

EA075 - Introdução ao projeto de sistemas embarcados (1S/2016) ::

Cap 1. Introdução

Prof. Christian Esteve Rothenberg
chesteve@dca.fee.unicamp.br

Visão panorâmica do curso



Introdução

- O que é um sistema embarcado?
- Quais as características desejáveis em um sistema embarcado?

Objetivos do capítulo

- Definir sistemas embarcados:
 - Características
- Projetos de sistemas embarcados:
 - Métricas
 - Restrições
- Tecnologias de sistemas embarcados:
 - CIs
 - Processadores
 - Projetos

Sistemas embarcados

Definição e Características

Sistemas embarcados

Definições:

- “Um sistema embarcado é praticamente qualquer sistema computacional que não seja um desktop” Vahid, 2003
- “Uma combinação de hardware e software dedicado a um produto ou aplicação particular”
- “Qualquer dispositivo que inclui um computador programável mas que não é, ele mesmo, um computador de uso geral” Wayne Wolf, 2000

Sistemas computacionais

Computadores

- PCs
- Notebooks
- Servidores
- Mainframes

Milhões/ano

Embarcados

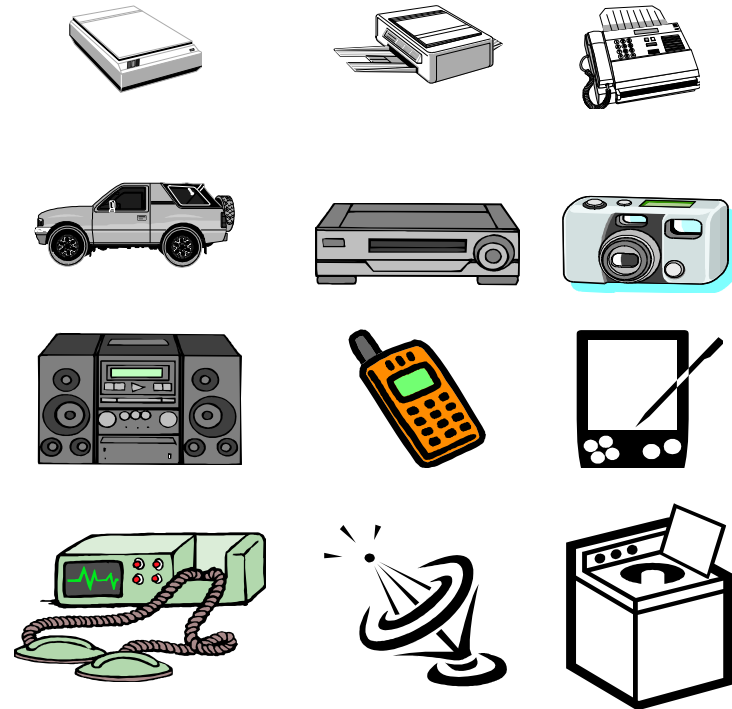
- Pessoal
- Residencial
- Business
- Automotivo
- Instrumentação

Um ou mais por dispositivo eletrônico

Bilhões/ano

Ex. de sistemas embarcados

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Anti-lock brakes | Modems |
| Auto-focus cameras | MPEG decoders |
| Automatic teller machines | Network cards |
| Automatic toll systems | Network switches/routers |
| Automatic transmission | On-board navigation |
| Avionic systems | Pagers |
| Battery chargers | Photocopiers |
| Camcorders | Point-of-sale systems |
| Cell phones | Portable video games |
| Cell-phone base stations | Printers |
| Cordless phones | Satellite phones |
| Cruise control | Scanners |
| Curbside check-in systems | Smart ovens/dishwashers |
| Digital cameras | Speech recognizers |
| Disk drives | Stereo systems |
| Electronic card readers | Teleconferencing systems |
| Electronic instruments | Televisions |
| Electronic toys/games | Temperature controllers |
| Factory control | Theft tracking systems |
| Fax machines | TV set-top boxes |
| Fingerprint identifiers | VCR's, DVD players |
| Home security systems | Video game consoles |
| Life-support systems | Video phones |
| Medical testing systems | Washers and dryers |



Slide gentilmente cedido pelo Prof. Léo

E a lista continua...

Características

Computadores

- Uso geral

Embarcados

- Uso específico
- Reativos
- Tempo real
- Restrições
 - Tamanho
 - Custo
 - Consumo

