

Tópico 1

Introdução

Autores: José Raimundo de Oliveira e Wu Shin-Ting

Agosto/2019

1.1 Classes de computadores

A forma de classificar os sistemas computacionais variaram com o tempo. Até a década dos anos 1980 eram facilmente classificados de acordo com o seu tamanho físico. O nome **computador** era reservado às grandes instalações em CPD's (Centro de Processamento de Dados), como exemplos desta classe de computadores, pode-se citar os IBM370 e os DEC10; outra classe eram os **mini-computadores** instalados em laboratórios acadêmicos e pequenas instituições, o exemplo mais conhecido desta classe foram os PDP11. E, por último, os chamados **micro-computadores**, que surgiam com os computadores pessoais, exemplo maior desta classe foram os IBM-PC.

Com a evolução das técnicas de integração de circuitos e da ciência da computação, a forma de usar os computadores, ou seja, sua aplicação passou a prevalecer sobre outras formas de classificação. Hoje em dia, segundo Patterson & Hennessy (2018), os computadores podem ser classificados como:

- **Computadores pessoais**, usados por um indivíduo;
- **Servidores**, usados principalmente através de acesso remoto via rede, rodando múltiplas aplicações simultâneas;
- **Supercomputadores**, são sistema com maiores desempenho e custo voltados principalmente para aplicações científicas complexas e aplicações de cálculo complexo, como na previsão de tempo e noutras análises de grande quantidade de dados;
- **Computadores embarcados**¹, formam a maior classe de computadores e abrangem o mais largo campo de aplicações e desempenho. Em geral, trata-se de um computador dentro de outro dispositivo usado para rodar uma predeterminada aplicação ou coleção de *software*.

É sobre esta última classe que este curso irá tratar. Nela estão incluídos os microprocessadores encontrados nos automóveis, o computador no aparelho de TV e a rede de processadores que controlam um avião moderno ou um navio de carga. São projetados para rodar uma aplicação

¹ Os termos **Computadores Embarcados** e **Sistemas Embarcados**, são utilizados no Brasil para designar o que em inglês se chama "*Embedded Computer*" ou "*Embedded Systems*". Trata-se de um vício de linguagem muito influenciado pela aplicação de sistemas veiculares (carros, barcos e aviões). A tradução literal de "*Embedded*", segundo o *Google translate*, é "Embutido", **Sistemas Embutidos** é um outro termo usado no Brasil. No português de Portugal, o termo usado é **Sistemas Embebidos** ou **Embutidos**. Na Espanha, são usados os termos **Sistema Embebido**, ou **Empotrado**, ou **Integrado**, ou **Incrustado**. Apesar de considerar que o termo "Embutido" reflete mais precisamente a abrangência das aplicações desta classe de computadores, neste texto será mantido o uso do termo "Embarcado" por coerência com a literatura nacional e com o próprio nome da disciplina.

ou um conjunto de aplicações interrelacionadas, normalmente integradas com o *hardware*, e trabalham como um sistema único; assim, independente do grande número de computadores envolvidos, os usuários nunca perceberão que eles estão usando um computador. (**Patterson & Hennessy, 2018**)

Um sistema embarcado pode conter toda a funcionalidade sob a forma de *software* executado em processadores ou sob a forma de *hardware* especializado. Em complemento ao *software* e *hardware* clássicos, que podem ser projetados por engenheiros de *software* e de *hardware*, o projeto de sistemas embarcados pode exigir o desenvolvimento de **software dependente de hardware** e de **hardware dependente de software**. Estes sistemas têm frequentemente requisitos extremamente exigentes em termos de confiabilidade e segurança, verificação e validação, desempenho, resposta temporal, determinismo, consumo energético, dissipação de potência, e de interligação com outros sistemas, incluindo os sistemas físicos através de sensores e atuadores. Por essa razão, as interfaces *hardware-software* necessitam de ser projetadas conjuntamente, requerendo novas competências que combinam o conhecimento de *hardware* com o de *software*. (**INForum, 2019**)

O computador embarcado está embutido em aplicações com pouca ou nenhuma interação com o ser humano. Se por um lado isto simplifica a programação da interface humano-máquina, por outro lado, impõe diversos requisitos, como por exemplo, de temporização, de confiabilidade e de segurança.

