

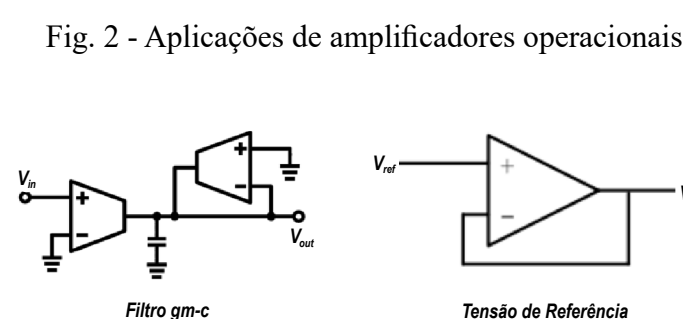
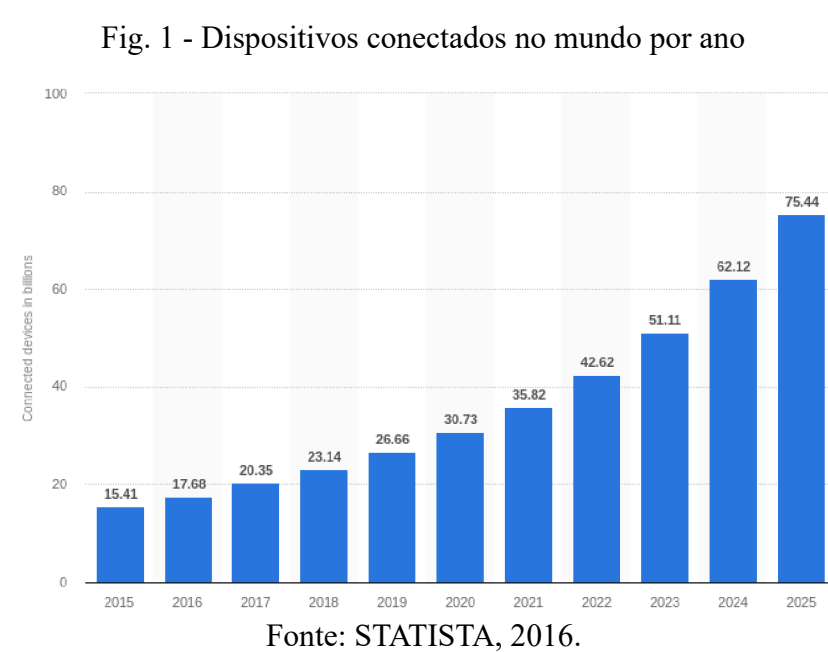


### Metodologia de Projeto de Amplificadores Operacionais CMOS Integrados

Iago Rockstroh M. Severo - Orientadores: Filipe D. Baumgratz (DELET - UFRGS) e Sergio Bampi (Informática - UFRGS)

#### Introdução

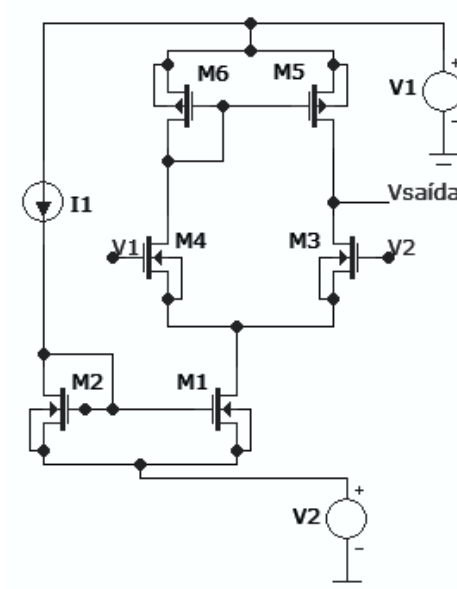
- Cenário atual da Eletrônica: dispositivos Internet das Coisa (IoT) e redes de comunicação são essenciais à inovação.
- Evolução rápida prevista para dispositivos de comunicação (Fig. 1).
- O Amplificador Operacional CMOS (AmpOp) é onipresente nos circuitos banda-base de receptores.
- AmpOps têm enorme aplicação em CIs, como na Fig. 2. Usados em circuitos de controle de ganho, filtros gm-C CMOS, fontes de referência DC, etc.



#### Objetivos

- Promover acesso ao conteúdo de projetos para desenvolvimento de amplificadores operacionais CMOS integrados.
- Apresentar um método sistemático e didático para projeto de AmpOp CMOS integrados.
- Exemplos abordados nas figuras 3, 4 e 5: o circuito esquemático de um AmpOp, o seu símbolo completo e um chip contendo um amplificador de baixo ruído.