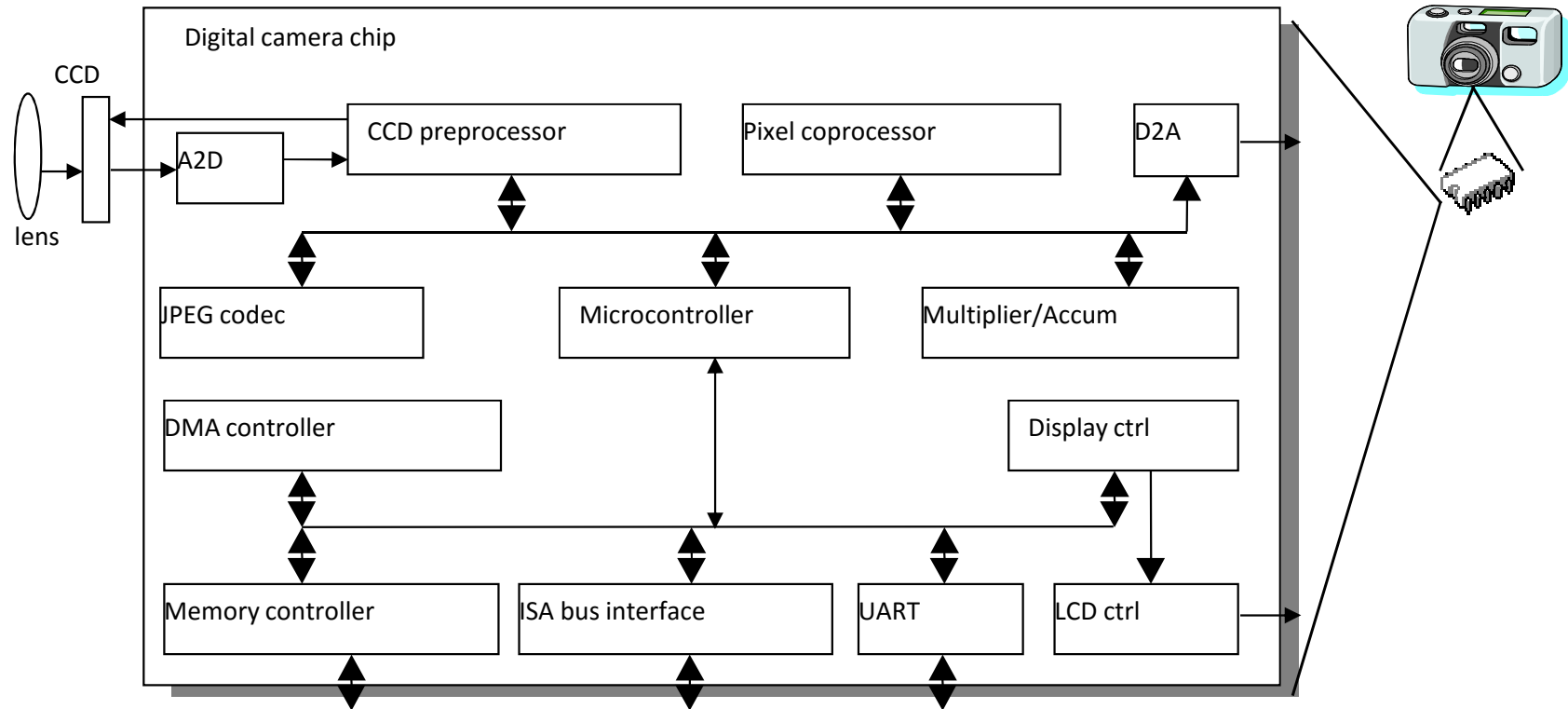
| Feature | Desktop | Server | Embedded |
|---|---|---|--|
| Price of system | \$1,000–\$10,000 | \$10,000– \$10,000,000 | \$10–\$100,000 (including network routers at the high-end) |
| Price of microprocessor module | \$100–\$1,000 | \$200–\$2000 (per processor) | \$0.20–\$200 |
| Microprocessors sold per year (estimates for 2000) | 150,000,000 | 4,000,000 | 300,000,000 (32-bit and 64-bit processors only) |
| Critical system design issues | Price-performance Graphics performance | Throughput Availability Scalability | Price Power consumption Application-specific performance |

Fonte: John L. Hennessy and David Patterson, 2007

Ex: Câmera digital



Ex: Câmera digital



- **Única função** – sempre será uma câmera digital.
- **Restrições de projeto** – Baixo custo, consumo reduzido, pequeno e relativamente rápido (não há necessidade de uma resposta imediata, ou seja em tempo real).

Projeto de Sistemas Embarcados

Desafios e Métricas

Desafios de projeto

- Construir e implementar as **funcionalidades** desejadas,
- atendendo às **restrições de projeto** e
- otimizando as **métricas de projeto***

Desafio: construir uma implementação que atenda à funcionalidade desejada e, ao mesmo tempo, que otimize várias métricas de projeto.

* **Métrica de projeto:** característica ou atributo desejável e mensurável de uma determinada implementação de sistema.

Ex. Câmera digital

Funcionalidades

- Capturar imagem
- Armazenar as imagens internamente
- Transferir imagens para um dispositivo de armazenamento

Ex. Câmera digital

Restrições de projeto

- 50 imagens de baixa-resolução
- 1 segundo por imagem
- Custar menos de \$100
- Vida da bateria – tão longa quanto possível
- Pequena
- Leve
- 200mW (bateria e temperatura)

Ex. Câmera digital

Outras restrições

- Tempo
- Tempo real
 - Rígidas, firmes ou flexíveis
- Consumo
- Tamanho
- Peso
- Preço
- Dependabilidade

Métricas de projeto

- **Custo por unidade**
- **Custo NRE** (Non-Recurring Engineering cost)
- **Tamanho**
- **Desempenho**
- **Consumo**
- **Flexibilidade**
- **Tempo para prototipagem**
- **Tempo para colocação do produto no mercado**
- **Sustentabilidade (manutenção)**
- **Exatidão**
- **Segurança**
- **outros**

