

Pesquisa de tecnologia de ponta de memória RAM

Participantes :

Amanda Caroline OLiveira Jorge
Anderson Rodrigo Diniz Oliveira
Erick Irlan do Rosario Abreu
Gabriel Felipe Carvalho Silva

1. DDR5

A DDR (Double Data Rate) é um tipo de memória RAM volátil que permite a transferência de dados duas vezes por ciclo de clock (nas bordas de subida e descida do sinal), dobrando a eficiência em relação às tecnologias anteriores (como a SDRAM).

A DDR5 (Double Data Rate 5) é a mais recente evolução da tecnologia de memória RAM para computadores, lançada em 2020 e consolidada no mercado em 2024-2025. Ela sucede a DDR4, trazendo melhorias significativas em velocidade, capacidade, eficiência energética e confiabilidade, atendendo às demandas de aplicações modernas como jogos, inteligência artificial, edição profissional e data centers.

1.1 DDR5 vs. DDR4

Recurso/Opção	DDR4	DDR5	Vantagem DDR5
Taxa de dados	600-3200MT/s	4800-8800MT/s	Aumenta o desempenho e a largura de banda
VDD/VDDQ/VPP	1.2/1.2/2.5	1.1/1.1/1.8	15–20% menor consumo
VREF interno	VREFDQ	VREFDQ, VREFCA, VREFCS	Melhora as margens de tensão, reduz os custos de BOM
Densidades do dispositivo	2Gb-16Gb	16 Gb, 24 Gb, 32 Gb	Permite dispositivos monolíticos maiores
Pré-busca	8n	16n	Mantém o clock do núcleo interno baixo
Grupos bancários (BG)/bancos	4 BG x 4 bancos (x4/x8) 2 BG x 4 bancos (x16)	8 BG x 4 bancos (16-64 Gb x4/x8) 4 BG x 4 bancos (16-64 Gb x16)	Melhora a largura de banda/desempenho
On-Die ECC	Nenhum	On-die (correção de	Maior confiabilidade

Universidade Federal do Maranhão
Engenharia da Computação
Curso de Arquitetura de Computadores

		erros interna)	
Subcanais	1 canal (64-bit)	2 subcanais (32-bit cada)	Latência 15–20% menor

Principal diferença: DDR5 dobra a eficiência e velocidade, crucial para CPUs modernas (ex.: Intel Arrow Lake, AMD Zen 5).

Taxa de dados (MT/s): Número de transferências de dados por segundo (em megatransfers). Quanto maior, mais rápida a comunicação com a CPU.

Tensões (VDD/VDDQ/VPP): VDD(Tensão principal do chip DRAM),VDDQ(Tensão para buffers de E/S) e VPP(Tensão para circuitos internos críticos). Menores tensões = maior eficiência energética.

VREF Interno: Referência de tensão para estabilidade dos sinais.Garante que os dados sejam lidos/escritos corretamente.

Densidades do Dispositivo : Capacidade de armazenamento por chip DRAM.Chips mais densos permitem módulos de maior capacidade.

Pré-busca (Prefetch): Número de dados buscados antecipadamente para otimizar acesso. DDR4 8n (8 palavras por operação) e DDR5 16n(dobra a eficiência resultando em maior largura de banda)

Grupos Bancários (BG) e Bancos: Bancos (Subdivisões internas da memória para acesso paralelo) e BG (Conjuntos de bancos para reduzir conflitos).

On-Die ECC: Correção de erros dentro do chip DRAM (não confundir com ECC tradicional). Detecta/corrigir falhas menores sem impacto no desempenho.

Subcanais : Divisão do barramento de dados em canais independentes.

