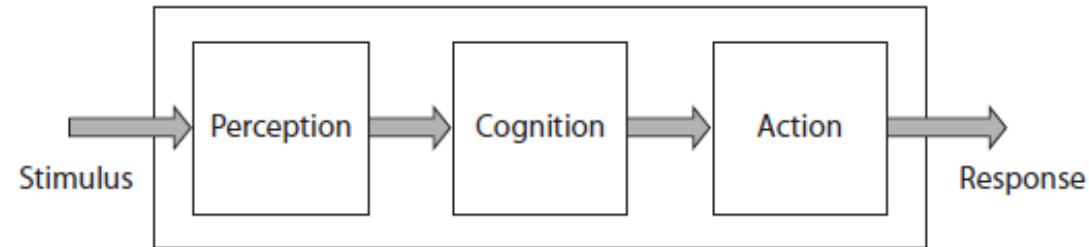


- Por fim, este modelo mostra que a confiabilidade humana para uma determinada tarefa tende a aumentar, já que a quantidade de informações acerca desta tarefa aumenta com o tempo

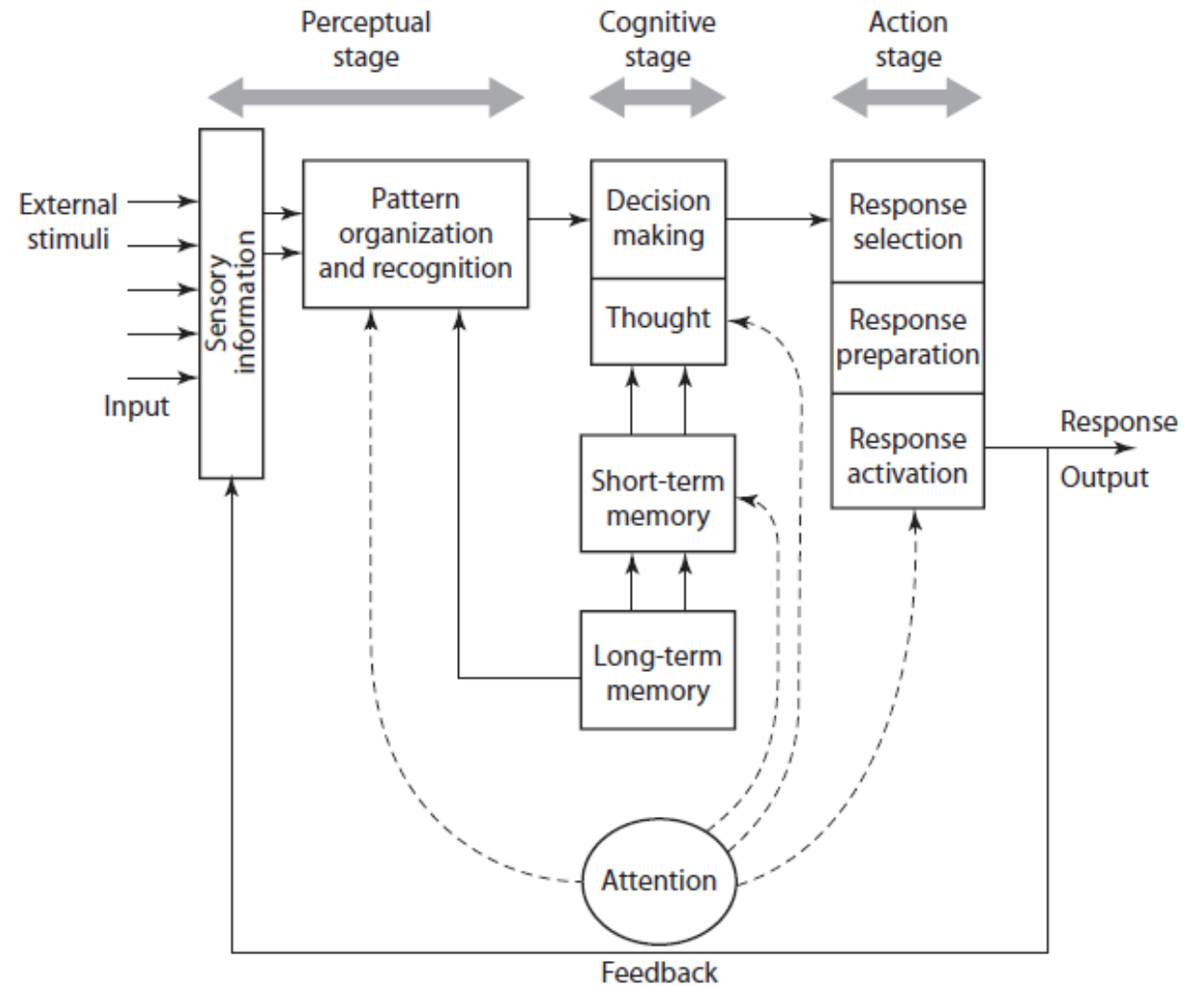


- Conceitos Preliminares
- Histórico e Fundamentos
- Metodologias de Pesquisa em Fatores Humanos
