

A forense computacional e os discos de estado sólido

Jeremias Moreira Gomes
Brasília, Brasil
jeremiasmg@gmail.com

Resumo—Diante do atual cenário mundial, os discos de estado sólido estão conquistando cada vez mais o seu espaço no mercado em relação aos discos rígidos. Tudo isso devido a, de um tempo pra cá, sua redução de custo, aumento significativo na velocidade de leitura e escrita, baixo consumo de energia, dentre diversas outras características positivas. Em virtude de quaisquer modificações no cenário da informática, a forense computacional necessita estar sempre pareada com o surgimento de novas tecnologias buscando entender e desenvolver métodos que permitam a mesma manipular novas formas de evidências eletrônicas. (Resumo)

Palavras-chave: *Solid-state drive; Hard drive; Computer forensics;*

Abstract—In nowadays world scene, solid-state drive are increasing its market share over hard drives. Inasmuch as it has had great cost reduction, significant reading and writing speed increase, low power consumption, among many others positive characteristics. Due to changes in computing technology, computer forensics needs to be always paired with new technologies invention, seeking development and understanding about methods on how to manipulate new forms of electronic evidences. (Abstract)

Keywords: *Solid-state drive; Hard drive; Computer forensics;*

I. INTRODUÇÃO

Com o advento da computação e o surgimento da Internet, diversos sistemas evoluíram de forma a adaptarem-se a atual realidade buscando sempre utilizar tudo aquilo que se está ao alcance das mãos como ferramenta facilitadora. Além dos serviços de email, World Wide Web (WWW), redes sociais, compartilhamento de informações, dentre diversos outros aspectos considerados positivos, deve-se também atentar para aquilo que, desde tempos remotos, configura como ação ou omissão, típica, antijurídica e culpável – o crime. Os crimes praticados ou providos por meios informáticos e/ou na internet geraram um grande problema para as instituições de combate ao crime em virtude da não existência de qualquer padronização de nível internacional relacionado com o tratamento de evidências e contextualização jurídica vinculada ao crime eletrônico, uma vez que não existem fronteiras territoriais na execução do crime, podendo o autor realizar uma ação em um determinado país estando até mesmo em um continente diferente.

Desde a sua criação, a Forense Computacional tem como objetivo suprir as necessidades de qualquer instituição legal

acerca da manipulação de qualquer nova forma de evidência eletrônica estudando formas de se realizar a aquisição, preservação, recuperação e análise de dados no formato eletrônico em algum tipo de mídia computacional. Para tratar evidências que envolvam crimes de qualquer natureza, exímios profissionais da área almejada (documentoscopia, química forense, computação forense, etc) devem conhecer profundamente tudo aquilo que, ao participar de uma cena do crime, possa constituir prova à elucidação de um caso. Ainda que com suas áreas (live forensics e post-mortem forensics) e seus métodos (coleta, exame, análise e registro) totalmente ramificadas, a perícia forense computacional, em particular, possui uma dificuldade que é a incomensurabilidade dos dispositivos informatizados existentes utilizáveis em uma cena de crime, que vão desde celulares, câmeras fotográficas e tocadores de música portáteis até computadores desktop, notebooks e tablets que apesar da classificação, podem possuir arquiteturas diferentes que exigem do perito conhecimento muito especializado acerca de determinado assunto.

Diante deste cenário extremamente dinâmico, este trabalho é um survey que busca abordar a tecnologia dos discos de estado sólido que, cada vez mais presentes nos ambientes diversos, necessitam de atenção devido a funcionalidades específicas que levam o perito computacional a um nível diferenciado de conhecimento e técnica no momento da coleta e exame dos dados..

II. CONCEITOS BÁSICOS

Esta seção visa descrever os conceitos básicos essenciais sobre os tipos de memória, armazenamento, técnicas de verificação de integridade e técnicas de coleta de dados.

A SYNCHRONOUS DYNAMIC RANDOM ACCESS MEMORY (SDRAM)

Unidades de SDRAM são baseadas em chips de memória de acesso aleatório como aquelas utilizadas em placas-mãe. São incrivelmente rápidas, mas, como as memórias RAM tradicionais, perdem todos os dados se tiverem sua alimentação cortada, por isso são, em sua maioria, projetadas para trabalhar utilizando uma bateria em caso de falta de energia não prevista. Elas podem, também, ser projetadas para trabalharem em conjunto com um disco rígido tradicional escrevendo os dados somente em intervalos determinados de modo a não perder dados em caso de falta de energia. Possuem um custo extremamente elevado e somente são

utilizadas em aplicações específicas devido a possuírem velocidades de alto desempenho.