Fig. 3 - Esquemático de um AmpOp de um estágio



Fonte: Autor

Fig. 4 - Representação em símbolo

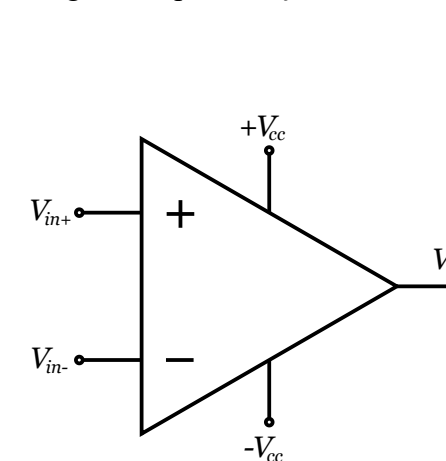
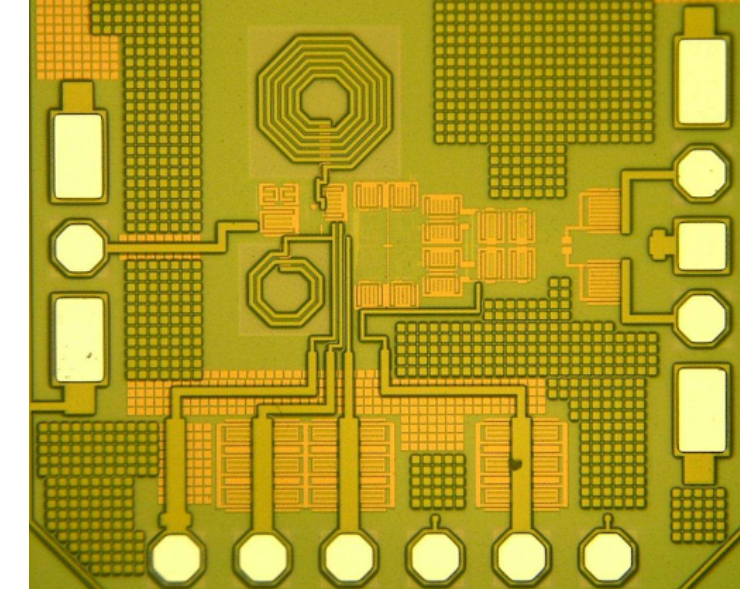


Fig. 5 - Fotografia de um circuito integrado CMOS



Fonte: "A 0.4 - 33 GHz LNVGA", Springer ALOG, Jan 2018.

#### Metodologia de Projeto

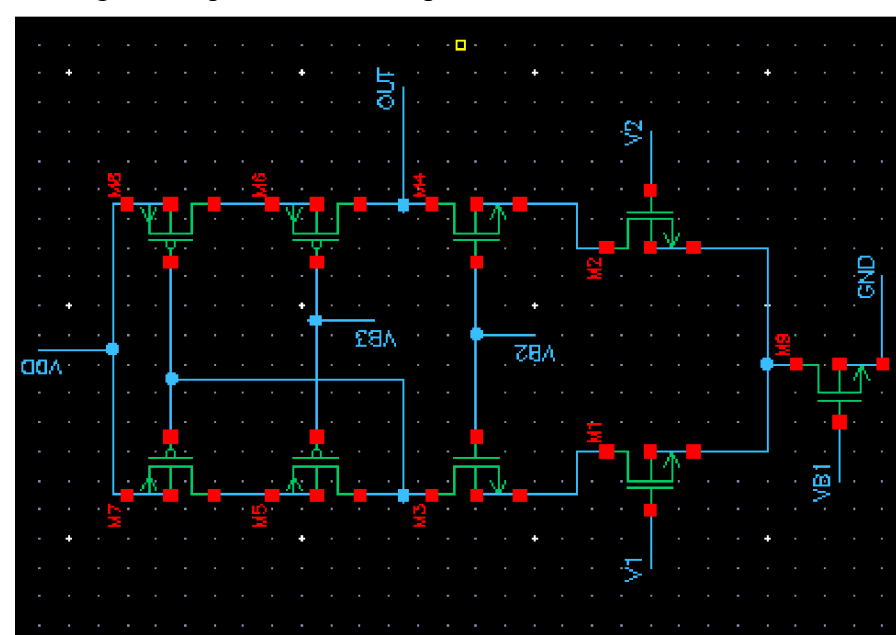
A primeira etapa do Design necessita de uma metodologia para dimensionar os transistores de efeito de campo (MOSFET). Nesta pesquisa determinamos a largura W e o comprimento L dos transistores utilizando os seguintes modelos matemáticos para corrente:

- **Modelo Quadrático:**
  - Apenas para transistores operando no modo de saturação.
  - Funcionamento da corrente em função da tensão na porta.
  - Não é usual para outras regiões de operação.
- **Modelo Advanced Compact MOSFET (ACM):**
  - Usa corrente específica como característica.
  - Regiões de operação fraca, moderada e forte.
  - Necessário simulações para extração de parâmetros.
- **Característica gm/Id:**
  - Interpreta a eficiência entre corrente e transcondutância.
  - Trabalha com diferentes regiões de operação.