- Confiabilidade e Erro Humano
- Processamento de Informação

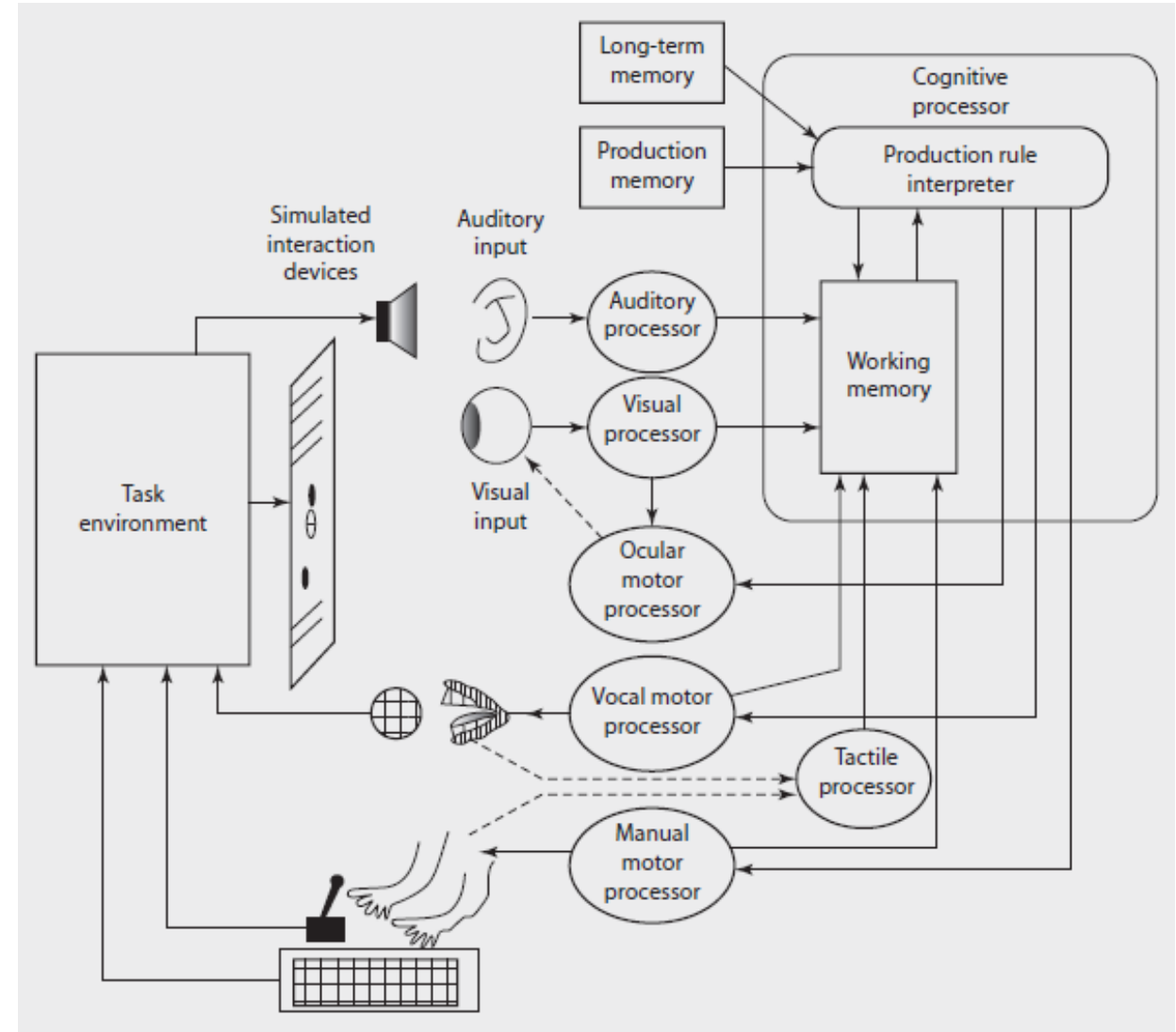
- Estágio importante para estudo da reação humana a estímulos
- Envolve estudo de erros, tomada de decisão, carga de trabalho, solução de problemas, etc.
- Um modelo simples de processamento de informação discretiza o processo em três estágios