B. FLASH RANDOM ACCESS MEMORY (FLASH RAM)

A memória Flash, diferente da memória SDRAM, permite armazenar dados por longos períodos, sem necessitar de qualquer fonte de alimentação elétrica. Em virtude disso, a memória Flash se tornou rapidamente uma tecnologia dominante em cartões de memória, “pen-drives”, discos de estado sólido e memórias de armazenamento interno de dispositivos móveis.

1) TIPOS DE MEMÓRIA FLASH

Existem, hoje, dois tipos de memória Flash. A primeira tecnologia Flash a se tornar conhecida foi a do tipo Not-or (NOR), no final da década de 80 e tem sua interface de endereços similar à da memória RAM. Passou, então, a ser bem utilizada para armazenar o Basic Input-Output System (BIOS) da placa-mãe e firmwares de dispositivos que antes utilizavam chips de memória Read Only Memory (ROM) ou Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM). As duas principais desvantagens ao utilizar esse tipo de memória eram seu alto custo e ao tempo de gravação nas células. Com o passar do tempo surgiram as memórias do tipo Not-And (NAND), que rapidamente conquistaram a maior parcela do mercado até os dias de hoje. Essas utilizam um princípio diferenciado das memórias do tipo NOR e melhoraram a performance de gravação de dados dentre outras vantagens.

2) DIFERENÇAS ENTRE MEMÓRIAS FLASH DOS TIPOS NOR E NAND

- As conexões entre células individuais são diferentes;
- A densidade de armazenamento chips é mais elevado em memórias do tipo NAND;
- O custo das memórias do tipo NOR é muito mais elevado;
- As memórias do tipo NOR permitem acessos aleatórios, enquanto as do tipo NAND permitem apenas acesso sequencial; e
- A leitura das memórias do tipo NAND são muito mais rápidas.

C. MEMÓRIAS NAND

As memórias do tipo NAND (Not AND) possuem células compostas por dois transistores com uma fina camada de óxido de silício precisamente posicionada entre os dois, que armazena cargas negativas. Isso cria uma espécie de armadilha de elétrons, que permite manter os dados por longos períodos de tempo, sem que seja necessário manter alimentação de energia, o que simplifica muito o design dos dispositivos por ela usados já que necessitam apenas dos chips de memória

NAND, um chip controlador e as trilhas necessárias. Em virtude da pouca ocupação de espaço por parte da célula de memória, cada chip de memória armazena uma quantidade muito maior de dados, o que faz com que o preço por megabyte seja muito mais baixo que o da memória do tipo NOR.

Elas trabalham com acesso sequencial às células de memória que as trata em conjunto, formando blocos de células. Cada bloco consiste em um determinado número de páginas. As páginas são tipicamente 512, 2048 ou 4096 bytes em tamanho. Cada página é associada a alguns bytes (tipicamente 12-16).

Tamanho típico dos blocos:

- 32 páginas de 512 bytes para cada tamanho de um bloco de 16 kilobytes;
- 64 páginas de 2048 bytes para cada tamanho de um bloco de 128 kilobytes;
- 64 páginas de 4096 bytes para cada tamanho de um bloco de 256 kilobytes;
- 128 páginas de 4096 bytes para cada tamanho de um bloco de 512 kilobytes;

Embora a programação seja realizada em uma página base, a exclusão dos dados só pode ser executada em um bloco base, detalhe que leva a uma limitação da memória do tipo NAND onde um bloco de dados só pode ser escrito de forma sequencial.

D. DISCOS DE ESTADO SÓLIDO

Os Discos de Estado Sólido (SSD) são discos que utilizam um princípio de armazenamento completamente diferente dos discos magnéticos dando lugar aos chips de memória Flash. A sua principal vantagem é oferecer tempo de acesso muito baixo, combinado com excelentes taxas de leitura e gravação em setores aleatórios se comparados com os atuais mais usados disco rígidos melhorando a desempenho de uma grande gama de aplicativos e reduzindo o tempo de inicialização dos sistemas.

3) TÉCNOLOGIAS UTILIZADAS

Os SSD utilizam duas tecnologias: Multi Level Cell (MLC) e Single Level Cell (SLC).