Após realizar o dimensionamento, segue-se a simulação elétrica de um amplificador usando topologias conhecidas. Nos exemplos abaixo:

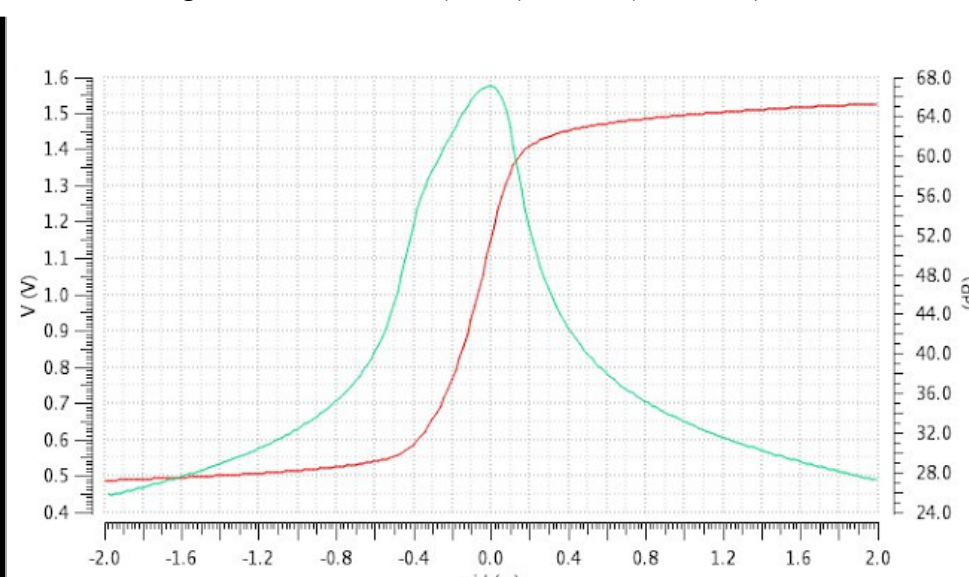
- Na fig. 6, contém o esquemático de um AmpOp Diferencial.
- Na fig. 7, mostra um gráfico de ganho de tensão em dB ( $A_v$ ) e tensão de saída ( $V_{out}$ ) por tensão de entrada diferencial ( $V_{id}$ ).

Fig. 6 - Esquemático do Amplificador Diferencial Cascode



Fonte: Autor

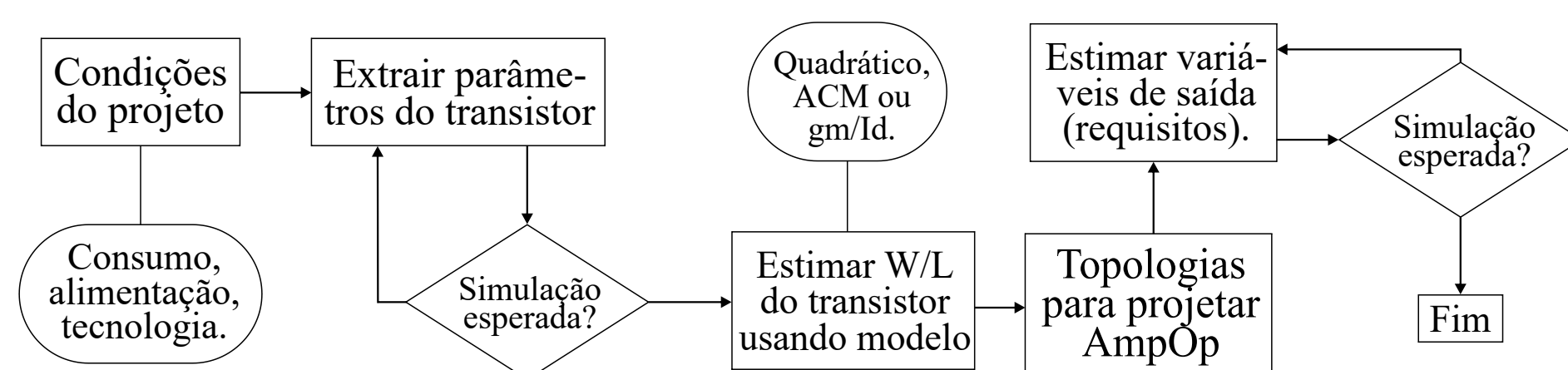
Fig. 7 - Gráfico de  $A_v$  (verde) e  $V_{out}$  (vermelho) x  $V_{id}$



Fonte: Autor

#### Resultados

O fluxo de projeto analógico é mostrado na figura abaixo.



Fonte: Autor

#### Conclusões

- Com a finalização da proposta de fluxo analógico, a produção deste conteúdo contribuirá com novos tutoriais para projetos de circuitos CMOS integrados.
- Desenvolver uma abordagem sistemática e simplificada de projetos de amplificadores operacionais CMOS integrados.

#### Referências

- [1] RAZAVI, B. Design of Analog CMOS Integrated Circuits. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [2] ALLEN, P. E.; HOLBERG, D. R. CMOS Analog Circuits Design. 2ª. ed. New York: Oxford, 2002.