- Este modelo, de forma mais detalhada, pode ser apresentado como

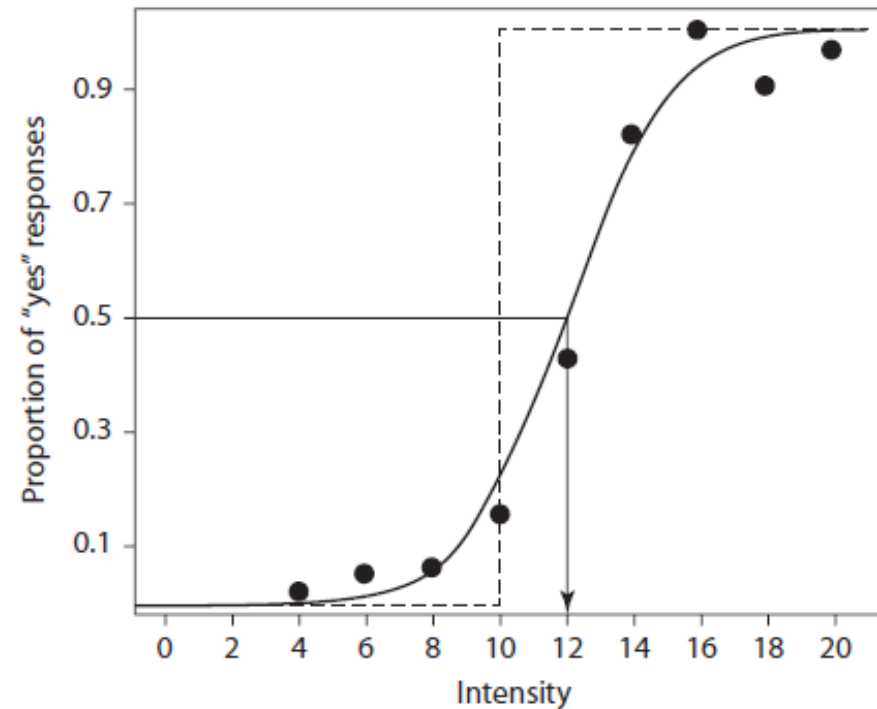


- Um importante modelo de Interação Humano-Máquina aplicado à computação é o EPIC (Executive Process Interactive Control)