Métricas de Projeto

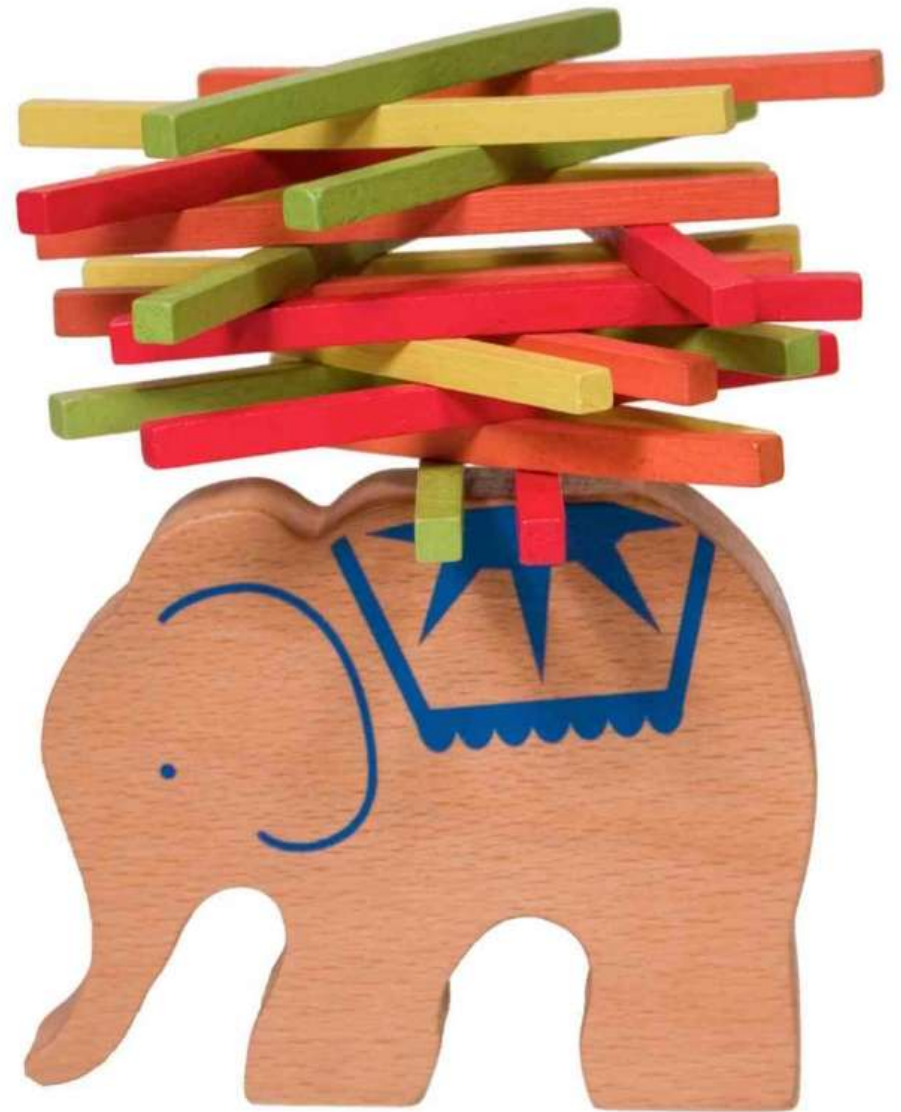
- **Custo NRE (*Non-Recurring Engineering cost*):** custo de projetar de uma única vez o sistema. Uma vez que o sistema esteja projetado, qualquer número de unidades pode ser fabricado sem incorrer em qualquer custo adicional (por isso o termo *não-recorrente*).
- **Custo por unidade:** custo de fabricação de cada cópia do sistema, excluindo o NRE.
- **Tamanho:** espaço físico exigido pelo sistema (e.g., medido em bytes no caso de *software* ou nº de transistores para *hardware*).
- **Desempenho:** tempo de execução do sistema.
- **Consumo:** quantidade de potência consumida pelo sistema.

Métricas de Projeto

- **Flexibilidade:** habilidade de mudar a funcionalidade do sistema sem que isto demande um alto custo NRE. (*software*, por exemplo, é bastante flexível).
- **Tempo de prototipagem:** tempo necessário para a construção de uma versão do sistema que funcione.
- **Tempo para o mercado:** tempo necessário para desenvolver o sistema até o ponto que possa ser lançado e vendido aos consumidores (inclui os tempos de projeto, fabricação e testes).
- **Sustentabilidade (Manutenção):** capacidade / facilidade de modificar o sistema após seu lançamento inicial, especialmente por projetistas que não participaram do desenvolvimento original.

