

1

Introdução

1.1. Motivação

Gordon Moore previu, em 1965, que a capacidade de um chip de computador cresceria exponencialmente. Desde então a lei de Moore tem governado o desenvolvimento e o desempenho dos microprocessadores. Todo esse sucesso foi obtido graças à miniaturização dos transistores. Porém, recentes estudos mostram que os limites da eletrônica convencional serão atingidos nos próximos anos e, conseqüentemente, esse contínuo desenvolvimento está ameaçado[1].

A tecnologia CMOS utilizada hoje será insuficiente para superar as barreiras físicas. Assim, não será possível prosseguir a tendência de dobrar o número de dispositivos a cada dois anos e a velocidade a cada três anos. Portanto, para continuar o avanço do desempenho dos microprocessadores, outras tecnologias, na escala nanométrica, estão sendo estudadas. Estes novos dispositivos nanoeletrônicos incluem computação quântica, autômatos celulares com pontos quânticos, nanotubos de carbono, transistores moleculares, diodos de tunelamento ressonante, *single-electron transistor*, *spin transistor* e sistemas biológicos.

Como uma alternativa à tecnologia CMOS-VLSI foi proposta, em 1994, a tecnologia de Autômatos Celulares com Pontos Quânticos (*Quantum-dots Cellular Automata* - QCA). Diferentemente dos computadores tradicionais, que utilizam como codificação de informação o fluxo de corrente elétrica, a tecnologia QCA codifica a informação através do estado de polarização das células.[2][3]

Assim como os computadores tradicionais, a computação com o paradigma QCA é baseada na codificação binária, definida pela configuração das cargas nas células de pontos quânticos. Todo poder computacional é gerado pela interação Coulombiana entre as células e nenhum fluxo de corrente ocorre entre elas.

Por ser uma tecnologia nova, muito trabalho ainda necessita ser feito. Os resultados de alguns experimentos mostram QCA como uma alternativa às

tecnologias atuais. Células de QCA e alguns dispositivos simples já foram desenvolvidos com sucesso[4]. Apesar da implementação física desses dispositivos ainda estar em fase de desenvolvimento, é importante salientar que o objetivo final é a criação de sistemas computacionais complexos. O funcionamento dos circuitos de QCA é muito sensível ao posicionamento das células, tornando a elaboração de novos dispositivos lógicos uma tarefa não trivial. Ou seja, para que um circuito funcione de maneira correta, cada célula deve ser posicionada de modo a aproveitar a interação com as células vizinhas, criando a lógica necessária para o funcionamento global do circuito.

O uso de simuladores possibilita aos pesquisadores a análise e o desenvolvimento de circuitos. Com o auxílio dessas ferramentas pode-se verificar e descobrir qual a disposição correta das células que levaria ao funcionamento desejado. Entretanto, ainda não existem regras de desenvolvimento que possibilitem a rápida criação de circuitos com a tecnologia QCA. Deste modo, é necessário encontrar uma alternativa que facilite o desenvolvimento dos circuitos desejados.

A inteligência computacional fornece uma variedade de técnicas inspiradas na natureza, tais como Algoritmos Genéticos (AG) e Redes Neurais Artificiais (RNA), empregadas no desenvolvimento de sistemas inteligentes. Hardware Evolucionário (EHW) se refere à síntese automática e à otimização de circuitos, utilizando sistemas reconfiguráveis controlados por Algoritmos Genéticos. Os processos de síntese automática e otimização consideram um espaço de busca composto por todos os possíveis circuitos que podem ser implementados com os dispositivos disponíveis. Circuitos são continuamente simulados e avaliados a fim de encontrar um circuito otimizado que implemente a lógica desejada. EHW já foi aplicado com sucesso na síntese automática de circuitos convencionais e não convencionais [5], em diferentes aplicações (digital, analógico, VLSI CMOS, etc.). Redes Neurais Artificiais, por outro lado, são inspiradas na estrutura e comportamento do cérebro humano e têm sido usadas em uma variedade de problemas. Porém, essas técnicas inteligentes não foram ainda muito exploradas no auxílio de projetos de circuitos e dispositivos nanométricos. A expectativa é que possam fornecer ferramentas altamente úteis, possibilitando um desenvolvimento mais rápido desta nova área de pesquisa.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivos desenvolver um simulador de circuitos de Autômatos Celulares com Pontos Quânticos (QCA) e propor uma metodologia de elaboração automática de circuitos que seja eficiente. O desenvolvimento do simulador, utilizando Redes Neurais Artificiais, tem por objetivo tornar disponível aos pesquisadores uma ferramenta de interface simples, possibilitando a avaliação de uma variedade de circuitos. O simulador deve respeitar a teoria, garantindo o correto funcionamento das células e as interações entre elas. Já no desenvolvimento de uma metodologia para elaboração automática de circuitos utiliza-se de Algoritmos Genéticos para encontrar circuitos com a lógica desejada, através do correto posicionamento das células. Mais especificamente, a metodologia criada procura não só encontrar a lógica correta do circuito como também otimizá-lo, minimizando a quantidade de células necessárias.