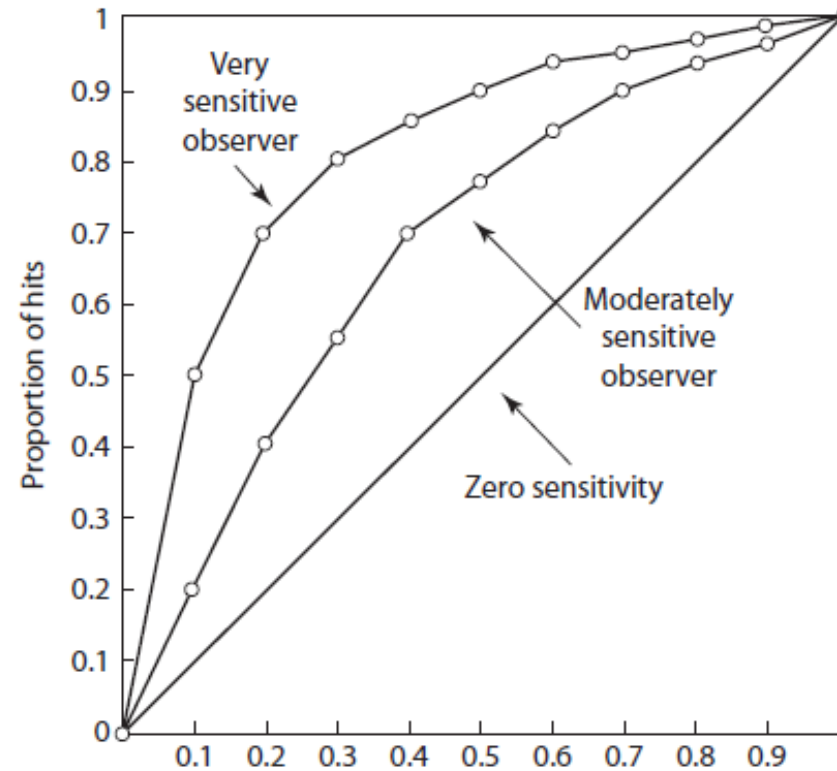


- **Representação psicológica do mundo físico**
- Muitos processos que envolvem Fatores Humanos envolvem a forma de percepção e processamento de informação pelo ser humano
- Boa parte desses problemas envolvem a resposta a um estímulo (por exemplo, reconhecer uma luz acesa a diferentes intensidades)
- Em problemas desse tipo, dois grandes desafios são encontrados:
 - Criar procedimentos de ensaio que não tornem o participante “viciado”
 - Determinar a fronteira (threshold) de atuação

- Representação psicológica do mundo físico
- Um gráfico típico de problemas desse tipo tem o formato a seguir

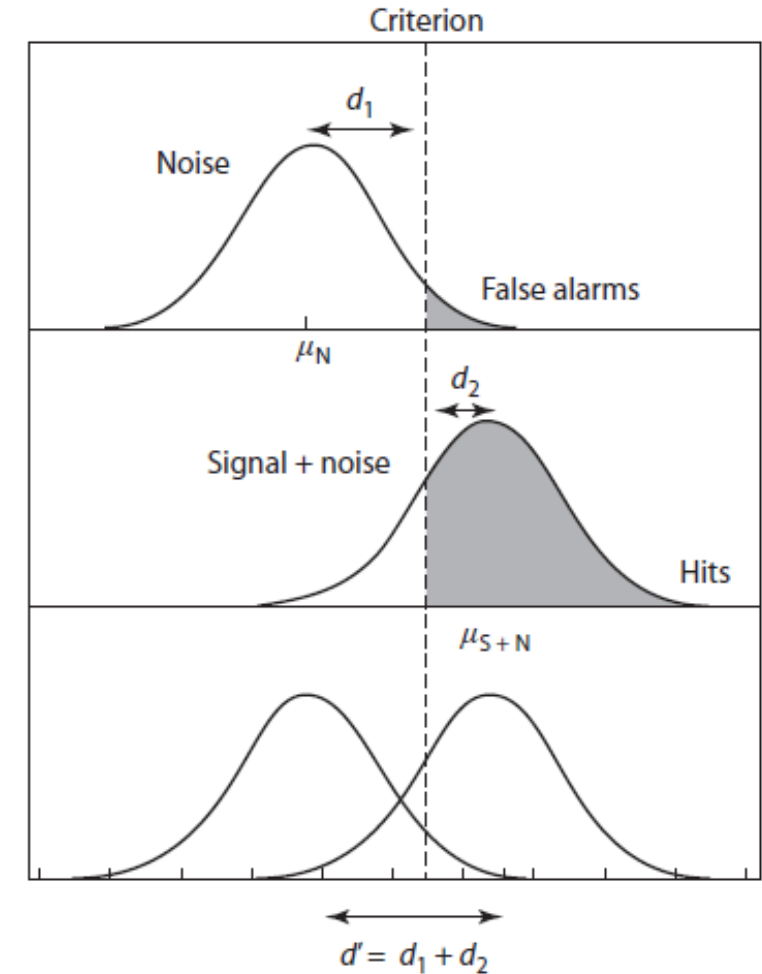


- Representação psicológica do mundo físico
- A definição do threshold torna a resposta mais ou menos sensível. O nível ideal depende da aplicação



- Representação psicológica do mundo físico
- Outra questão importante na coleta de dados desse tipo é se isolar adequadamente os ruídos e os dados de interesse
- Surge aí o conceito de detectabilidade

d' is detectability,
 μ_{S+N} is the mean of the signal + noise distribution,
 μ_N is the mean of the noise distribution, and
 σ is the standard deviation of both distributions.