A) MLC (MULTI LEVEL CELL)

MLC são empregadas em dispositivos eletrônicos de uso corrente, como “pen-drives” e cartões de memória. Já existem no mercado módulos de até 32 gigabytes (GB), são mais baratos, mais compactos (uma única “célula” pode armazenar dois bits através da variação dos níveis de corrente que conduz em quatro intensidades identificáveis), mas em contrapartida apresentam um desempenho duas vezes menor que o das memórias SLC e impõem um limite de 10.000 (dez mil) operações de escrita por célula.

B) SLC (SINGLE LEVEL CELL)

SLC são mais caras, menos densas - cada célula armazena apenas um bit, como toda célula de memória que se preza - e os módulos de maior capacidade hoje existentes armazenam apenas 16 GB. Em contrapartida admitem até 100.000 (cem mil) operações de escrita por célula e apresentam um desempenho muito superior: tempo de leitura de 25 microssegundos, de escrita de 200 microssegundos e necessitam de apenas 1,5 microssegundos para apagar o dado armazenado. Este tipo de memória flash tem sido utilizado apenas em aplicações de cunho militar, industrial ou corporativa.

3) FUNCIONAMENTO E PERFORMANCE DOS SSD

A grande maioria dos SSD domésticos utilizam módulos de memória Flash MLC, assim como nos cartões de memória e “pen-drives”. Entretanto, eles oferecem um diferencial importante, que é o uso de múltiplos canais de acesso. Isso permite que o controlador acesse vários chips simultaneamente, dividindo os arquivos em pequenos blocos que podem ser divididos entre os chips e depois lidos simultaneamente, de maneira muito similar ao que temos em um sistema redundant array of independent disks (RAID).

A maioria dos drives atuais utilizam 10 ou 20 chips de memória flash e 10 canais de acesso simultâneo. Ao escrever um arquivo de 4 megabytes (MB) o controlador o dividirá em 10 blocos de 400 kilobytes(KB) cada um, que serão escritos simultaneamente em 10 chips diferentes, ocupando um total de 100 páginas de 4 KB em cada um. Ao ler o arquivo posteriormente, a leitura é novamente dividida entre os 10 chips, o que multiplica tanto a taxa de escrita quanto a de leitura, sem que exista penalidade com relação aos tempos de acesso.

Outro ponto importante a favor dos SSD é o uso de controladores mais inteligentes, que utilizam buffers de dados relativamente grandes. Isso permite que as operações sejam organizadas e agrupadas de maneiras mais eficientes e muitas operações sejam cacheadas. Em situações em que a controladora dispõe de um volume suficiente de blocos limpos um SSD pode atingir facilmente 250 megabytes por segundo(MB/s) de taxa de leitura sequencial e 80 MB/s de escrita sequencial se aproximando dos 300 MB/s teóricos do Serial ATA 300 (SATA-300).

Enquanto um disco rígido (HD) magnético de 7200 rotações por minuto (RPM) não é capaz de manter mais do que 800 ou 1000 kilobytes por segundo de escrita ao gravar arquivos de 4 KB em setores aleatórios, um bom SSD é capaz de ultrapassar facilmente os 20 MB/s, o que acaba representando uma diferença muito grande em situações reais de uso.

4) EFEITO “NOVO/USADO” EM SSD()

Diferente dos HD, o desempenho dos SSD praticamente não é afetado pela fragmentação, já que não faz muita

diferença para o controlador se os endereços a serem lidos estão em setores adjacentes ou espalhados pelo disco. Entretanto, particularidades na maneira como os setores são acessados fazem com que em muitas situações o desempenho decaia com o uso, conforme dados são gravados e apagados. À primeira vista, o efeito pode parecer similar à perda de desempenho causada pela fragmentação, mas as razões são completamente diferentes.

Em um HD os dados são gravados em setores de 512 bytes, que podem ser apagados e sobrescritos de maneira independente. Nos SSD, por outro lado, os endereços são organizados em páginas de 4 KB, que são então agrupadas em blocos de 512 KB. As páginas funcionam de maneira muito similar aos clusters dos HD magnéticos. Cada página pode armazenar um arquivo ou fragmento de arquivo. Dois arquivos não podem compartilhar a mesma página, o que faz com que arquivos com menos de 4 KB ocupem uma página inteira, desperdiçando espaço. Este não chega a ser um grande problema, já que a maioria dos sistemas de arquivos utilizam clusters de 4 KB ou mais de qualquer forma. O grande problema é mesmo a questão dos blocos e das operações de escrita.

