

Unidade de Disco Rígido

Uma unidade de disco rígido (HDD), disco rígido, hard drive, disco fixo ou disco duro[a] popularmente chamado também de HD (derivação de HDD do inglês hard disk drive) é um dispositivo de armazenamento de dados eletromecânico que armazena e recupera dados digitais usando armazenamento magnético e um ou mais pratos rígidos de rotação rápida revestidos com material magnético.

Os pratos são emparelhados com cabeças magnéticas, geralmente dispostas em um braço atuador móvel, que lê e grava dados nas superfícies dos pratos.

Os dados são acessados de maneira aleatória, o que significa que blocos individuais de dados podem ser armazenados e recuperados em qualquer ordem. Os HDDs são um tipo de armazenamento não volátil, retendo os dados armazenados mesmo quando desligados. Os HDDs modernos geralmente têm a forma de uma pequena caixa retangular.

Introduzido pela IBM em 1956, os HDDs eram o dispositivo de armazenamento secundário dominante para computadores de uso geral a partir do início dos anos 1960. Os HDDs mantiveram essa posição na era moderna de servidores e computadores pessoais, embora os dispositivos de computação pessoal produzidos em grande volume, como telefones celulares e tablets, dependam de dispositivos de armazenamento de memória flash.

Mais de 224 empresas produziram HDDs historicamente, embora após extensa consolidação do setor a maioria das unidades sejam fabricadas pela Seagate, Toshiba e Western Digital. Os HDDs dominam o volume de armazenamento produzido (exabytes por ano) para servidores.

Embora a produção esteja crescendo lentamente (por exabytes enviados), as receitas de vendas e as remessas de unidades estão diminuindo porque as unidades de estado sólido (SSDs) têm taxas de transferência de dados mais altas, maior densidade de armazenamento de área, confiabilidade um pouco melhor, e latência e tempos de acesso muito menores.

As receitas de SSDs, a maioria dos quais usam memória flash NAND, superam ligeiramente as de HDDs. Os produtos de armazenamento flash tiveram mais que o dobro da receita dos discos rígidos em 2017.

Embora os SSDs tenham um custo por bit de quatro a nove vezes maior, eles estão substituindo os HDDs em aplicações onde velocidade, consumo de energia, tamanho pequeno, alta capacidade e durabilidade são importantes. O custo por bit para SSDs está caindo, e o preço premium em relação aos HDDs diminuiu.

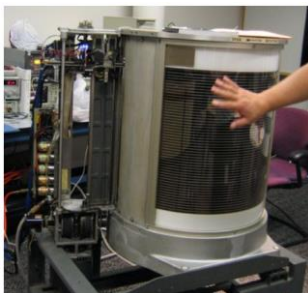
As principais características de um HDD são sua capacidade e desempenho. A capacidade é especificada em prefixos correspondentes a potências de 1000: uma unidade de 1 terabyte (TB) tem uma capacidade de 1.000 gigabyte (GB; onde 1 gigabyte = 1 bilhão (10⁹) bytes).

Normalmente, parte da capacidade de um disco rígido não está disponível para o usuário porque é usada pelo sistema de arquivos e pelo sistema operacional do computador, e possivelmente redundância embutida para correção e recuperação de erros.

Também há confusão em relação à capacidade de armazenamento, já que as capacidades são declaradas em gigabytes decimais (potências de 1000) pelos fabricantes de HDD, enquanto os sistemas operacionais mais usados relatam capacidade em potências de 1024, o que resulta em um número menor do que o anunciado.

O desempenho é especificado pelo tempo necessário para mover os cabeçotes para uma pista ou cilindro (tempo médio de acesso) adicionando o tempo que leva para o setor desejado se mover sob o cabeçote (latência média, que é uma função da velocidade de rotação física em revoluções por minuto) e, finalmente, a velocidade com que os dados são transmitidos (taxa de dados).

Os dois formatos mais comuns para HDDs modernos são 3,5 polegadas, para computadores desktop, e 2,5 polegadas, principalmente para laptops. Os HDDs são conectados ao sistema por cabos de interface padrão, como os cabos PATA (Parallel ATA), SATA (Serial ATA), USB ou SAS (Serial Attached SCSI).