1.2 Motivação

1.2.1 Motivação 1 – Potencial econômico

As tabelas a seguir mostram uma seleção de dados que demonstram o potencial da aplicação de sistemas embarcados. Estes dados foram obtidos de relatório do *McKinsey Global Institute Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy* de Maio de 2013. Deste relatório, foram aqui selecionados somente os dados relativos à *Internet das Coisas*, à *Robótica Avançada* e a *Veículos Autônomos e Semi-autônomos*.

Tabela 1.1 Relativos à *Internet das coisas*

300%	foi o crescimento em dispositivos conectados Machine-to-machine (M2M)
80-90%	Declínio de preços em sensores MEMS (<i>MicroElectroMechanical Systems</i>) nos últimos 5 anos.
1 trilhão	De coisas que podem ser conectadas à <i>internet</i> pela indústria de manufatura, de tratamento de saúde e de mineração
\$36 trilhões	Custo de operação de indústrias afetadas chave (de manufatura, de tratamento de saúde e de mineração)
100 milhões	Números globais de conexões de dispositivos de M2M pelos setores como transporte, segurança, tratamento de saúde e utilidades

Tabela 1.2 Relativas à *Robótica avançada*

75-85%	Mais barato é o que custa o robô Baxter comparado a um robô industrial típico https://www.youtube.com/watch?v=gXOKWuSckRI
170%	Crescimento em vendas de robôs industriais entre 2009 a 2011
320 milhões	De trabalhadores na manufatura, 12% da força de trabalho global
\$6 trilhões	Custo de empregar trabalhadores em manufatura, 19% do custo de emprego global
250 milhões	Principais cirurgias anuais
\$2-3 trilhões	Custo das principais cirurgias

Tabela 1.3 Veículos autônomos e semi autônomos

7	Milhas percorrido por carro sem motorista em 2004 DARPA <i>Grand Challenge</i> ao longo de uma rota de 150 milhas
1540	Total de milhas percorrido pelos carros que competiam no 2005 <i>Grand Challenge</i>
300.000+	Milhas percorridas pelos carros autônomos da Google com somente 1 acidente (causado por humano)
1 bilhão	Carros e caminhões no globo
450.000	Aeronaves civis, militares e gerais no mundo
\$4 trilhões	Vendas da indústria automobilística
\$155 bilhões	Vendas da indústria de aviações (civil, militar e geral)

1.2.2 Motivação 2 – Tendência tecnológica

Uma fonte importante em tecnologia da informação para análise e projeções de tendências tecnológicas é a Gartner. Gartner é uma empresa de consultoria fundada em 1979 por Gideon Gartner. A Gartner desenvolve tecnologias relacionadas a introspecção necessária para seus clientes tomarem suas decisões todos os dias. Dentre as diversas ferramentas que ela desenvolve destaca-se aqui a chamada “*Hype Cycle for ...*” que periodicamente ilustra de forma gráfica a evolução das diversas técnicas e ferramentas de uma determinada área da tecnologia. Neste gráfico, as técnicas são posicionadas numa curva que tem seções que indicam o estado de inovação, de pico de expectativa, de vale de desilusão, subida de amadurecimento, e de *plateau* de produtividade, quando a técnica atinge a maturidade. Na Figura 1.1 é mostrada esta análise para a área de Sistemas e *Software* Embarcados, feita em julho de 2019.