Assim como em um HD, a controladora é capaz de acessar as páginas de forma independente, lendo e gravando dados. Em um chip de memória MLC típico uma operação de leitura demora 50 microssegundos e uma operação de escrita demora 900 microssegundos, o que explica a diferença entre o desempenho de leitura e escrita na maioria dos SSD. O grande problema é que as páginas na memória flash não podem ser simplesmente regravadas, como os setores em um HD. Sempre que se precisa gravar dados em uma página já ocupada, a controladora primeiro precisa apagar os dados anteriores - levando a célula ao seu estado original - para só então executar a nova operação de escrita.

Um fator ainda mais prejudicial é que não é possível apagar as páginas de forma independente. Sempre que se é necessário apagar algo, a controladora precisa limpar todo o bloco (128 páginas) que leva 1 ms ou mais. O processo passa a demorar, então, 1000 vezes mais tempo que a escrita de uma página vazia. Se já houver outros dados válidos dentro do bloco a ser apagado, a operação se torna ainda mais demorada, já que a controladora precisa ler todo o conteúdo do bloco, copiá-lo para o buffer, executar o comando de limpeza, fazer a modificação dos dados no buffer e em seguida gravar todo o bloco novamente. Essa sequência de passos demora muito tempo, o que explica como o desempenho de muitos SSD pode ser tão baixo em algumas situações.

Para reduzir o número de vezes em que precisa arcar com a penalidade, a controladora procura sempre que possível usar blocos vazios, em vez de regravar o conteúdo de blocos existentes. Nesse caso, um novo bloco é usado para armazenar a versão modificada e a tabela de alocação do sistema de arquivos é atualizada, com a entrada apontando para o novo endereço. Essa abordagem funciona de forma aceitável no início, mas a partir do momento em que todos

os blocos se dão como utilizados pelo menos uma vez, a controladora passa a ser obrigada a voltar e reciclar os blocos anteriormente utilizados, executando todos os passos já citados e isso leva a um fenômeno onde o desempenho do drive novo é consideravelmente melhor que o do drive já utilizado levando a um sintoma similar ao ocorrido em discos rígidos fragmentados, porém com uma causa diferente.”

5) SOLUÇÕES PARA O EFEITO “NOVO/USADO”

First, confirm that you have the correct template for your paper size. This template has been tailored for output on the A4 paper size. If you are using US letter-sized paper, please close this file and download the file for “MSW_USltr_format”.

C) GARBAGE COLLECTION

Com a percepção desses novos problemas envolvendo os SSD, os fabricantes lançaram atualizações de firmware baseadas em um coletor de lixo (Garbage Collection) que é um processo responsável por realizar a limpeza de memória. Ele é desencadeado em baixo nível como tarefa periódica e busca garantir que o sistema não tenha carência de blocos livres para escrever prezando pela alta performance dos SSD em blocos com estado inicial limpo.

Outra função do coletor de lixo é, com o tempo de uso dos SSD, e como resultado da escrita e atualização de dados nos SSDs por diversas vezes, que algumas páginas tornem-se inválidas, gerando uma fragmentação da memória ao longo do tempo por toda a memória. Cabe ao Garbage Collection selecionar o bloco apropriado, mover todas as páginas válidas para um bloco novo e apagar o bloco selecionado. Desta forma blocos livres se tornam disponíveis para operação de gravação.

D) TRIM

O comando TRIM é uma nova função que permite ao sistema operacional agendar a limpeza das páginas cujo conteúdo foi deletado ou movido em vez de simplesmente marcá-las como vagas. Isso faz com que as páginas livres do SSD realmente estejam prontas para receber novos dados, sem depender unicamente de algum sistema de reciclagem executado pela controladora.

O grande problema com o TRIM é que ele é suportado apenas pelos sistemas mais atuais, o que deixa de fora usuários de sistemas mais antigos.

Naturalmente, o TRIM precisa ser suportado também pelo SSD, o que abre outra margem para problemas, já que apenas os drives produzidos a partir do final de 2009 oferecem suporte a ele.

E) WEAR LEVELING

No que tange a longevidade dos SSD, aqueles que utilizam MLC pode regravar em média apenas 10.000 (dez mil) vezes

se comparados com os discos rígidos que passam da casa dos milhões de vezes.

Para evitar que algumas áreas (como no caso de áreas usadas como swap) falhem prematuramente, inutilizando o disco, os fabricantes utilizam sistemas de distribuição de uso (Wear Leveling), que alteram os setores usados cada vez que arquivos são criados ou alterados. Sempre que o conteúdo de um bloco é modificado, o controlador simplesmente lê os dados, faz a alteração e grava o conteúdo em um novo bloco.