Hard disk drive (Disco rígido)

Parcialmente desmontado IBM 350 (RAMAC)



Partes internas de uma unidade de disco rígido de laptop de 2,5 polegadas

A primeira unidade de disco rígido de produção da IBM, o IBM 350, foi lançado em 1957 como um componente do sistema IBM 305 RAMAC. Era aproximadamente do tamanho de duas geladeiras de tamanho médio e armazenava cinco milhões de caracteres de seis bits (3,75 megabytes) em uma pilha de 52 discos (100 superfícies usadas).

O 350 tinha um único braço com duas cabeças de leitura/gravação, uma voltada para cima e outra para baixo, que se moviam horizontalmente entre um par de pratos adjacentes e verticalmente de um par de pratos para um segundo conjunto. Variantes do IBM 350 foram o IBM 355, IBM 7300 e IBM 1405.

Em 1961, a IBM anunciou, e em 1962 lançou, a unidade de armazenamento de disco IBM 1301, que substituiu o IBM 350 e unidades semelhantes. O 1301 consistia em um (para o modelo 1) ou dois (para o modelo 2) módulos, cada um contendo 25 pratos, cada prato com cerca de 1/8 polegadas (3,2 mm) de espessura e 24 polegadas (610 mm) de diâmetro. Enquanto as unidades de disco IBM anteriores usavam apenas duas cabeças de leitura/gravação por braço, o 1301 usava uma matriz de 48 cabeças (comb), cada matriz movendo-se horizontalmente como uma única unidade, uma cabeça por superfície usada.

Modo Cilindro as operações de leitura/gravação foram suportadas e as cabeças voaram cerca de 250 micro polegadas (cerca de 6 μ m) acima da superfície do prato. O movimento da matriz de cabeça dependia de um sistema adicionador binário de atuadores hidráulicos que assegurava o posicionamento repetível. O gabinete 1301 tinha aproximadamente o tamanho de três refrigeradores domésticos colocados lado a lado, armazenando o equivalente a cerca de 21 milhões de bytes de oito bits por módulo. O tempo de acesso foi de cerca de um quarto de segundo.

Também em 1962, a IBM introduziu a unidade de disco modelo 1311, que era do tamanho de uma máquina de lavar e armazenava dois milhões de caracteres em um pacote de disco removível. Os usuários podem comprar pacotes adicionais e trocá-los conforme necessário, como bobinas de fita magnética.

Modelos posteriores de unidades removíveis, da IBM e de outros, tornaram-se a norma na maioria das instalações de computadores e atingiram capacidades de 300 megabytes no início dos anos 80. Os HDDs não removíveis eram chamados de drives de "disco fixo".

Em 1963 a IBM introduziu o 1302, com o dobro da capacidade de esteira e duas vezes mais esteiras por cilindro que o 1301. O 1302 tinha um (para o Modelo 1) ou dois (para o Modelo 2) módulos, cada um contendo um pente separado para as primeiras 250 faixas e as últimas 250 faixas.

Alguns HDDs de alto desempenho foram fabricados com um cabeçote por trilha, por exemplo, Burroughs B-475 em 1964, IBM 2305 em 1970, para que não se perdesse tempo movendo fisicamente os cabeçotes para uma trilha e a única latência era o tempo para o desejado bloco de dados para girar para a posição sob a cabeça. Conhecidos como drives de disco de cabeça fixa ou cabeça por trilha, eles eram muito caros e não estão mais em produção.

Em 1973, a IBM introduziu um novo tipo de HDD com o codinome "Winchester". Sua principal característica distintiva era que as cabeças de disco não eram completamente retiradas da pilha de pratos de disco quando a unidade era desligada. Em vez disso, as cabeças podiam "pousar" em uma área especial da superfície do disco ao girar para baixo, "decolando" novamente quando o disco for ligado mais tarde.

Isso reduziu muito o custo do mecanismo do atuador do cabeçote, mas impedia a remoção apenas dos discos da unidade, como era feito com os pacotes de discos da época. Em vez disso, os primeiros modelos das unidades de "tecnologia Winchester" apresentavam um módulo de disco removível, que incluía o pacote de disco e o conjunto do cabeço, deixando o motor do atuador na unidade após a remoção. Mais tarde, as unidades "Winchester" abandonaram o conceito de mídia removível e retornaram aos pratos não removíveis.