Métricas de Projeto

- Importante/Crítico:

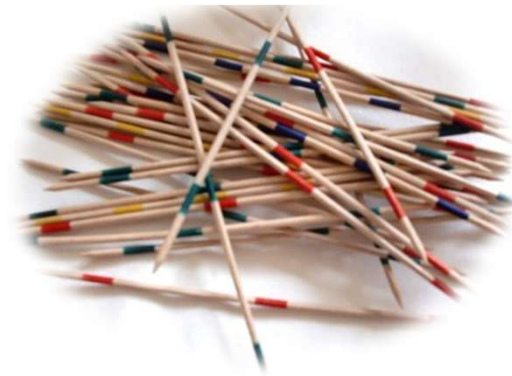


Source:

https://i2.wp.com/images.etsy.com/all_images/a/aea/702/il_430xN.75436498.jpg?zoom=2

<http://karmakiss.net/en/toy-box/learning-and-activity/elephant-pile-up-sticks-game.html>

Métricas de Projeto



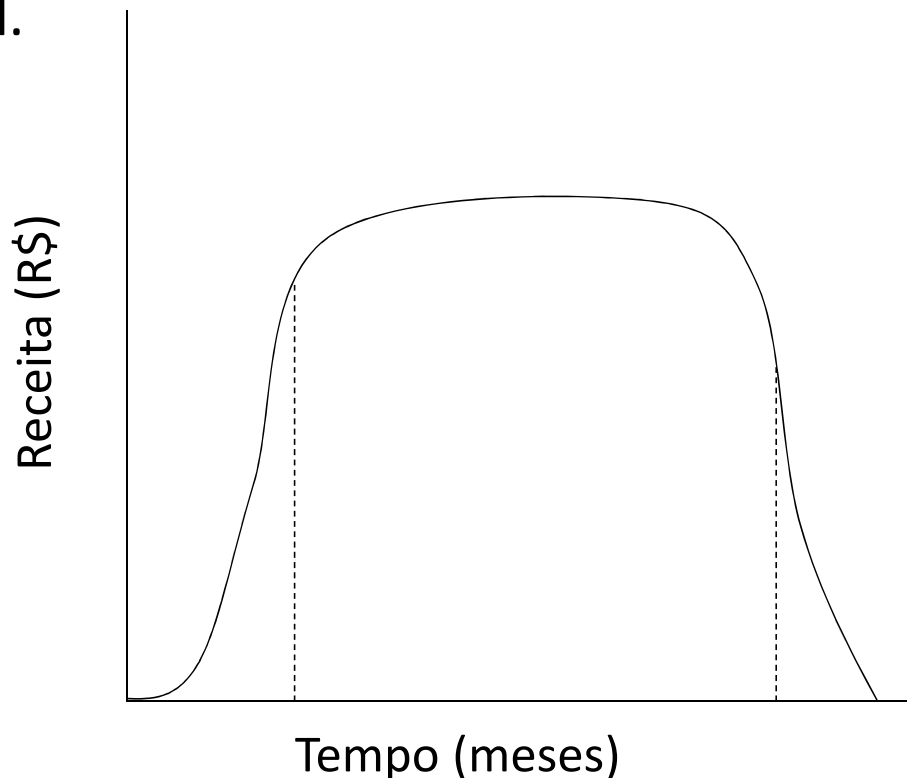
- **Importante/Crítico**: tipicamente, **métricas competem** entre si no sentido que melhorar o sistema em termos de uma métrica usualmente leva a uma degradação com respeito a outra métrica.
- Para ser bem-sucedido, um projetista precisa estar familiarizado com uma **variedade de tecnologias de *software e hardware*** a fim de encontrar a melhor implementação **para uma dada aplicação e para o conjunto de restrições**.

Métricas de projeto

- **Custo por unidade**
- **Custo NRE** (Non-Recurring Engineering cost)
- **Tamanho**
- **Desempenho**
- **Consumo**
- **Flexibilidade**
- **Tempo para prototipagem**
- **Tempo para colocação do produto no mercado**
- **Sustentabilidade (manutenção)**
- **Exatidão**
- **Segurança**
- **outros**

Janela de Mercado

- **Time-to-market:** Tempo necessário para desenvolver um sistema do ponto em que foi proposto (especificado) até iniciar a venda aos consumidores
- Existe um período mais propício para o lançamento do produto, durante o qual espera-se alcançar as maiores vendas.
- Eventuais atrasos no início das vendas pode significar uma perda elevada na receita total.



Time-to-market

“Hardware Engineer’s Biggest Challenges”

The second top thing I always hear is the project schedules are getting aggressive and more aggressive. The time to market windows are shrinking. If you don’t bring the product within that window, your competitor would be in market, with equivalent or maybe better product.

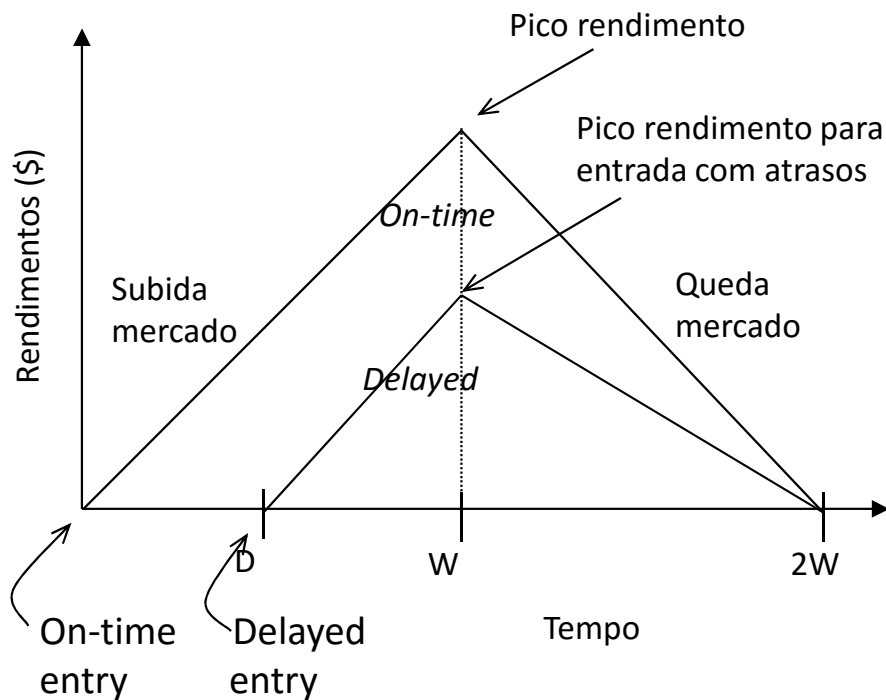
*This creates frustration, stress and mind blocks among some while for some it acts as a stimulant to find ways to cut down the product development time. The design cycles continue to shrink worldwide by **13% over the past last 3 years**.*