Isso faz com que o bloco anterior seja novamente utilizado apenas depois que todos os outros blocos do SSD forem utilizados pelo menos uma vez o que evita as penalidades de escrita através de seus algoritmos.

Com 10.000 operações de escrita por bloco, um SSD de 80 GB teria uma vida útil estimada em 800 terabytes (TB) de gravações, o que é um número difícil de atingir em situações normais, já que você precisaria gravar 40 GB de dados todos os dias por 60 anos para atingir a marca.

Entretanto, na prática a vida útil é menor devido a outro fator, o write amplification, que é causado pela questão dos blocos. Enquanto o controlador está gravando grandes arquivos isso não é um problema, já que eles serão quebrados em pedaços de 512 KB e cada um ocupará um bloco inteiro. O grande problema é a gravação de arquivos pequenos, onde existe a possibilidade de ter que apagar e em seguida regravar um bloco inteiro para salvar um arquivo de apenas 4 KB (ou menos).

No pior caso possível o write amplification seria de 128 (cento e vinte e oito) vezes - gravar um bloco inteiro para alterar uma única página - mas em situações reais ele é estimado em de 20 (vinte) a 40 (quarenta) vezes.

Nos drives mais atuais, porém, o cenário não é tão nebuloso, pois graças ao uso de sistemas inteligentes de redução (combinação de escritas e outras técnicas) os controladores são capazes de reduzir bastante este número.

Como são obrigados a levar vários fatores em conta e oferecer uma estimativa mínima do quanto os SSD vão durar, os fabricantes adotam posturas bem mais conservadoras, estimando a vida útil do SSD em de 5 a 10 anos de uso intenso, o que é de qualquer forma bem mais que a média dos HD. As células de memória flash são também capazes de preservar os dados por pelo menos 10 (dez) anos sem receberem alimentação elétrica.

E. FORENSE COMPUTACIONAL

A forense computacional é um campo de pesquisa relativamente novo no mundo e está desenvolvendo-se principalmente pela necessidade das instituições legais atuarem no combate aos crimes eletrônicos. No Brasil conta-se ainda com poucos pesquisadores na área e existem poucas normas estabelecidas, o que gera um grande número de possibilidades de pesquisa.

1) TÉCNICAS UTILIZADAS EM FORENSE COMPUTACIONAL

Durante uma investigação criminal, a coleta de evidências, se realizada de forma indevida, pode comprometer completamente uma investigação forense. Independente do tipo ou objetivo da investigação, alguns princípios são universais: não se devem modificar as evidências, a análise deve ser feita sobre cópias, deve-se garantir de integridade dos dados, utilizar somente ferramentas e procedimentos amplamente aceitos pela comunidade científica e documentar rigorosamente todas as ações tomadas. Devido à grande volatilidade dos dados, qualquer ato indevido em um dispositivo computacional pode destruir ou modificar as evidências. Os procedimentos a serem adotados na coleta são, então, essenciais para garantir que não ocorra qualquer tipo de contaminação.

A) FUNÇÕES DE HASH

Um dos mecanismos mais utilizados para se assegurar que os dados coletados não sejam modificados é calcular sua função de hash. Um algoritmo de hash é uma função unidirecional que gera uma assinatura de tamanho fixo obtendo uma única saída (sequência alfanumérica) para cada entrada distinta independente do tamanho da entrada. Se o hash de um dado coletado coincidir com o do original, pode-se dizer que não houve alterações durante a coleta. Os algoritmos de hash mais utilizados são o Message Digest 5 (MD5) e o Secure Hash Algorithm 1 (SHA-1).

B) FILE CARVING

Processo de busca de informações ou conteúdo de arquivos independente da sua tabela de alocação, ou endereçamento.

Ambos os tipos de discos - disco rígido e de estado sólido - utilizam um Master File Table (MFT) / File Allocation Table (FAT). Em termos de forense, isto significa que mesmo que um arquivo seja "excluído", ele somente é removido da tabela (MFT ou FAT). Consequência disso é que seu espaço está disponível para uso e pode ser substituído. Nessa situação os dados ainda encontram-se disponíveis para recuperação de forma similar ao padrão dos discos magnéticos tornando a possibilidade de recuperação por técnicas forenses teoricamente possível.