Em 1974, a IBM introduziu o atuador de braço oscilante, viabilizado porque as cabeças de gravação Winchester funcionam bem quando inclinadas para as faixas gravadas. O design simples do drive IBM GV (Gulliver), inventado no Hursley Labs da IBM no Reino Unido, tornou-se a invenção eletromecânica mais licenciada da IBM de todos os tempos, o atuador e o sistema de filtragem foram adotados na década de 1980, eventualmente, para todos os HDDs, e ainda universal quase 40 anos e 10 bilhões de braços depois.

Como a primeira unidade de pacote removível, as primeiras unidades "Winchester" usavam pratos de 14 polegadas (360 mm) de diâmetro. Em 1978, a IBM introduziu uma unidade de braço oscilante, o IBM 0680 (Piccolo), com pratos de oito polegadas, explorando a possibilidade de que pratos menores pudessem oferecer vantagens. Seguiram-se outras unidades de oito polegadas, depois unidades de 5 1/4 pol (130 mm), dimensionadas para substituir as unidades de disquete contemporâneas. Estes últimos destinavam-se principalmente ao então incipiente mercado de computadores pessoais (PC).

Com o tempo, à medida que as densidades de gravação aumentaram muito, outras reduções de diâmetro do disco para 3,5" e 2,5" foram consideradas ótimas. Os poderosos materiais magnéticos de terras raras tornaram-se acessíveis durante esse período e foram complementares ao projeto do atuador do braço oscilante para possibilitar os fatores de forma compactos dos HDDs modernos.

No início da década de 1980, os HDDs eram um recurso adicional raro e muito caro em PCs, mas no final da década de 1980 seu custo havia sido reduzido ao ponto de serem padrão em todos os computadores, exceto nos mais baratos.

A maioria dos HDDs no início da década de 1980 foi vendida para usuários finais de PC como subsistema externo adicional. O subsistema não foi vendido sob o nome do fabricante da unidade, mas sob o nome do fabricante do subsistema, como Corvus Systems e Tallgrass Technologies, ou sob o nome do fabricante do sistema de PC, como Apple ProFile. O IBM PC/XT em 1983 incluiu um HDD interno de 10 MB, e logo depois os HDDs internos proliferaram em computadores pessoais.

Os HDDs externos permaneceram populares por muito mais tempo no Apple Macintosh. Muitos computadores Macintosh fabricados entre 1986 e 1998 apresentavam uma porta SCSI na parte traseira, simplificando a expansão externa. Os computadores Macintosh compactos mais antigos não tinham baias de disco rígido acessíveis ao usuário (na verdade, o Macintosh 128K, Macintosh 512K e Macintosh Plus não possuíam nenhuma baia de disco rígido), portanto, nesses modelos, os discos SCSI externos eram a única opção razoável para expandir qualquer armazenamento interno.

As melhorias no HDD foram impulsionadas pelo aumento da densidade de área, listado na tabela acima. Os aplicativos se expandiram ao longo dos anos 2000, dos computadores mainframe do final

dos anos 50 à maioria dos aplicativos de armazenamento em massa, incluindo computadores e aplicativos de consumo, como armazenamento de conteúdo de entretenimento.

Nos anos 2000 e 2010, o NAND começou a suplantiar os HDDs em aplicativos que exigiam portabilidade ou alto desempenho. O desempenho da NAND está melhorando mais rápido do que os HDDs, e os aplicativos para HDDs estão se deteriorando. Em 2018, o maior disco rígido tinha capacidade de 15 TB, enquanto o SSD de maior capacidade tinha 100 TB. A partir de 2018, os HDDs estavam previstos para atingir capacidades de 100 TB por volta de 2025, mas a partir de 2019 o ritmo esperado de melhoria foi reduzido para 50 TB até 2026.

Formatos menores, 1,8 polegadas e abaixo, foram descontinuados por volta de 2010. O custo do armazenamento em estado sólido (NAND), representado pela lei de Moore, está melhorando mais rapidamente do que os HDDs. NAND tem uma maior elasticidade-preço da demanda do que HDDs, e isso impulsiona o crescimento do mercado. Durante o final dos anos 2000 e 2010, o ciclo de vida do produto dos HDDs entrou em uma fase madura, e a desaceleração das vendas pode indicar o início de declínio.

As inundações de 2011 na Tailândia danificaram as fábricas e impactaram negativamente o custo da unidade de disco rígido entre 2011 e 2013.