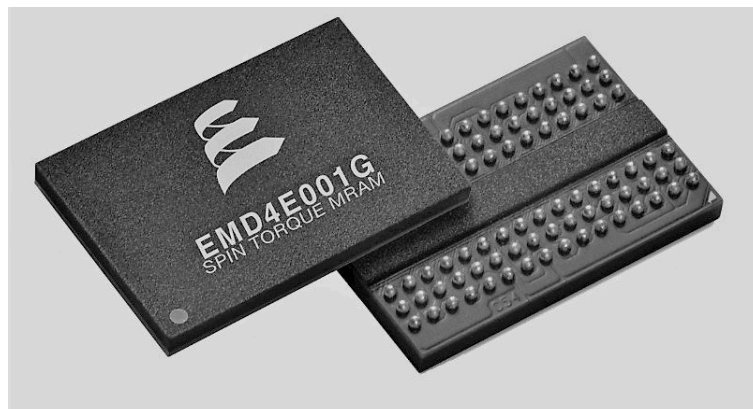


Fonte: www.micron.com

2. MRAM e SOT-MRAM: Memórias Magnetoresistivas

As memórias MRAM são um tipo de memória não volátil que armazena dados usando estados magnéticos, em vez de cargas elétricas como a RAM tradicional. Ela utiliza campos magnéticos para representar dados, oferecendo vantagens como alta durabilidade, baixo consumo de energia e não volatilidade (retenção de dados sem energia).

Figura 2 - Memória MRAM comercializada



Fonte: www.nextplatform.com

Segundo Matilla, Medina e Montenegro (2018), a MRAM se apresenta como chips de estado sólido que podem ser soldados em placas de circuitos de computadores ou dispositivos móveis. Recentemente, descobriu-se que materiais chamados isolantes topológicos aumentam a eficiência energética da escrita nas células de memória MRAM. Esse avanço permite a criação de dispositivos com arquitetura 3D, viabilizando maior capacidade de processamento e armazenamento com baixo consumo de energia, o que é promissor para a computação de tipo cerebral e o uso em chips para robôs

Quanto aos tipos, pode-se encontrar:

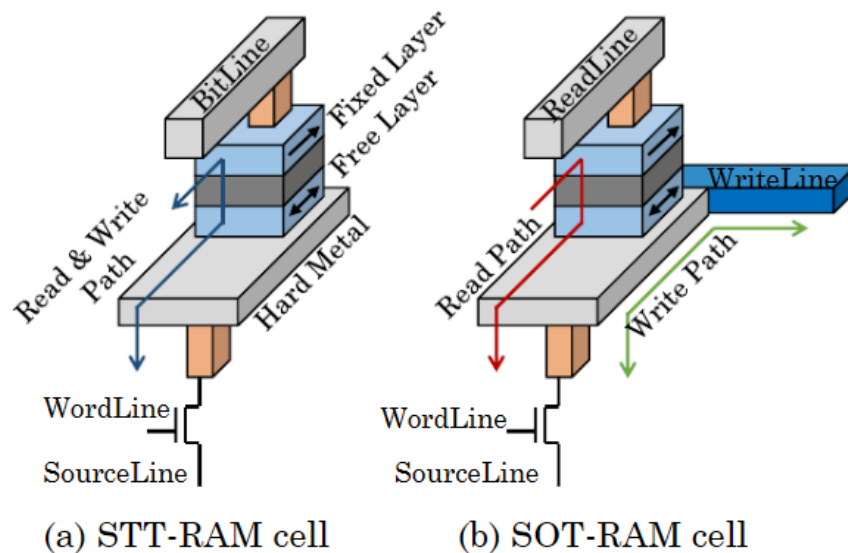
- STT-MRAM (Spin-Transfer Torque MRAM): mais eficiente em termos de energia e mais fácil de fabricar em escala.
- SOT-MRAM (Spin-Orbit Torque): separa as rotas de leitura e escrita, reduzindo o desgaste e aumentando a velocidade.
- Toggle MRAM: versão mais antiga, usada em aplicações específicas de nicho.

Segundo o site MRAM-info (2025), a STT-MRAM permite densidades mais altas, baixo consumo de energia e custo reduzido em comparação com dispositivos comuns (chamados Toggle MRAM). A principal vantagem da STT-MRAM em relação à Toggle MRAM é a capacidade de escalar os chips STT-MRAM para atingir densidades mais altas a um custo menor. Já a SOT-MRAM (spin-orbit torque MRAM) tem o potencial de desafiar a STT-MRAM, pois é uma tecnologia de memória mais rápida, densa e muito mais eficiente.