III. COMPUTAÇÃO FORENSE E OS DISCOS DE ESTADO SÓLIDO

Devido existência de wear leveling recuperadores de arquivos que se utilizam dessas tabelas para recuperar os arquivos excluídos através de carving, geram resultados inesperados que vão desde falso-positivos até a não localização de um arquivo recém apagado mesmo que operações de escrita ainda não tenham sido executadas no disco.

O Garbage Collection interfere diretamente na integridade dos dados, pela modificação de seu conteúdo, a partir do momento de sua ativação. No momento em que uma evidência é apreendida, o perito forense executa uma das funções de hash disponíveis (MD5 ou SHA-1 por exemplo) para gerar uma assinatura que é a garantia da integridade da existência

dos dados no momento de sua coleta. Após qualquer exame que o perito venha a realizar nos dados da cópia realizada do momento da coleta - o perito não trabalha em cima do disco original - e que tenha a necessidade de apresentar resultados a partir da mesma, não será possível verificar sua integridade em virtude do coletor de lixo ter modificado os dados nos endereços disponíveis para gravação, podendo levar o disco até mesmo a ser invalidado como evidência.

Ainda que de conhecimento dos peritos sobre os procedimentos utilizados no wear leveling e garbage collection, cabe ressaltar que os diversos fabricantes existentes no mercado não possuem padrões de construção constituídos e, ainda, produzem da forma como melhor lhes atende seus produtos, ainda ressaltando que os mesmos protegem os detalhes de sua implementação no que tange a leitura de dados.

IV. CONCLUSÃO

Com os SSD tomando o mercado dos HD do cenário atual, a forense computacional necessita rever rapidamente suas ferramentas computacionais disponíveis buscando soluções que atendam as necessidades judiciais da realidade não permitindo a atuação de criminosos que buscam aproveitar-se das vulnerabilidades existentes na era da informação em virtude do desconhecimento ou falta de padronização.

REFERENCES

- [1] NOBLETT, Michael G.; POLLITT, Mark M.; PRESLEY, Lawrence A.; Recovering and Examining Computer Forensic Evidence; Forense Science Communications, outubro 2000, Vol. 2 N. 4; Federal Bureau of Investigation.
- [2] ASSEMBLY, Digital. Challenges of SSD Forensic Analysis. New York, United States. 2010. Disponível em: <http://download.micron.com/pdf/technotes/nand/tn2942_nand_wear_leveling.pdf>. Acesso em: 07 set. 2011.
- [3] MICRON. Wear-leveling Techniques in NAND Flash Devices. 2008. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/digitalassembly/challenges-of-ssd-forensic-analysis>>. Acesso em: 07 set. 2011.
- [4] BREEUWSMA, Marcel; DE JONGH, Martien; KLAVER, Coert; VAN DER KNIFIFF, Ronald; ROELOFFS, Mark. Forensic Data Recovery from Flash Memory. Small Scale Digital Device Forensics Journal, Vol 1, No. 1, Jun 2007.
- [5] CARDOSO GUIMARÃES, Célio; DE SOUZA OLIVEIRA, Flávio; ABDALLA DOS REIS, Marcelo; LÍCIO DE GEUS, Paulo. Forense Computacional: Aspectos Legais e Padronização. Instituto de Computação - UNICAMP, São Paulo.
- [6] SANSUROOAH, Krishnun. A forensics overview and analysis of USB flash memory devices. Australian Digital Forensics Conference - Edith Cowan University, Australia, 2009.
- [7] ANTONELLIS, Christopher J. Solid State Disks and Computer Forensics. ISSA Journal, New England, USA.
- [8] JEDRAK, Michael. NAND Flash memory in embedded systems. Disponível em: <<http://www.design-reuse.com/articles/24503/nand-flash-memory-embedded-systems.html>>. Acesso em: 28 ago. 2011.
- [9] MORIMOTO, Carlos E. Memória Flash. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/livros/hardware/memoria-flash.html>>. Acesso em: 04 set. 2011.
- [10] MONTEIRO, Marcos. SSD - A nova revolução dos discos. Disponível em: <http://www.marcosmonteiro.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=344:ssd-a-nova-revolucao-dos-discos&catid=39:hardware&Itemid=67>. Acesso em: 07 set. 2011.
- [11] JEDRAK, Michael. NAND Flash memory in embedded systems. Disponível em: <<http://www.design-reuse.com/articles/24503/nand-flash-memory-embedded-systems.html>>. Acesso em: 28 ago. 2011.