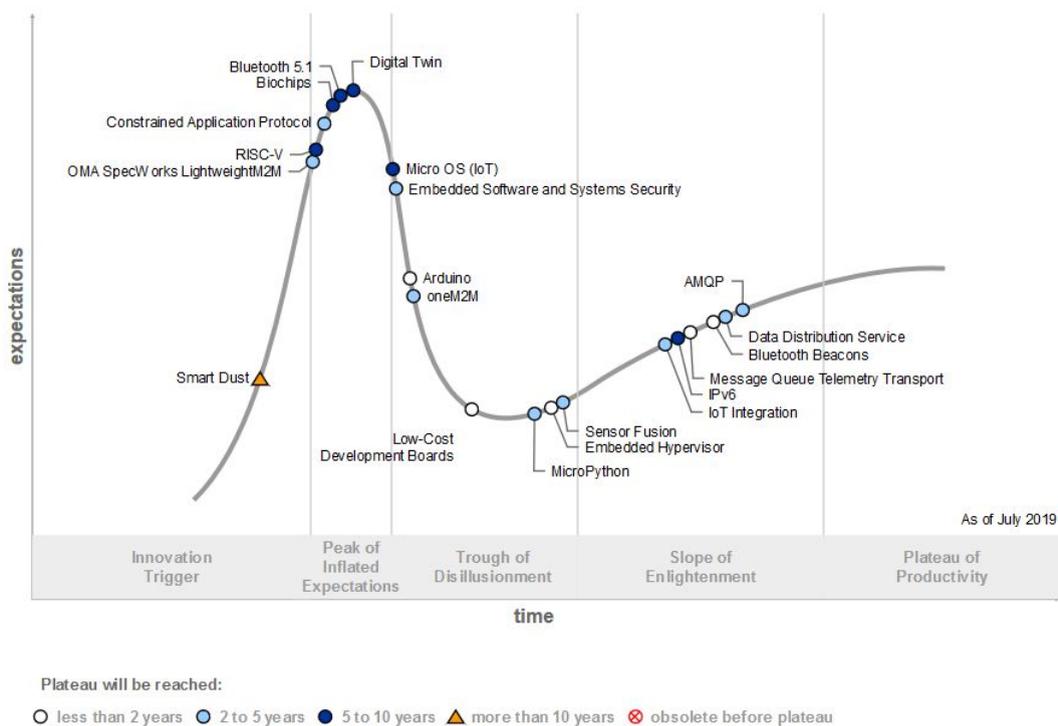


Figura 1.1 Hype Cycle for Embedded Software and Systems (Gartner 2019)

1.2.3 Motivação 3 – Previsões

Segundo diversas previsões,² o futuro da Tecnologia da Informação pode ser resumido no termo Computação Pervasiva² (Espalhada, em inglês **Pervasive computing**), também chamada de computação onipresente (Computação ubíqua, em inglês **Ubiquitous computing**), que é a tendência crescente de embutir capacidade computacional em objetos cotidianos para fazê-los comunicar e executar tarefas úteis de uma forma que minimiza a necessidade do usuário final de interagir com computadores como computadores. Os dispositivos de computação pervasiva são conectados à rede e estão constantemente disponíveis (Rouse, 2019). A Figura 1.2 mostra a relação de Computação Pervasiva com outras técnicas de TI, incluindo Sistemas Embarcados. Outros termos, para esta tendência são: Computador Invisível (**Disappearing computer**) (Streitz et al., 2007) e Inteligência ambiente (**Ambient intelligence**) (Forbes, 2018).