Em 2019, a Western Digital fechou sua última fábrica de HDD na Malásia devido à demanda decrescente, para se concentrar na produção de SSD. Todos os três fabricantes de HDD restantes tiveram uma demanda decrescente por seus HDDs desde 2014.

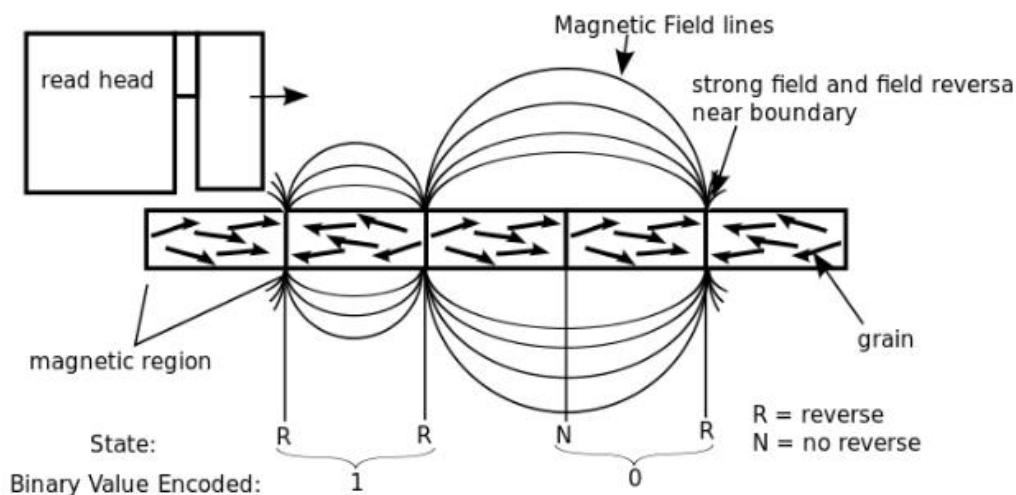
Tecnologia

Gravação Magnética

Um HDD moderno grava dados magnetizando um filme fino de material ferromagnético.[e] em ambos os lados de um disco. Mudanças sequenciais na direção da magnetização representavam bits de dados binários.

Os dados são lidos do disco detectando as transições na magnetização. Os dados do usuário são codificados usando um esquema de codificação, como codificação limitada por comprimento de execução, que determina como os dados são representados pelas transições magnéticas.

Um projeto de HDD típico consiste em um fuso que contém discos circulares planos, chamados de pratos, que armazenam os dados gravados. Os pratos são feitos de um material não magnético, geralmente liga de alumínio, vidro ou cerâmica. Eles são revestidos com uma camada rasa de material magnético tipicamente de 10 a 20 nm de profundidade, com uma camada externa de carbono para proteção. Para referência, um pedaço de papel de cópia padrão tem 0,07-0,18 mm (70.000-180.000 nm) de espessura.



Dados binários codificados de seção transversal magnética e modulação de frequência

Os pratos de HDDs contemporâneos são girados em velocidades que variam de 4.200 RPM em dispositivos portáteis com baixo consumo de energia, a 15.000 rpm para servidores de alto desempenho. Os primeiros HDDs giravam a 1.200 rpm e, por muitos anos, 3.600 rpm era a norma. Em novembro de 2019, os pratos na maioria dos HDDs para consumidores giram a 5.400 ou 7.200 RPM.

As informações são gravadas e lidas em um prato à medida que ele gira em torno de dispositivos chamados cabeças de leitura e gravação que são posicionadas para operar muito perto da superfície magnética, com sua altura de voo geralmente na faixa de dezenas de nanômetros. A cabeça de leitura e gravação é usada para detectar e modificar a magnetização do material que passa imediatamente sob ela.

Nos acionamentos modernos, há uma cabeça para cada superfície do prato magnético do fuso, montada em um braço comum. Um braço atuador (ou braço de acesso) move as cabeças em um arco (aproximadamente radialmente) através dos pratos enquanto giram, permitindo que cada cabeça acesse quase toda a superfície do prato enquanto gira.

O braço é movido usando um atuador de bobinha de voz ou, em alguns projetos mais antigos, um motor de passo. As primeiras unidades de disco rígido gravavam dados em alguns bits constantes por segundo, resultando em todas as faixas com a mesma quantidade de dados por faixa, mas as unidades modernas (desde a década de 1990) usam gravação de bits de zona - aumentando a velocidade de gravação da zona interna para a externa e, assim, armazenando mais dados por faixa nas zonas externas.



