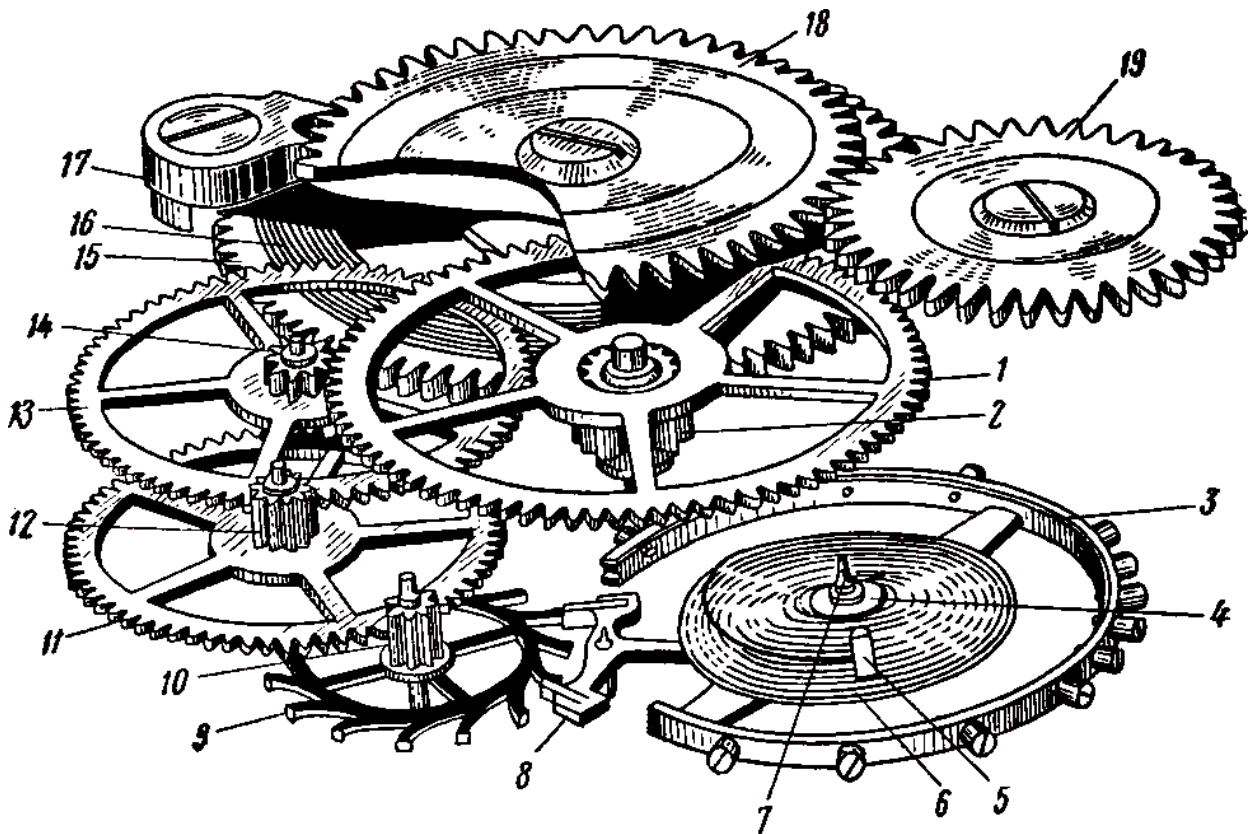


SISTEMAS OPERACIONAIS: CONCEITOS E MECANISMOS

PROF. CARLOS A. MAZIERO

DINF - UFPR



Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

M476s

Maziero, Carlos Alberto

Sistemas operacionais: conceitos e mecanismos [recurso eletrônico] /
Carlos Alberto Maziero. – Curitiba : DINF - UFPR, 2019.

456 p. : il.; color.

ISBN: 978-85-7335-340-2. (E-book)

Inclui bibliografia.

1. Sistemas operacionais (Computadores). 2. Programação de sistemas
(Computação). 3. Gerenciamento de memória (Computação). 4. Segurança
de sistemas. I. Universidade Federal do Paraná. II. DINF -UFPR. III. Título.

CDD: 005.43

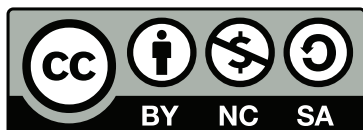
Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

Sistemas Operacionais: Conceitos e Mecanismos

© Carlos Alberto Maziero, 2013-2019

ISBN: 978-85-7335-340-2

Sobre o autor: Carlos A. Maziero é professor do Depto de Informática da Universidade Federal do Paraná (UFPR) desde 2015. Anteriormente, foi professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), entre 2011 e 2015, professor da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), entre 1998 e 2011, e professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), de 1996 a 1998. Formado em Engenharia Elétrica (UFSC, 1988), tem Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, 1990), Doutorado em Informática (Université de Rennes I - França, 1994) e Pós-Doutorados na Università degli Studi di Milano – Italia (2009) e no IRISA/INRIA Rennes – França (2018). Atua em ensino e pesquisa nas áreas de sistemas operacionais, sistemas distribuídos e segurança de sistemas.