1.3. Descrição do Trabalho

Este trabalho foi desenvolvido em 6 etapas descritas a seguir:

1. **Um estudo sobre a teoria de Autômatos Celulares com Pontos Quânticos.** Para isso realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a teoria de QCA. Nesta etapa estudou-se como as células funcionam fisicamente e como elas interagem. Os circuitos disponíveis na literatura foram analisados e compreendidos.
2. **Um estudo das técnicas de inteligência computacional.** O estudo destas técnicas resultou na escolha da Rede Neural do tipo Hopfield para a implementação do simulador e dos Algoritmos Genéticos para a síntese automática dos circuitos de QCA.
3. **A definição do modelo e a implementação das versões do simulador.** Esta etapa é dividida pelas três versões do simulador. A primeira versão foi desenvolvida de maneira simplificada, não utilizando todas as características da teoria de QCA, e foi utilizada para melhorar o entendimento desta teoria e da Rede Neural do tipo Hopfield. A segunda versão do simulador foi desenvolvida

utilizando o modelo da primeira versão, porém com as características que não estavam presente na versão anterior. A terceira versão foi desenvolvida após perceber que a eficiência do simulador poderia ser melhorada.

4. **Definição do modelo para obter um metodologia de elaboração automática de circuitos utilizando algoritmo genético.** Nesta etapa desenvolveu-se o modelo utilizando Algoritmos Genéticos para a obtenção de uma metodologia segura e eficiente para a elaboração automática de circuitos de QCA. Nesta etapa também foi necessária a definição da interface entre o Algoritmo Genético e o simulador.
5. **Estudo sobre processos distribuídos.** Este estudo foi realizado para agilizar o tempo de execução do Algoritmo Genético, utilizando a capacidade de processamento de várias máquinas para a execução simultânea dos experimentos.
6. **Realização dos experimentos.** Para comprovar a eficiência do simulador e da metodologia de criação de circuitos, vários experimentos foram realizados.

1.4. Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos adicionais, descritos a seguir:

O capítulo 2 discute as técnicas de inteligência computacional aplicadas no desenvolvimento da nanotecnologia. Uma breve descrição das técnicas de inteligência computacional é apresentada, além do seu apoio ao desenvolvimento da nanotecnologia.

O capítulo 3 introduz a teoria de Autômatos Celulares com Pontos Quânticos (QCA), descrevendo as regras físicas, alguns dos dispositivos simples, as alternativas de fabricação e perspectivas futuras.

O capítulo 4 apresenta os simuladores de Autômatos Celulares com Pontos Quânticos existentes, as considerações físicas e as regras de desenvolvimento. Finalmente, o simulador desenvolvido será apresentado.

O capítulo 5 descreve o modelo utilizado para o desenvolvimento da metodologia de síntese automática de circuitos. A representação e descrição do problema, a interface entre o método de criação e o simulador e a avaliação dos circuitos são todos detalhados.

O capítulo 6 apresenta os resultados obtidos e os novos circuitos desenvolvidos.

O capítulo 7 conclui o trabalho e apresenta os trabalhos futuros sugeridos.