



## INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

**Título do Trabalho: PROJETO DE LAYOUTS DE CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITAIS UTILIZANDO TECNOLOGIA CMOS**

**Autor (es): Renner Ribeiro Brandão, Tarlei Almeida e Rafael Vinicius Tayette da Nobrega**

**Palavras-chave: Circuitos integrados, desenvolvimento tecnológico, microeletrônica, tecnologia CMOS.**

**Campus: Formiga**

**Área do Conhecimento (CNPq): Engenharia Elétrica**

## RESUMO

Na atualidade, tem se observado o quanto a utilização dos circuitos integrados é importante para o desenvolvimento da tecnologia, eles não só mantêm o crescimento da indústria eletrônica, como fazem parte do cotidiano do ser humano, estando presentes em praticamente todos os aparelhos eletrônicos utilizados no dia-a-dia. O fato que permitiu o desenvolvimento dos circuitos integrados da maneira que este se dá nos dias de hoje foi o domínio e entendimento dos materiais semicondutores, através da criação do transistor, que é o dispositivo que permite a integração de componentes em um circuito integrado. A indústria eletrônica concentra seus esforços em estar sempre diminuindo a escala dos transistores a serem integrados, isso permite que uma maior quantidade de componentes possam ser fixados em um mesmo circuito integrado (CI), hoje em dia já se utiliza microprocessadores com dezenas de milhões de transistores integrados em um pequeno *chip*. Portanto os esforços não devem ser direcionados apenas à redução dos componentes, mas também à etapa de *layout* destes dispositivos. Em função disso, este projeto apresenta o estudo e as etapas necessárias para a produção de *layout* de CIs, que é o objetivo principal deste projeto.

## INTRODUÇÃO:

Os circuitos integrados, são considerados a descoberta tecnológica mais significativa e importante do século XX, pois a descoberta e evolução destes dispositivos permitem a expansão tecnológica na área da eletrônica à velocidade que esta expansão se dá atualmente (KANG et al, 2003).

O conceito de circuito integrado foi proposto em 1958 por Jack Kilby, quando desenvolveu o primeiro dispositivo desta forma, vindo a receber o prêmio Nobel mais tarde no ano de 2000. A principal razão para a grande evolução da indústria eletrônica é o avanço no desempenho dos circuitos integrados, enquanto os custos de fabricação se mantêm fixos ou às vezes diminui. Além do fato destes dispositivos se tornarem cada vez menores, ocupando menos espaço e permitindo maior portabilidade nas aplicações dos mesmos, o que permite que os circuitos que utilizam os mesmos se tornem menores, mais confiáveis e dissipem menos potência (CHEAH, 2008).

Como a utilização dos circuitos integrados também reduz a quantidade de componentes em um circuito eletrônico, os CIs também aumentam a confiabilidade de um circuito, pois a confiabilidade de um circuito está diretamente relacionada à quantidade de componentes neste circuito, porque quanto mais



componentes há em um circuito maior a chance de falha do mesmo, além do fato de que componentes fixos (como os componentes internos do CI) são mais confiáveis do que componentes variáveis (discretos) (KANG et al, 2003).

Porém o advento dos circuitos integrados se deve à descoberta e à evolução de outros componentes eletrônicos, os transistores. Estes dispositivos foram descobertos e evoluíram a partir do domínio da utilização dos materiais semicondutores, pois os transistores trouxeram grande avanço para a indústria eletrônica que viu a possibilidade de substituir a válvula eletrônica (dispositivo eletrônico que dominava a indústria eletrônica na época, por permitir o controle de corrente) que era grande, frágil, dissipava altas potências e produzia muito calor (CALVERT, 2003).

Como toda a evolução da indústria eletrônica ocorreu em função da evolução dos circuitos integrados, estes passaram por vários processos de melhoria em várias etapas do processo de produção, e como uma de suas mais importantes etapas de produção está o desenvolvimento do *layout* que evoluiu bastante desde o princípio da produção dos CIs. Como geralmente as etapas de *design/layout* e até mesmo a produção são mantidas em segredo pelas empresas fabricantes de CIs (*factories*), se torna cada vez mais difícil desenvolver habilidades educacionais para formação de profissionais da área, portanto, objetivo geral deste projeto é a produção de *layouts* de circuitos integrados digitais utilizando a tecnologia CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), onde, tais circuitos serão utilizados na construção de operadores lógicos de ULAs (Unidades Lógica e Aritmética) em sistemas digitais.