Este texto está licenciado sob a Licença *Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported* da *Creative Commons* (CC). Em resumo, você deve creditar a obra da forma especificada pelo autor ou licenciante (mas não de maneira que sugira que estes concedem qualquer aval a você ou ao seu uso da obra). Você não pode usar esta obra para fins comerciais. Se você alterar, transformar ou criar com base nesta obra, você poderá distribuir a obra resultante apenas sob a mesma licença, ou sob uma licença similar à presente. Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Este texto foi produzido usando exclusivamente software livre: Sistema Operacional *GNU/Linux* (distribuições *Fedora* e *Ubuntu*), compilador de texto $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$, gerenciador de referências *BibTeX*, editor gráfico *Inkscape*, criadores de gráficos *GNUPlot* e *GraphViz* e processador PS/PDF *GhostScript*, entre outros. Algumas figuras do texto usam ícones de <https://www.creativetail.com> e de outras fontes, sob licença *Creative Commons*.

Versão compilada em 8 de novembro de 2019.

Prefácio

Os sistemas operacionais são elementos fundamentais para o funcionamento de praticamente qualquer sistema de computação, dos minúsculos sistemas embarcados e telefones celulares aos gigantescos centros de processamento de dados das grandes empresas. Apesar da imensa diversidade de sistemas operacionais existentes, eles tentam resolver problemas de mesma natureza e seguem basicamente os mesmos princípios.

Conhecer sistemas operacionais a fundo não é algo reservado a *hackers*, mas importante para todo profissional de computação, pois os mecanismos implementados pelo sistema operacional afetam diretamente o comportamento e o desempenho das aplicações. Além disso, o sistema operacional é uma peça chave na configuração de serviços de rede e na segurança do sistema.

Existem muitos livros de sistemas operacionais disponíveis no mercado, quase todos muito bons, escritos por profissionais reconhecidos mundialmente. Entretanto, bons livros de Sistemas Operacionais podem custar centenas de reais, o que os torna inacessíveis a uma parcela significativa da população. Este livro seria apenas mais uma opção de compra nas livrarias, não fosse por um pequeno detalhe: foi concebido como um Livro Aberto, desde seu início. Um Livro Aberto (do inglês *Open Book*) é um livro amplamente disponível na Internet em formato digital, sem custo. No exterior, muitos *open books* estão também disponíveis nas livrarias, para aquisição em formato impresso.

Eu acredito que “inclusão digital” não significa somente permitir o acesso a computadores à parcela mais pobre da população, mas também desmistificar o funcionamento dessa tecnologia e incentivar seu estudo, para fomentar as próximas gerações de técnicos, engenheiros e cientistas, vindas de todas as classes sociais. Nosso país não pode mais se dar ao luxo de desperdiçar pessoas inteligentes somente porque são pobres.

Prof. Carlos Maziero, Dr.

Agradecimentos

Este texto é fruto de alguns anos de trabalho. Embora eu o tenha redigido sozinho, ele nunca teria se tornado uma realidade sem a ajuda e o apoio de muitas pessoas, de várias formas. Em primeiro lugar, agradeço à minha família, pelas incontáveis horas em que me subtraí de seu convívio para me dedicar a este trabalho.

Agradeço também a todos os docentes e estudantes que utilizaram este material, pelas inúmeras correções e sugestões de melhoria. Em particular, meus agradecimentos a Alexandre Koutton, Altair Santin, André Wosniack, Antônio Barros, Antônio Gonçalves, Carlos Roland, Carlos Silla, Diogo Olsen, Douglas da Costa, Fabiano Beraldo, Fred Maranhão, Jeferson Amend, Marcos Laureano, Paulo Resende, Rafael Hamasaki, Richard Reichardt, Tadeu Ribeiro Reis, Thayse Solis, Thiago Ferreira, Thiago Vieira, Urlan de Barros e Vagner Sacramento.

Desejo expressar meu mais profundo respeito pelos autores dos grandes clássicos de Sistemas Operacionais, como Andrew Tanenbaum e Abraham Silberschatz, que iluminaram meus passos nesta área e que seguem como referências inequívocas e incontornáveis.

Agradeço à Pontifícia Universidade Católica do Paraná, onde fui professor de Sistemas Operacionais por 13 anos, pelas condições de trabalho que me permitiram dedicar-me a esta empreitada. Também à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde trabalhei de 2011 a 2015, e à UFPR, onde trabalho desde 2015, pelas mesmas razões.