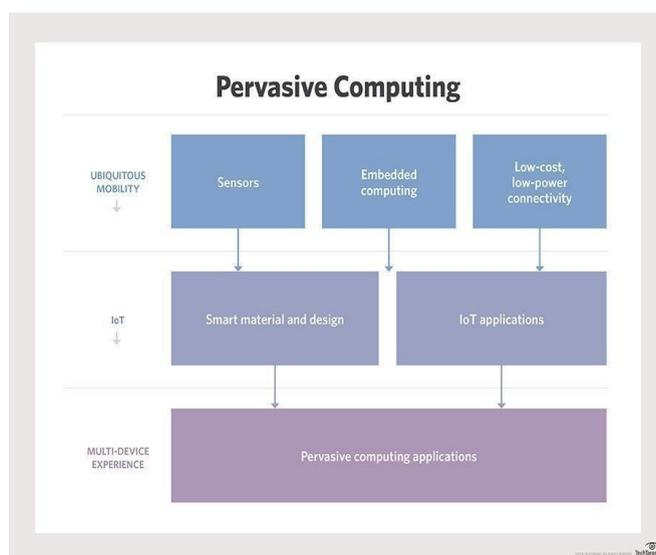


Figura 1.2 - Computação Pervasiva (Rouse, 2018)

Todos estes termos envolvem como tecnologias básicas os Sistemas Embarcados e as Tecnologias de comunicação Marwedel (2011).

Para o projeto de embutir sistemas computacionais em objetos, é importante conhecer toda a dinâmica da aplicação de computação com estes objetos. Tem-se que ter conhecimento dos fundamentos de computação, mas também conhecer a aplicação alvo, numa técnica que é conhecida como sistema ciber-físico (CPS do inglês, **Cyber-physical systems**).

CPS, segundo Lee & Seshia (2017), é uma integração de computação com processos físicos cujo comportamento é definido por partes cibernéticas e físicas do sistema. Computadores embarcados e redes monitoram e controlam os processos físicos, geralmente com ciclos de realimentação nos quais processos físicos afetam as computações e vice-versa. Como desafio intelectual, o CPS trata da interseção, não da união, do físico e do ciber. Não é suficiente entender separadamente os componentes físicos e os componentes computacionais. Em vez disso, devemos entender a interação deles.

² Segundo <https://www.dicio.com.br/>, pervasivo é um adjetivo com o significado de **espalhado**; que tende a se espalhar, infiltrar, propagar ou difundir por toda parte; de uso geral e completo: tratamento **pervasivo**. Etimologia (origem da palavra **pervasivo**). Do inglês **pervasive**.

- A **segurança** compete com a necessidade de **alta conectividade**;
- A **adaptabilidade** a situações diversas pode ser conflitante com a **repetibilidade**;
- O **alto desempenho** pode comprometer a necessidade de **pouca energia**;
- A operação **assíncrona** compromete a **coordenação** ou a cooperação entre dispositivos;
- A **escalabilidade** pode comprometer a **confiabilidade** e a previsibilidade;
- As **possibilidades técnicas** podem esbarrar em **Legislações** e Regulamentos;
- Por último, uma questão mais cibernética, mas que pode gerar impacto nas opções de desenvolvimento, é a decisão sobre o uso de **Sistema Aberto ou Sistema Proprietário**.

O desenvolvedor de CPS deve estar atento a todos estes conflitos.

1.3.3 O Processo de Projeto de Sistema Ciber-físico

O desenvolvimento de um projeto de sistema ciber-físico, segundo Lee & Seshia (2017), é um processo com três etapas, Modelagem (*Modeling*), Projeto (*Design*) e Análise (*Analysis*). Estas etapas interagem entre si, como mostra a Figura 1.4.

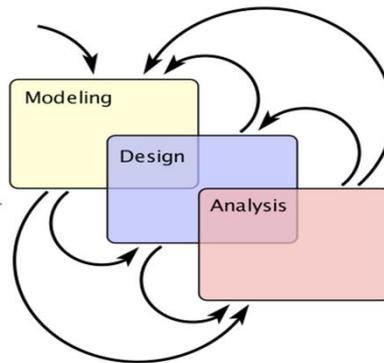


Figura 1.4 - Processo de projeto de CPS (Lee & Seshia, 2017)

Modelagem é a etapa do processo de obter uma compreensão mais profunda de um sistema através da imitação. Os modelos expressam **o que (what)** um sistema faz ou deveria fazer. Normalmente esta é a etapa inicial do projeto.