*We at Powersoft19 have been blessed with opportunities to serve our prestigious clients for shortening their new product development time from **5 years** to less than **2 years** and in most recent case - **13 months**.*

Hassan Shahzad (blog)

Julho 2014

Entrada mercado x Rendimento



Modelo de rendimento simplificado

- Vida produto = $2W$, pico no W
- Entrada no mercado define um triângulo, representando a ocupação do mercado pelo produto
- Área do triângulo é igual ao rendimento total (alcançado com as vendas)

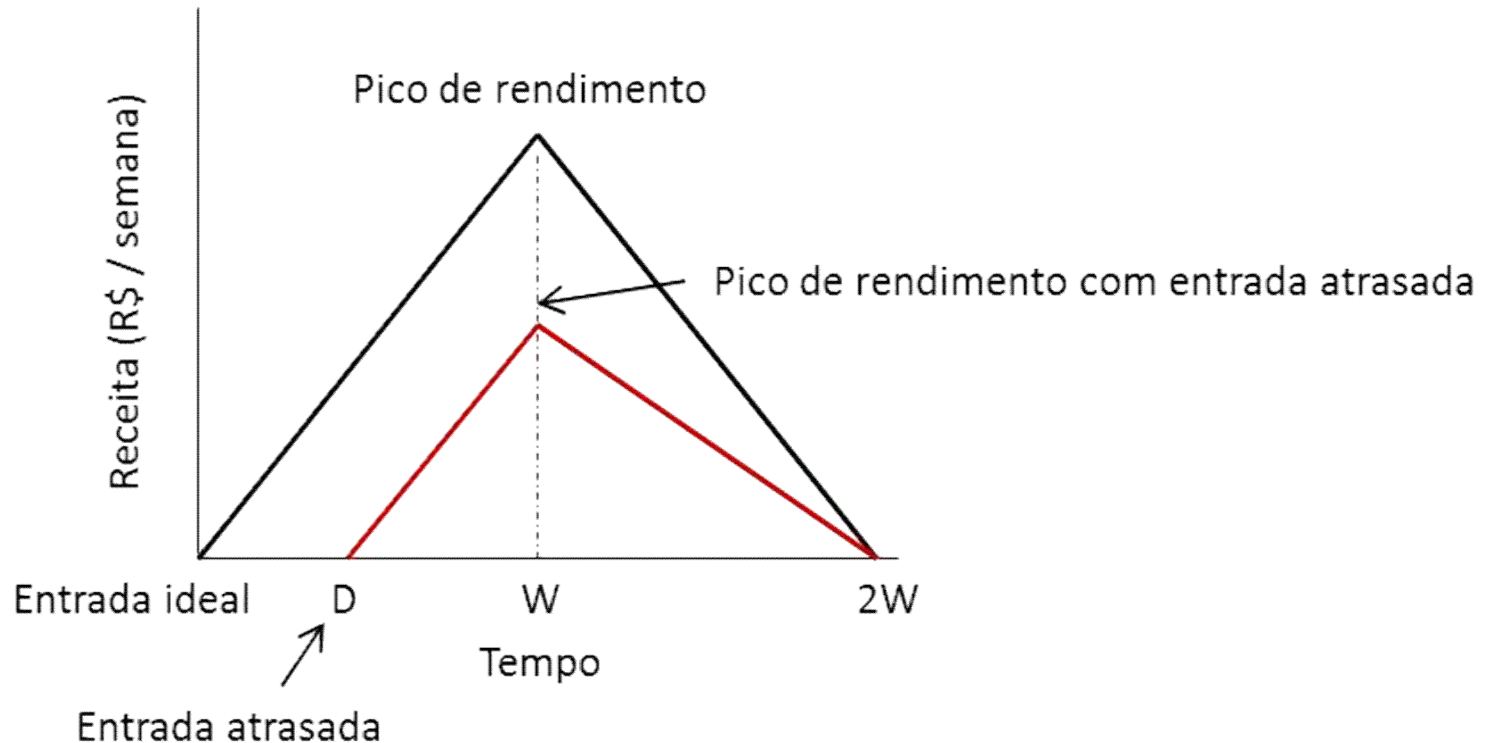
Perdas

- Diferença entre as áreas dos triângulos *no tempo (On-time)* e *atrasado (Delayed)*

$$\text{Porcentagem de perdas de rendimento} = ((\text{On-time} - \text{Delayed}) / \text{On-time}) \times 100\%$$

Exemplo

Considere um produto cujo tempo de mercado é 52 semanas. Se o atraso de entrada no mercado for de 4 semanas, qual será a porcentagem de perda de rendimentos? E se o atraso for de 10 semanas?