## **METODOLOGIA:**

Foram feitos estudos a respeito do histórico do desenvolvimento dos circuitos integrados, desde os dispositivos primários que motivaram o desenvolvimento destes, bem como da física por trás destes dispositivos. Em seguida iniciou-se os estudos sobre as ferramentas e métodos utilizados para o projeto dos *layouts* e para a simulação dos circuitos integrados. Após os estudos das ferramentas, iniciou-se a confecção em si dos *layouts* dos circuitos integrados. Serão descritas as funcionalidades de algumas das ferramentas que serão utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

### **Linguagens de Descrição de Hardware**

Uma linguagem de descrição de *hardware* (HDL) permite que circuitos digitais sejam descritos por meio de sentenças, de tal forma que eles possam ser simulados e sintetizados. Um sistema descrito em HDL pode ser implementado tanto em um dispositivo programável FPGA (*Field Programmable Gate Array*) quanto em um dispositivo ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*). As linguagens de descrição de *hardware* mais utilizadas atualmente são o VHDL (*VHSIC Hardware Description Language*) e o Verilog. Estas duas são linguagens padrões do IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), facilitando o desenvolvimento com diferentes sistemas (CASILLO, 2010).

A descrição VHDL suporta diversos níveis de hierarquia, assim a descrição pode consistir na interligação de outras menores. Com ela um circuito pode ser descrito de diversas maneiras, e em uma mesma descrição é possível mesclar diferentes níveis de abstração. Como ela não foi concebida para síntese



de circuitos, nem todas as construções da linguagem são suportadas na síntese. Na linguagem VHDL também estão presentes os operadores lógicos, os numéricos e os de comparação. Embora a descrição VHDL utilize um código sequencial, ela modela circuitos que operem de forma concorrente. A ordem da declaração não importa e a mudança de valor em um sinal acarreta a execução de todas as declarações envolvidas (GOMES, 2014).

## Plataforma SPICE

Ao contrário de projetos realizados em nível de componentes discretos, os projetos de circuitos integrados devem ser simulados, e além disso suas propriedades e comportamentos devem ser estudados antes do fabrico. Pois, devido aos altos custos de máscaras de fotolitografia e outros pré-requisitos de fabricação tornam essencial a simulação do comportamento do circuito, antes que o circuito chegue a sua fase de produção, pois mesmo que o circuito tenha sucesso no funcionamento com componentes discretos, podem ocorrer falhas a nível micro de produção. Portanto, o circuito deve ser projetado para estar o mais próximo possível da perfeição antes de ser construído. Devido a esta necessidade, existe um programa, que representa a maneira padrão de mercado de verificar a operação do circuito a nível de transistor antes de acometer o mesmo à fabricação, este programa é o SPICE.

SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) é um programa de simulação de circuitos de propósito geral para análise de circuitos em corrente contínua, transitórios não-lineares, e de análise de pequenos sinais em corrente alternada. Os circuitos simulados neste programa podem conter resistores, capacitores, indutores, indutores mútuos, tensão independente, fontes de corrente, fontes dependentes, linhas de transmissão, *switches* e dispositivos semicondutores comuns. O SPICE é um programa versátil e muito útil no projeto de circuitos, pois é usado em projetos de circuitos tanto em nível eletrônico (macro) como em nível de circuitos integrados, para verificar a integridade de projetos de circuitos e para prever o comportamento do circuito (STEER, 2007).

Basicamente, o SPICE permite três tipos de operações, sendo elas a simulação por *netlist* - código que descreve o circuito, simulação por esquemático - desenho do circuito, e criação de sua própria biblioteca de componentes - opção que permite a criação de componentes específicos com diferentes parâmetros.

## LASI

O *software* LASI (*Layout System for Individuals*) é uma ferramenta CAD (*Computer Aided Design*) utilizada para desenvolver desenhos de *layout* de circuitos integrados. Ele é gratuito e foi feito principalmente para o uso educacional, por isto não substitui um *software* comercial de projetos. Ele funciona para diferentes tecnologias de fabricação de circuitos integrados, pois trabalha seguindo um conjunto de regras de dimensionamento (escolhido pelo usuário) referente a cada método de fabricação.

Para construção do *layout* no LASI, deve-se desenvolver o desenho de cada componente do circuito e interligações em diferentes camadas (referente a cada tipo de material utilizado no processo), ou seja, o próprio programa já foi desenvolvido levando em consideração as etapas de fabricação das principais tecnologias de fabricação de circuitos integrados.



Este programa trabalha com *layers* e níveis de hierarquia entre as células criadas, e a partir daí os designers podem, a partir de sua experiência, definir quais os componentes referentes à cada etapa da fabricação do circuito integrado e após desenhar os *layouts* o programa permite que o usuário realize simulações referentes à performance e ao funcionamento básico em si, do circuito integrado desenvolvido. Tais simulações são permitidas, pois o programa possui alguns utilitários que rodam aplicações externas.