- **Representação psicológica do mundo físico**
- Outra questão importante na representação psicológica é o tipo de estímulo, gerando a escala psicofísica
- A intensidade sensorial reportada pelo participante de um teste qualquer sujeito a um estímulo é representada pela equação

$$S = aI^n$$

S é a resposta sensorial reportada

a é uma constante que depende da pessoa

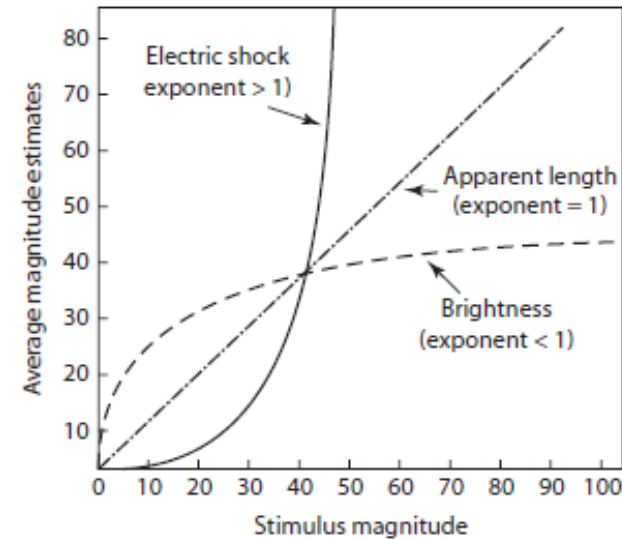
I é a intensidade física

n é uma constante que depende do tipo de estímulo

- Representação psicológica do mundo físico
- O valor de n para cada tipo de estímulo e o gráfico obtido são

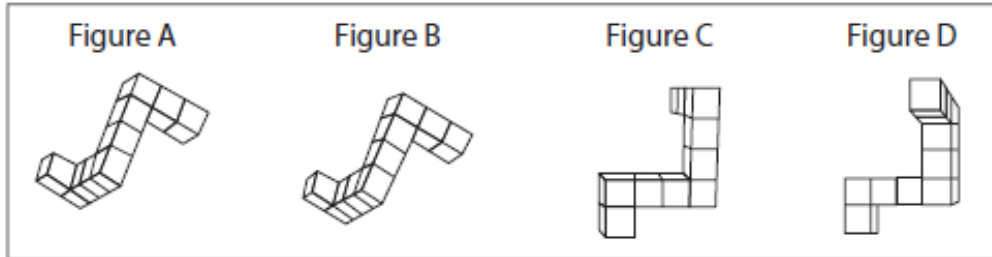
Representative Exponents of the Power Functions Relating Sensation Magnitude to Stimulus Magnitude (Based on Stevens, 1961)

Continuum	Exponent	Stimulus Conditions
Loudness	0.6	Both ears
Brightness	0.33	5° target (dark-adapted eye)
Brightness	0.5	Point source (dark-adapted eye)
Lightness	1.2	Gray papers
Smell	0.55	Coffee odor
Taste	0.8	Saccharine
Taste	1.3	Sucrose
Taste	1.3	Salt
Temperature	1.0	Cold (on arm)
Temperature	1.6	Warmth (on arm)
Vibration	0.95	60 Hz (on finger)
Duration	1.1	White noise stimulus
Finger span	1.3	Thickness of wood blocks
Pressure on palm	1.1	Static force on skin
Heaviness	1.45	Lifted weights
Force of handgrip	1.7	Precision hand dynamometer
Electric shock	3.5	60 Hz (through fingers)



- **Métodos cronométricos**
- Outra metodologia importante de teste para processamento de informação são os métodos cronométricos, para medição do tempo de processamento pelo ser humano
- Como não é possível medir o tempo de processamento isoladamente (já que sempre envolve, no mínimo, reconhecimento, processamento e ação), pode-se utilizar:
 - Lógica de subtração: mede-se o tempo de um processo completo, em seguida o tempo de um processo semelhante que não necessite de processamento, e subtrai-se um valor do outro
 - Lógica de adição: procedimento inverso, onde em algumas aplicações não é possível se medir um procedimento junto com o outro. Dessa forma mede-se separadamente e se soma os tempos

- Métodos cronométricos
- Exemplo



Simple reaction time

Detect stimulus	Execute response
$t(1)$	$t(2)$

Go-no go reaction time

Detect stimulus	Identify stimulus	Execute response
$t(1)$	$t(3)$	$t(2)$

Choice reaction time

Detect stimulus	Identify stimulus	Select response	Execute response
$t(1)$	$t(3)$	$t(4)$	$t(2)$

Time to identify stimulus = $t(3)$
 = Go-no go reaction time – simple reaction time

Time to select response = $t(4)$
 = Choice reaction time – go-no go reaction time