Qual a perda percentual de receita por causa do atraso no lançamento do produto?

- Área de cada curva define o rendimento total alcançado com as vendas do produto no tempo em que esteve disponível.
- A diferença entre as áreas das curvas corresponde à perda de receita.

Exemplo

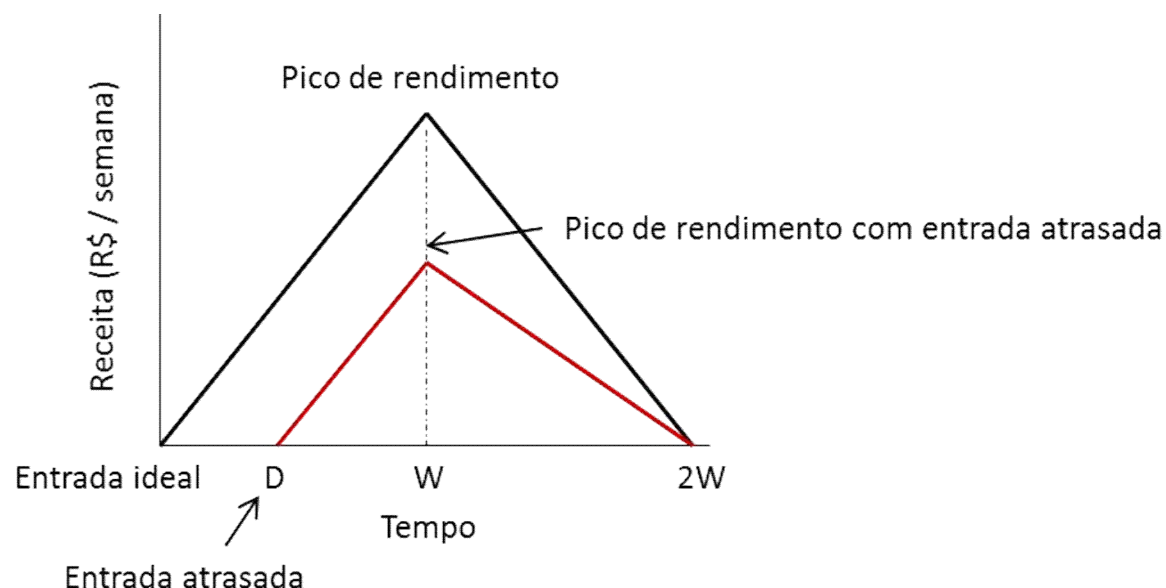
Considere um produto cujo tempo de mercado é 52 semanas. Se o atraso de entrada no mercado for de 4 semanas, qual será a porcentagem de perda de rendimentos? E se o atraso for de 10 semanas?

Considerando um ângulo de subida de 45°,

- Área (entrada ideal) = $(1/2) * (2W) * W$
- Área (entrada atrasada) = $(1/2) * (2W - D) * (W - D)$
- Perda percentual = $[W^2 - (1/2) * (2W^2 - 3WD + D^2)] / W^2 \quad (\times 100\%)$
 $= D * (3W - D) / 2W^2 \quad (\times 100\%)$

- $2W=52 \quad D=4$
 $(4 * (3 * 26 - 4) / 2 * 26^2) = 22\%$
- $2W=52 \quad D=10$
 $(10 * (3 * 26 - 10) / 2 * 26^2) = 50\%$

Atrasos custam caros!



Métricas de projeto

- **Custo por unidade**
- **Custo NRE (Non-Recurring Engineering cost)**
- **Tamanho**
- **Desempenho**
- **Consumo**
- **Flexibilidade**
- **Tempo para prototipagem**
- **Tempo para colocação do produto no mercado**
- **Sustentabilidade (manutenção)**
- **Exatidão**
- **Segurança**
- **outros**

Métricas de custo

- **C_{NRE} (Non-recurring engineering cost)**
 - Custo de Engenharia de Projeto
 - Custo de Fabricação de Protótipos
- **$C_{unitário}$**
 - Processo
 - Embalagem
 - Testes

Baseado em slide do Prof. Konstatinos Tatas

Custo NRE e Custo por Produto

- Para uma dada implementação, são conhecidos o custo NRE (c_{NRE}) e o custo por unidade (c_u). Logo,

$$\text{Custo total} = c_{\text{NRE}} + c_u \times \text{número de unidades}$$

- Cada produto fabricado, portanto, custou:

$$\begin{aligned} \text{Custo por produto} &= \text{Custo total} / \text{número de unidades} \\ &= c_{\text{NRE}} / \text{número de unidades} + c_u \end{aligned}$$

Custo NRE e Custo por Produto

- Exemplo: $c_{\text{NRE}} = \$ 2000$ e $c_u = \$ 100$

Supondo que 20 unidades foram produzidas,

$$\text{Custo total} = \$ 2000 + \$ 100 * 20 = \$ 4000$$

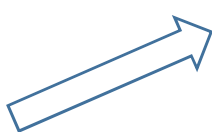
$$\text{Custo por produto} = \$ \underbrace{2000 / 20} + \$ 100 = \$ 200$$

O custo NRE traz um custo adicional por produto de \$ 100.