No artigo apresentado por Zhi et al (2017), onde os autores apresentam uma ferramenta de modelagem de memórias 2D/3D, eles abordam a construção de células das memórias STT-MRAM e SOT-MRAM.

No modelo dos autores, SOT-RAM e STT-RAM compartilham a maior parte do circuito periférico. O caminho de leitura e a estratégia de leitura para ambas as tecnologias são os mesmos. Comparada à STT-RAM, a SOT-RAM tem latência e corrente de gravação de célula muito menores, pois na SOT-RAM a corrente de gravação não passa pela MTJ (Magnetic Tunnel Junction), mas por um metal duro, como mostrado na Figura 3. A operação de gravação também é bidirecional e magnetiza a camada livre acima do metal duro. No entanto, devido à linha de gravação adicional, a SOT-RAM possui uma área de célula maior em comparação à STT-RAM.

Figura 3 - Células das memórias STT-RAM e SOT-RAM



Fonte: Zhi et al (2017).

3. LPDDR5X: Potência e Eficiência para a Era Móvel e da IA.

A família de memórias Low Power Double Data Rate (LPDDR) sempre se destacou por seu foco incansável na eficiência energética, tornando-se a espinha dorsal da computação

móvel moderna. Projetada especificamente para dispositivos onde a vida útil da bateria e o espaço físico são cruciais, como smartphones, tablets, laptops ultrafinos e wearables, a LPDDR evoluiu consistentemente para oferecer mais desempenho sem comprometer seu princípio fundamental de baixo consumo. A LPDDR5X representa um marco significativo nessa trajetória, impulsionando a velocidade e a capacidade a novos patamares, especialmente para atender às crescentes demandas da inteligência artificial no dispositivo (on-device AI) e das experiências imersivas. Surgindo como uma evolução direta da LPDDR5, a LPDDR5X inicialmente elevou a taxa de transferência de dados de 6.4 Gbps para 8.533 Gbps. Contudo, a rápida adoção de IA em aplicações móveis e a necessidade de processar grandes volumes de dados localmente levaram a avanços ainda mais expressivos. Fabricantes líderes como a Samsung e a Micron introduziram chips LPDDR5X que alcançam velocidades impressionantes de até 10.7 Gbps. Esse salto de desempenho permite que os processadores em dispositivos móveis acessem dados muito mais rapidamente, resultando em interfaces mais fluidas, execução de aplicativos mais ágil e capacidade aprimorada para tarefas complexas como edição de vídeo, jogos com gráficos avançados e, claro, inferência de modelos de IA diretamente no aparelho.



Imagem: Chip de memória LPDDR5X da Samsung, destacando a tecnologia avançada para dispositivos móveis e outras aplicações. (Fonte: Samsung Semiconductor)

Além da velocidade bruta, a LPDDR5X incorpora inovações cruciais para manter e até melhorar a eficiência energética. Utilizando processos de fabricação de ponta, como nós de 12nm ou o mais recente 1-gamma da Micron, e implementando técnicas sofisticadas de gerenciamento de energia, como a Escala Dinâmica Completa de Tensão e Frequência (FDVFS - Full Dynamic Voltage Frequency Scaling), a LPDDR5X consegue operar em suas altas velocidades consumindo significativamente menos energia. A Samsung, por exemplo, reporta uma melhoria de até 25% na eficiência energética em comparação com gerações anteriores da própria LPDDR5X. Isso se traduz diretamente em maior autonomia de bateria para os usuários finais e, em aplicações de maior escala como servidores de baixo consumo ou sistemas automotivos, contribui para a redução do custo total de propriedade (TCO) através da diminuição do consumo elétrico. A capacidade de armazenamento também viu avanços com a LPDDR5X. Com densidades de chip crescentes, é possível integrar pacotes de memória com 32 GB ou mais em dispositivos compactos. Essa maior capacidade é fundamental não apenas para a multitarefa, permitindo que mais aplicativos