Projeto (Design) é a criação estruturada de artefatos que irão realizar as tarefas do sistema. Especifica **como (how)** um sistema faz o que faz.

Análise é o processo de obter uma compreensão mais profunda de um sistema através da dissecação. Ele especifica **por que (why)** um sistema faz o que faz (ou não faz o que um modelo diz que deveria fazer).

Uma vez iniciada a modelagem, dela pode ser disparada uma análise para validar o modelo. Eventualmente a partir desta análise, correções no modelo podem ser feitas. Uma vez definido o modelo, parte-se para a etapa de projeto. Durante o desenvolvimento da etapa de projeto, pode-se concluir que por algum motivo tecnológico, o modelo precisa ser refeito. Assim novo modelo deve ser construído. A partir da etapa de projeto, nova análise deve ser feita, verificando agora a correção do artefato desenvolvido, ou seja, se ele atende a especificação feita a partir do modelo. Se não atender, o projeto deve ser refeito.

1.4 Exemplos de áreas de aplicação



A seguir alguns exemplos de aplicação de CPS.

- **Eletrônica Automotiva**

- ABS: sistema de freio antibloqueio;
- ESP: Controle eletrônico de estabilidade;
- Airbags;
- Câmbio automático;
- Sistema de auxílio ao estacionamento;
- Sistema de auxílio a ladeira;
- Tração independente nas 4 rodas;
- Prevenção de roubo;
- Sistema de alerta de violação de ponto cego.

- **Aviônica**

- Sistema de controle de voo;
- Sistema anti-colisão;
- Sistema de informação ao piloto;
- Sistema de fonte de energia;
- Sistema de controle de “flap”;
- Sistema de entretenimento.



- **Transporte e logística**

- A tecnologia de identificação por radiofrequência (**RFID**) fornece fácil identificação de todo e qualquer objeto em todo o mundo;
- A comunicação móvel permite interação sem precedentes;
- A necessidade de atender às restrições e agendamentos em tempo real está ligando os sistemas embarcados e a logística.

- **Saúde**

- Equipamentos de medição e análise;
- ECG, Tomografia, Ultra-som;
- Recursos para mobilidade;
- Exo-esqueletos, cadeiras inteligentes;
- Cirurgia remota;
- Recursos para comunicação;
 - Implantes auditivos, interfaces alternativas;
- Monitoramento da saúde de idosos;
- Sensores domésticos, batimento e pressão sanguínea.



- **Entretenimento e residencial**

- Tocadores de mídia;
- Mp3, vídeo, fotos;
- Set-top box;
- Smart tv ;
- Dispositivos vestíveis;
- Lâmpada com wifi.

- **Agricultura e pecuária**

- Rede de sensores inteligentes;
- Umidade, insolação, ventos
- Chips de identificação de animais;
- Drones de inspeção e inventário;
- Válvulas inteligentes de irrigação
- Medidores diversos.



1.5 Objetivos desta Disciplina

Para completar as habilidades de desenvolvimento de um sistema ciber-físico completo, o estudante de Engenharia precisa ter formação em diversas áreas, não só em *hardware* e *software* de computadores. A nossa escola oferece disciplinas nas áreas de Biomédica, Telecomunicações, Sistemas de Energia, Eletrônica, Controle e Computação. Destaca-se aqui a importância das disciplinas na área de controle para modelagem e análise de sistemas.

Esta disciplina irá se dedicar a apresentar os conceitos fundamentais para o desenvolvimento da parte computacional de um sistema ciber-físico, literalmente, do computador embarcado.