Supondo que 2000 unidades foram produzidas,

$$\text{Custo por produto} = \$ \underbrace{2000 / 2000} + \$ 100 = \$ 101$$

O custo NRE traz um custo adicional por produto de \$ 1.

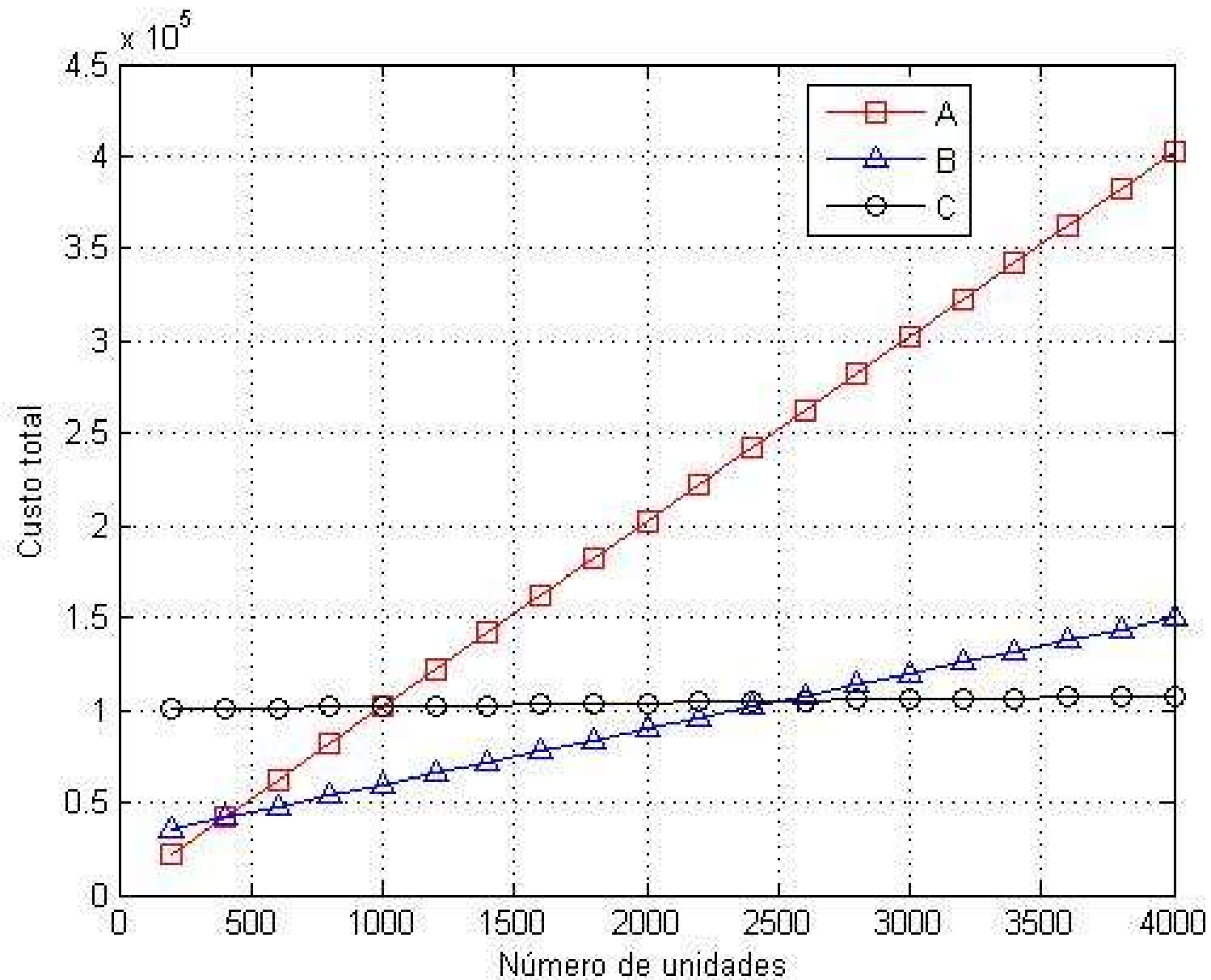


É possível amortizar o custo NRE se o produto for fabricado em larga escala.