Por meio do LASICKT (exemplo), que é um utilitário do LASI, é possível gerar uma *netlist* SPICE. E como o LASI é apenas um *software* para desenho, e não para simulação, por meio desta *netlist* é possível verificar e simular se o esquemático utilizado está correto, utilizando um simulador SPICE.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Após o estudo sobre o histórico dos circuitos integrados e o seu funcionamento, foram realizadas diversas simulações e análises dos circuitos propostos no primeiro e no segundo capítulo do livro CMOS - *Circuit Design, Layout and Simulation*, foram utilizadas as *netlists* propostas a fim de se entender como descrever uma determinada configuração de circuito utilizando o SPICE, isso também permitiu obter os dados os quais o SPICE permite analisar, portanto se teve uma boa ideia do quanto o programa é útil na análise de circuitos discretos.

Em seguida à etapa inicial de estudos do referencial teórico e das ferramentas a serem utilizadas, iniciou-se os trabalhos com as unidades mais básicas utilizadas para construção dos circuitos integrados, os transistores MOS. Além de entender o funcionamento dos mesmos, foi necessário também entender aspectos referentes à construção destes, para tal, foram trabalhados dados de transistores educacionais cedidos pela USP (Universidade de São Paulo) e construídos por alunos de um curso ofertado pela universidade, e a partir deles foi possível realizar a análise e a extração de certos parâmetros de desempenho e características dos transistores, como a tensão de limiar e a inclinação de sublimiar e a transcondutância.

Também foram realizadas simulações com transistores MOS para observar o seu funcionamento, em cada uma das suas regiões de operação. Utilizando combinações de transistores pMOS e nMOS foram realizadas as implementações das portas lógicas básicas (NAND, AND, NOR, OR). A Figura 1 ilustra a implementação da porta lógica NAND realizada no SPICE, onde foram aplicados sinais lógicos nas entradas A e B a fim de se verificar a resposta na saída Y.

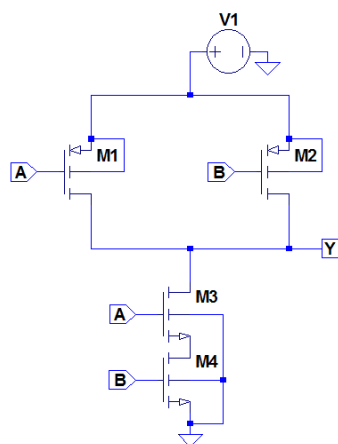


Figura 1 – Porta Lógica NAND.  
Fonte: Autor.



Os esquemáticos desenvolvidos nos estudos de funcionamento, serviram de base para a realização da etapa de *design* dos *layouts* dos circuitos integrados. A Figura 2 ilustra o *layout* desenvolvido no LASI que representa a célula de um transistor nMOS, onde é possível observar os terminais dreno, fonte, gate e substrato.

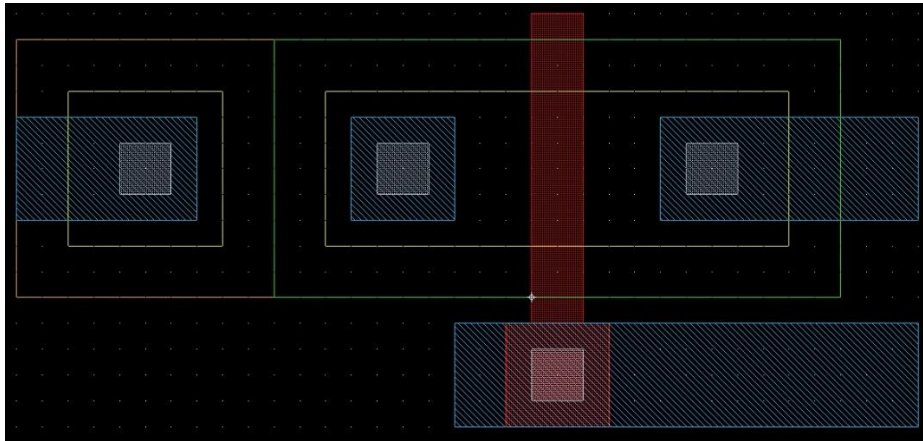


Figura 2 – *Layout* de um transistor nMOS.  
Fonte: Autor.

A partir dos *layouts* das células dos transistores MOS foi possível então implementar os *layouts* das portas lógicas básicas, como pode ser observado na Figura 3, onde se encontra um *layout* de uma porta lógica NAND.