Disco rígido destruído, prato de vidro visível

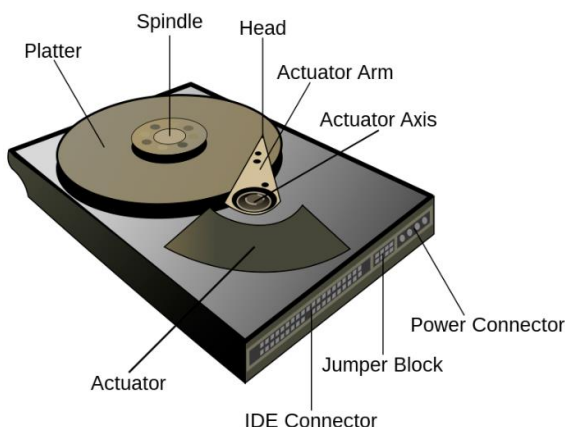


Diagrama rotulando os principais componentes de um disco rígido de computador

Nos drivers modernos, o pequeno tamanho das regiões magnéticas cria o perigo de que seu estado magnético possa ser perdido devido a efeitos térmicos - instabilidade magnética induzida termicamente que é comumente conhecida como "limite superparamagnético".

Para contrariar isso, os pratos são revestidos com duas camadas magnéticas paralelas separadas por uma camada de três átomos do elemento não magnético rutênio, e as duas camadas são magnetizadas em orientações opostas, reforçando-se mutuamente. Outra tecnologia usada para superar os efeitos térmicos para permitir maiores densidades de gravação é a gravação perpendicular, lançada pela primeira vez em 2005, e a partir de 2007 usada em certos HDDs.

Em 2004, uma mídia de gravação de alta densidade foi introduzida, consistindo em camadas magnéticas macias e duras acopladas. A chamada tecnologia de armazenamento magnético de mídia de mola de troca, também conhecida como mídia composta de troca acoplada, permite uma boa capacidade de escrita devido à natureza de assistência à gravação da camada macia. No entanto, a estabilidade térmica é determinada apenas pela camada mais dura e não influenciada pela camada macia.

Componentes

Um HDD típico tem dois motores elétricos: um motor de eixo que gira os discos e um atuador (motor) que posiciona o conjunto do cabeçote de leitura/gravação nos discos giratórios. O motor de disco possui um rotor externo acoplado aos discos; os enrolamentos do estator são fixados no lugar.

Em frente ao atuador, na extremidade do braço de suporte da cabeça, está a cabeça de leitura e gravação; cabos finos de circuito impresso conectam as cabeças de leitura e gravação aos componentes eletrônicos do amplificador montados no pivô do atuador. O braço de apoio da cabeça é muito leve, mas também rígido; em unidades modernas, a aceleração na cabeça atinge 550 g.



Um HDD com discos e cubo do motor removidos, expondo as bobinas do estator cor de cobre ao redor de um rolamento no centro do motor do eixo. A faixa laranja na lateral do braço é um cabo de circuito impresso fino, o rolamento do eixo está no centro e o atuador está no canto superior esquerdo.

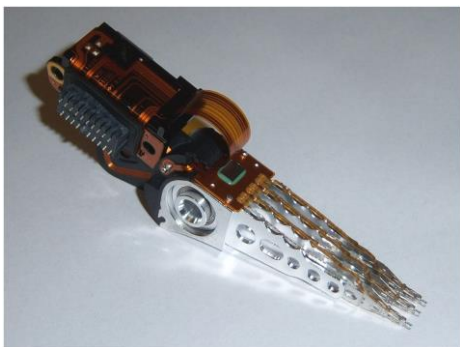
O atuador é um ímã permanente e bobina móvel que balança as cabeças para a posição desejada. Uma placa de metal suporta um ímã de alto fluxo de neodímio-ferro-boro. Abaixo desta placa está a bobina móvel, muitas vezes referida como bobina de voz por analogia com a bobina em falantes, que é anexada ao cubo do atuador e, abaixo disso, há um segundo ímã NIB, montado na placa inferior do motor (algumas unidades têm apenas um ímã).

A bobina de voz em si tem a forma de uma ponta de flechas e é feita de fio magnético de cobre duplamente revestido. A camada interna é isolante e a externa é termoplástica, que une a bobina depois de enrolada em uma forma, tornando-a autoportante. As proções da bobina ao longo dos dois lados da ponta da seta (que apontam para o centro do rolamento do atuador) interagem com o campo magnético do ímã fixo.