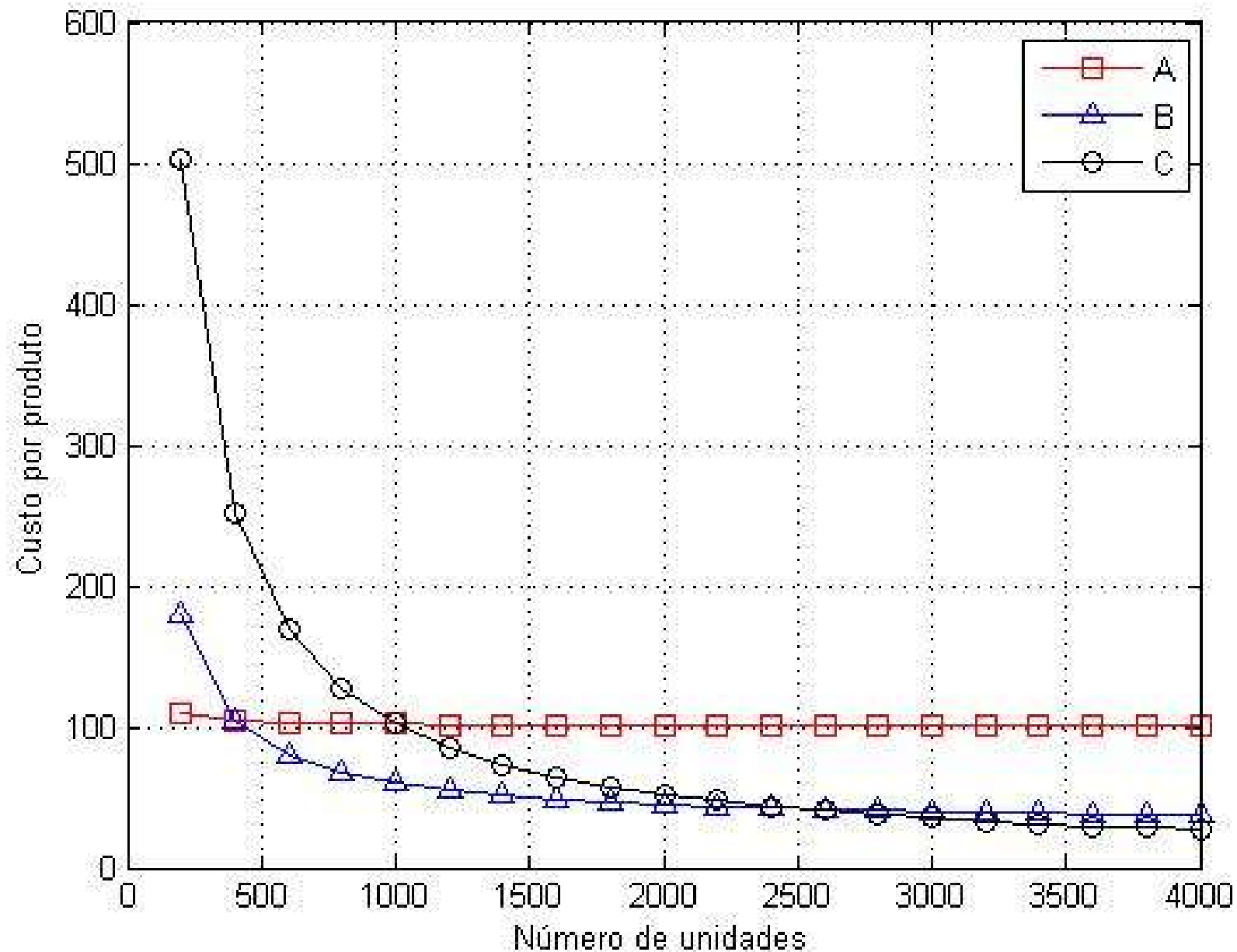
Custo NRE e Custo por Produto

- Suponha que existam três tecnologias para a implementação de um produto:
 - Tecnologia A: $c_{\text{NRE}} = \$ 2.000$ e $c_u = \$ 100$
 - Tecnologia B: $c_{\text{NRE}} = \$ 30.000$ e $c_u = \$ 30$
 - Tecnologia C: $c_{\text{NRE}} = \$ 100.000$ e $c_u = \$ 2$
- Quando é vantajoso utilizar cada uma destas tecnologias?

Custo NRE e Custo por Produto



Custo NRE e Custo por Produto



Métricas de projeto

- Custo por unidade
- Custo NRE (Non-Recurring Engineering cost)
- Tamanho
- **Desempenho**
- Consumo
- Flexibilidade
- Tempo para prototipagem
- Tempo para colocação do produto no mercado
- Sustentabilidade (manutenção)
- Exatidão
- Segurança
- outros

Desempenho

- Métrica que informa quanto tempo o sistema precisa para executar a tarefa desejada.
- Algumas medidas, como a frequência do relógio interno (*clock*) ou o número de instruções por segundo que o processador consegue executar são utilizadas.
- Exemplo: câmera digital – mais importante do que conhecer estas medidas, o parâmetro crítico é a velocidade de processamento de uma imagem.

Desempenho

Duas medidas importantes:

- **Latência** (ou tempo de resposta) = tempo entre o início e conclusão da tarefa.
(e.g., uma câmera processa uma imagem em 0,25 segundos).
- **Throughput** (taxa, vazão) = número de tarefas que podem ser processadas em uma unidade de tempo.
(e.g., uma câmera processa 4 imagens por segundo).

OBS: É possível aumentar o *throughput* utilizando paralelismo.

- Aceleração (*speedup*) = desempenho de B / desempenho de A

Créditos do Material didático

Fontes: Material de oferecimentos anteriores:

- Profa. Leticia
- Prof. Levy
- Prof. Leo Pini
- Profa. Alice
- ...



Source: <http://www.gettyimages.com/detail/illustration/we-thank-you-royalty-free-illustration/174177500>