permaneçam ativos em segundo plano sem recarregar, mas também para aplicações que manipulam grandes conjuntos de dados, como as de IA e realidade aumentada/virtual (AR/VR). As aplicações da LPDDR5X transcendem o universo dos smartphones e laptops premium. Sua combinação de alto desempenho, baixo consumo e crescente capacidade a torna ideal para sistemas automotivos avançados, onde alimenta sistemas de infoentretenimento, painéis digitais e, crucialmente, os sistemas de assistência ao condutor (ADAS) e de condução autônoma, que processam dados de múltiplos sensores em tempo real. A certificação AEC-Q100 garante sua confiabilidade mesmo sob as condições rigorosas de temperatura e vibração encontradas em veículos. Além disso, a LPDDR5X está sendo adotada em alguns nichos de servidores focados em eficiência energética e em dispositivos de ponta para IA e IoT. Em resumo, a LPDDR5X não é apenas uma atualização incremental; ela representa uma resposta tecnológica robusta às demandas da computação moderna, equilibrando habilmente a necessidade de maior velocidade e capacidade com o imperativo da eficiência energética. É um componente chave que viabiliza as experiências de usuário ricas e as funcionalidades avançadas, especialmente aquelas baseadas em IA, que definem os dispositivos eletrônicos de ponta atuais e futuros.

Referências

CHEN, Zhi; YU, Shuang; XU, Y.; et al. DESTINY: A comprehensive tool with 3D and multi-level cell memory modeling capability. *ResearchGate*, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319633838_DESTINY_A_Comprehensive_Tool_with_3D_and_Multi-level_Cell_Memory_Modeling_Capability. Acesso em: 3 jun. 2025.

MEDINA, Diego; MANTILLA, Juan; MONTENEGRO, Edgar. El procesamiento y almacenamiento del futuro: cómo las magnetorresistencias con aislantes topológicos pueden revolucionar el mañana. Universidad Industrial de Santander, 2018.

MRAM-INFO. SOT-MRAM: Spin-Orbit Torque MRAM technology. Disponível em: <https://www.mram-info.com/sot-mram>. Acesso em: 3 jun. 2025.

MRAM-INFO. STT-MRAM: Spin-Transfer Torque MRAM technology. Disponível em: <https://www.mram-info.com/stt-mram>. Acesso em: 3 jun. 2025.

MICRON TECHNOLOGY. DDR5 SDRAM Components. Disponível em: <https://www.micron.com/products/memory/dram-components/ddr5-sdram>. Acesso em: 01 jun. 2025.

Samsung Semiconductor Global. (s.d.). LPDDR5X. Acesso em 4 de junho de 2025, de <https://semiconductor.samsung.com/dram/lpddr/lpddr5x/>•Micron Technology, Inc. (s.d.). LPDDR5X. Acesso em 4 de junho de 2025, de <https://www.micron.com/products/memory/dram-components/lpddr5x/>•TecMundo. (2024, 18 de abril). Samsung anuncia memória LPDDR5X com foco em IA e velocidade de 10,7 Gbps. Acesso em 4 de junho de 2025, de <https://www.tecmundo.com.br/produto/282098-samsung-anuncia-memoria-lpddr5x-foco-ia-v>

Universidade Federal do Maranhão
Engenharia da Computação
Curso de Arquitetura de Computadores

elocidade-10-7-gbps.htm•Synopsys. (2023, 26 de setembro). How LPDDR5X Delivers the Speed Your Designs Need. Acesso em 4 de junho de 2025, de <https://www.synopsys.com/blogs/chip-design/lpddr5x-specification-memory-design.html>•GS M Arena. (2024, 17 de abril). Samsung unveils the fastest LPDDR5X RAM yet for mobile and server AI applications. Acesso em 4 de junho de 2025, de https://www.gsmarena.com/samsung_unveils_the_fastest_lpddr5x_ram_yet_for_mobile_and_server_ai_applications-news-62473.php