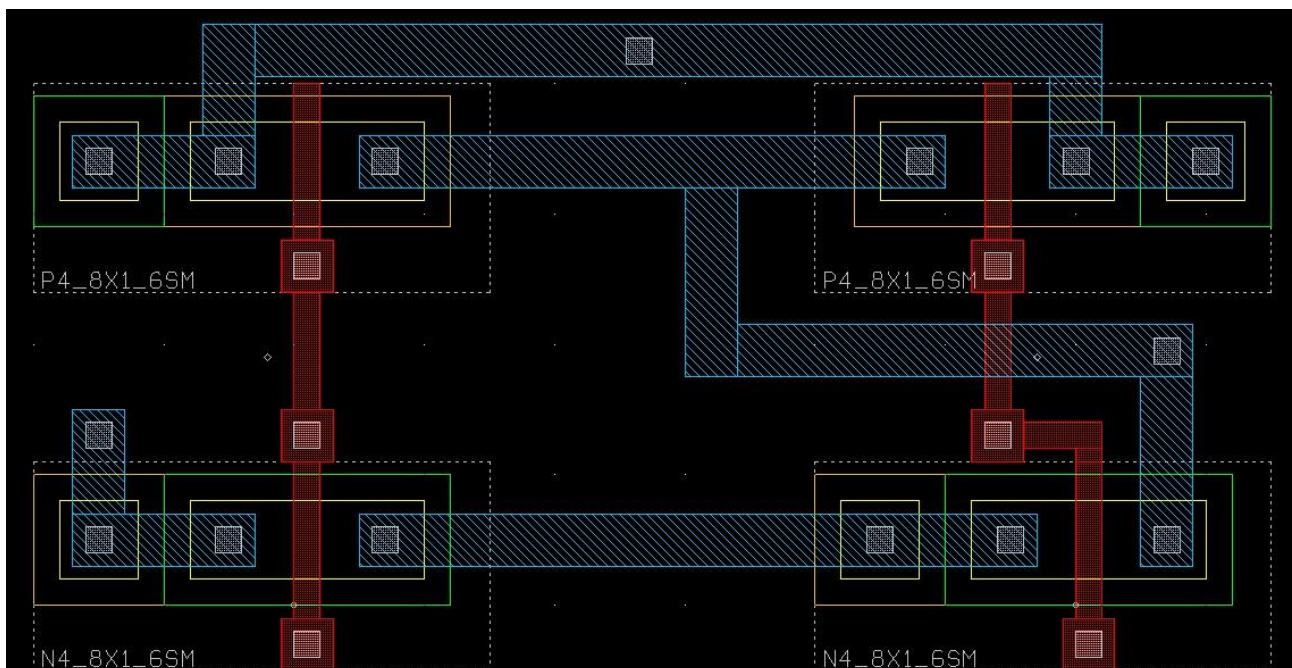


Figura 3 – *Layout* da porta lógica NAND.  
Fonte: Autor.



O próximo passo do projeto é testar os *layouts* desenvolvidos e realizar os ajustes necessários.

## CONCLUSÕES:

A etapa inicial deste projeto teve como finalidade o estudo teórico principalmente sobre os circuitos integrados, partindo do levantamento bibliográfico sobre os semicondutores até o processo de desenvolvimento dos circuitos integrados. Também foram realizados estudos e pesquisas sobre as ferramentas necessárias para o desenvolvimento do *layout* de circuitos integrados.

A principal dificuldade encontrada até o momento foi a inexperiência com relação às ferramentas utilizadas no desenvolvimento dos circuitos integrados e pela dificuldade em encontrar materiais educacionais que utilizem as mesmas pois a maioria dos bons *softwares* são comerciais, e com isso as empresas mantêm segredo com relação ao processo de fabricação e *design* faz com que se torne difícil o acesso a obtenção de informações realmente relevantes, mas esta dificuldade foi superada após diversos estudos mais profundos realizados sobre as ferramentas e os métodos de construção dos circuitos integrados. Os objetivos desejados até o presente momento, foram alcançados.

O projeto se encontra em andamento, sendo assim ainda há etapas a serem cumpridas, uma delas, é o teste dos *layouts* desenvolvidos para realizar os ajustes necessários e verificar o desempenho dos circuitos relacionados aos *designs* desenvolvidos até o momento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

KANG, Sung-Mo; LABLEBICI, Yusuf. **CMOS Digital Integrated Circuits - Analysis and Design**. WCB McGraw-Hill, Third Edition, 2003.

CHEAH, Kok Wai. **History of Integrated Circuit (IC)**. Department of Physics, Hong Kong Baptist University.

CALVERT, James B. **History and Theory of Thermionic or Vacuum Tubes**. Disponível em: <<http://mysite.du.edu/~etuttle/electron/elect27.htm#Theory>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

CASILLO, Leonardo Augusto. **Minicurso: Tópicos em VHDL**. Escolha Potiguar de Computação e suas Aplicações, 2010.

GOMES, Otávio de Souza Martins. **Curso de Extensão - Linguagens de Descrição de Hardware**. Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Formiga, 2014.

STEER, Michael B. **SPICE: User's guide and reference**. Manual, Edition 1.3, July 2, 2007.