Segundo Koopman (2016) os engenheiros de Sistema Embarcado são generalistas. Frequentemente eles escrevem especificações, fazem *lay-out* de circuito impresso, escrevem *software*, criam testes e chegam até a fazer apresentações de *marketing* para consumidores

Ao final da disciplina espera-se que o aluno seja capaz de reconhecer as diversas tecnologias disponíveis para a implementação de sistemas embarcados, suas origens e suas limitações, desenvolvendo um espírito crítico para se adaptar às mudanças que virão. Deverão estar aptos a aplicar os conhecimentos vistos nesta disciplina em outras áreas.

1.6 Exercícios

1. Classifique, quando pertinente, os seguintes sistemas computacionais conforme os quatro grupos dados na Seção 1.1: máquina Tianhe-I, válvulas reguladoras de fluxo, *smartphones*, telefones analógicos e tablets.
2. Quais são as 12 tecnologias baseados em sistemas embarcados consideradas disruptivas? Acesse o relatório *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy* do McKinsey Global Institute.
3. De acordo com a empresa de consultoria Gartner, *Arduino* e *low-cost development* são duas tecnologias que estão se progredindo na curva de descida do vale de desilusão. Por quê? Consulte <https://www.gartner.com/document/3947225> via o link da Unicamp <https://www.citic.unicamp.br/gartner>.
4. A mesma empresa Gartner considera que *MicroPython* e *Embedded Hypervisor* são duas tecnologias que estão no intervalo da subida do vale de desilusão. Quais são as razões dadas pela Gartner?
5. Quais são as duas tecnologias importantes para computação pervasiva?
6. Quais são as características de um sistema ciber-físico, como sistemas embarcados?
7. Liste 6 requisitos conflitantes que um projeto de sistemas embarcados precisa atender.
8. Discuta as interdependências entre as três fases de um projeto de sistema ciber-físico apresentadas na Seção 1.3.3, em termos de múltiplas iterações entre elas.

1.7 Referência Bibliográfica

Forbes (2018): *Forbes Insights Team. Ambient Intelligence: The Power Of “Always-On” Technology. Disponível em* <https://www.forbes.com/sites/insights-intelai/2018/09/21/ambient-intelligence-the-power-of-a-lways-on-technology/#31dafc492a5e>. acessado em agosto 2019.

- Gartner (2019)** *Hype Cycle for Embedded Software and Systems*, 2019 08 July 2019 G00370060, Disponível em <https://www.gartner.com/document/3947225?ref=solrAll&refval=227500270&qid=1faba398effaedb38e88ba9147>
- INForum (2019):** *Sistemas Embebidos e de Tempo-Real (SETR)*
<http://inforum.org.pt/INForum2019/sessoes/sistemas-embebidos-e-de-tempo-real.htm>
|
- Koopman (2016):** Philip Koopman *Notas de aula 18-348 Embedded System Engineering 2016 – Carnegie Mellon* disponível em:
https://users.ece.cmu.edu/~koopman/lectures/ece348/01_course_intro_handouts.pdf
- Lee & Seshia (2017):** E. A. Lee and S. A. Seshia, *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*, Second Edition, MIT Press, 2017.
- Marwedel (2011):** Peter Marwedel, *Embedded System Design (Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems)*, *Notas de aula Informatik 12 - Technische Universität – Dortmund – 2011*
- Patterson & Hennessy (2018):** David A. Hennessy, John L. . *Computer Organization and Design RISC-V Edition (The Morgan Kaufmann Series in Computer Architecture and Design)*. Elsevier Science. Edição do Kindle 2018 - ISBN: 978-0-12-812275-4.
- Rouse (2019):** Margaret Rouse. *Pervasive computing (ubiquitous computing)* disponível em <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/pervasive-computing-ubiquitous-computing>, acessado em agosto 2019
- Streitz et al. (2007):** Streitz, N. A., Kameas, I. Mavrommati (Eds.) (2007), *The Disappearing Computer: Interaction Design, System Infrastructures and Applications for Smart Environments. State-of-the-Art Survey*, Springer LNCS 4500