A corrente fluindo radialmente para fora ao longo de um lado da ponta da seta e radialmente para dentro de outro produz a força tangencial. Se o campo magnético fosse uniformar, cada lado geraria forças opostas que se cancelariam. Portanto, a superfície do ímã é metade pólo norte e metade pólo sul, com a linha divisória radial no meio, fazendo com que os dois lados da bobina vejam campos magnéticos opostos e produzam forças que se somam em vez de se cancelarem. As correntes ao longo da parte superior e inferior da bobina produzem forças radiais que não giram a cabeça.

A eletrônica do HDD controla o movimento do atuador e a rotação do disco e realiza leituras e gravações sob demanda do controlador de disco. A realimentação eletrônica do drive é realizada por meio de segmentos especiais do disco dedicados à realimentação do servo.

Estes são círculos concêntricos completos (no caso da tecnologia servo dedicada) ou segmentos intercalados com dados reais (no caso da tecnologia servo incorporada). O feedback do servo otimiza a relação sinal-ruído dos sensores GMR ajustando a bobina de voz do braço acionado. A rotação do disco também usa um servo motor. O firmware de disco moderno é capaz de agendar leituras e gravações com eficiência nas superfícies do prato e remapear os setores da mídia que falharam.



Pilha de cabeças com uma bobina de atuador à esquerda e cabeças de leitura/gravação à direita

Taxas de erro e tratamento

As unidades modernas fazem uso extensivo de códigos de correção de erros (ECCs), particularmente a correção de erros Reed-Solomon. Essas técnicas armazenam bits extras, determinados por fórmulas matemáticas, para cada bloco de dados; os bits extras permitem que muitos erros sejam corrigidos de forma invisível.

Os próprios bits extras ocupam espaço no disco rígido, mas permitem que densidades de gravação mais altas sejam empregadas sem causar erros incorrigíveis, resultando em uma capacidade de armazenamento muito maior. Por exemplo, um disco rígido típico de 1 TB com setores de 512 bytes fornece capacidade adicional de cerca de 93 GB para os dados ECC.

Nas unidades mais recentes, a partir de 2009, os códigos de verificação de paridade de baixa densidade (LDPC) estavam suplantando Reed-Solomon; Os códigos LDPC permitem um desempenho próximo ao limite de Shannon e, portanto, fornecem a maior densidade de armazenamento disponível.

Unidades de disco rígido típicas tentam "remapear" os dados em um setor físico que está falhando em um setor físico sobressalente fornecido pelo "pool de setor sobressalente" da unidade (também chamado de "pool de reserva"), enquanto confia no ECC para recuperar dados armazenados enquanto o número de erros em um setor defeituoso ainda é baixo o suficiente.

O recurso S.M.A.R.T (Tecnologia de automonitoramento, análise e relatório) conta o número total de erros em todo o HDD corrigido pelo ECC (embora não em todos os discos rígidos, pois os atributos SMART relacionados "Hardware ECC Recovered" e "Soft ECC Correction" não são suportado consistentemente) e o número total de remapeamentos de setor executados, pois a ocorrência de muitos desses erros pode prever uma falha no HDD.

O "No-ID Format", desenvolvido pela IBM em meados da década de 1990, contém informações sobre quais setores estão defeituosos e onde os setores remapeados foram localizados.

Apenas uma pequena fração dos erros detectados acaba não sendo corrigível. Exemplos de taxas de erro de leitura de bit não corrigidas especificadas incluem:

As especificações de 2013 para unidades de disco SAS corporativas indicam que a taxa de erro é um erro de leitura de bit não corrigido a cada 1016 bits lidos.

As especificações de 2018 para discos rígidos Sata de consumo indicam que a taxa de erro é um erro de leitura de bit não corrigido a cada 1010 bits.

Dentro de um determinado modelo de fabricante, a taxa de erro de bit não corrigida é normalmente a mesma, independentemente da capacidade da unidade.

O pior tipo de erro são as corrupções silenciosas de dados, que são erros não detectados pelo firmware do disco ou pelo sistema operacional do host; alguns desses erros podem ser causados por mau funcionamento da unidade de disco rígido, enquanto outros se originam em outro lugar na conexão entre a unidade e o host.