Dedico os capítulos sobre segurança computacional deste livro aos colegas docentes e pesquisadores do Departamento de Tecnologias da Informação da Universidade de Milão em Crema, onde estive em um pós-doutorado no ano de 2009, com uma bolsa CAPES/MEC. Os capítulos sobre virtualização são dedicados à equipe ADEPT IRI-SA/INRIA, Université de Rennes 1 - França, na qual pude passar três meses agradáveis e produtivos durante o inverno 2007-08, como professor/pesquisador convidado.

Carlos Maziero

Curitiba PR, Abril de 2019

Sumário

Parte I: Introdução	1
1 Conceitos básicos.	2
1.1 Objetivos de um SO.	2
<i>Abstração de recursos</i>	3
<i>Gerência de recursos</i>	4
1.2 Funcionalidades.	5
1.3 Categorias	7
1.4 Um breve histórico dos SOs	9
2 Estrutura de um SO	13
2.1 Elementos do sistema operacional	13
2.2 Elementos de hardware	15
<i>Arquitetura do computador</i>	15
<i>Interrupções e exceções</i>	17
<i>Níveis de privilégio</i>	20
2.3 Chamadas de sistema.	21
3 Arquiteturas de SOs	27
3.1 Sistemas monolíticos	27
3.2 Sistemas micronúcleo.	28
3.3 Sistemas em camadas.	30
3.4 Sistemas híbridos	31
3.5 Arquiteturas avançadas	31
<i>Máquinas virtuais</i>	32
<i>Contêineres</i>	33
<i>Sistemas exonúcleo.</i>	34
<i>Sistemas uninúcleo.</i>	35
Parte II: Gestão de tarefas	39
4 O conceito de tarefa	40
4.1 Objetivos.	40
4.2 O conceito de tarefa.	41
4.3 A gerência de tarefas	42
<i>Sistemas monotarefa</i>	42
<i>O monitor de sistema.</i>	43

	<i>Sistemas multitarefas</i>	44
	<i>Sistemas de tempo compartilhado</i>	44
4.4	Ciclo de vida das tarefas	47
5	Implementação de tarefas	51
5.1	Contextos	51
5.2	Trocas de contexto	52
5.3	Processos	54
	<i>O conceito de processo</i>	54
	<i>Gestão de processos</i>	55
	<i>Hierarquia de processos</i>	57
5.4	Threads	58
	<i>Definição de thread</i>	58
	<i>Modelos de threads</i>	59
	<i>Programando com threads</i>	62
5.5	Uso de processos <i>versus</i> threads	65
6	Escalonamento de tarefas	70
6.1	Tipos de tarefas	70
6.2	Objetivos e métricas	71
6.3	Escalonamento preemptivo e cooperativo	72
6.4	Algoritmos de escalonamento de tarefas	72
	<i>First-Come, First Served (FCFS)</i>	73
	<i>Round-Robin (RR)</i>	74
	<i>Shortest Job First (SJF)</i>	75
	<i>Shortest Remaining Time First (SRTF)</i>	76
	<i>Escalonamento por prioridades fixas (PRIOc, PRIOp)</i>	77
	<i>Escalonamento por prioridades dinâmicas (PRIOd)</i>	79
	<i>Definição de prioridades</i>	80
	<i>Comparação entre os algoritmos apresentados</i>	82
	<i>Outros algoritmos de escalonamento</i>	82
6.5	Escalonadores reais	82
7	Tópicos em gestão de tarefas	86
7.1	Inversão e herança de prioridades	86
	Parte III: Interação entre tarefas	91
8	Comunicação entre tarefas	92
8.1	Objetivos	92
8.2	Escopo da comunicação	93
8.3	Aspectos da comunicação	94
	<i>Comunicação direta ou indireta</i>	94
	<i>Sincronismo</i>	95
	<i>Formato de envio</i>	96
	<i>Capacidade dos canais</i>	98
	<i>Confiabilidade dos canais</i>	98
	<i>Número de participantes</i>	99

9	Mecanismos de comunicação	103
9.1	Pipes	103
9.2	Filas de mensagens	105
9.3	Memória compartilhada	107
10	Coordenação entre tarefas	112
10.1	O problema da concorrência	112
	<i>Uma aplicação concorrente</i>	112
	<i>Condições de disputa</i>	113
	<i>Condições de Bernstein</i>	115
	<i>Seções críticas</i>	115
10.2	Exclusão mútua	116
	<i>Inibição de interrupções</i>	117
	<i>A solução trivial</i>	117
	<i>Alternância de uso</i>	118
	<i>O algoritmo de Peterson</i>	119
	<i>Operações atômicas</i>	119
10.3	Problemas	121
11	Mecanismos de coordenação	123
11.1	Semáforos	123
11.2	Mutexes	126
11.3	Variáveis de condição	127
11.4	Monitores	129
12	Problemas clássicos	133
12.1	Produtores/consumidores	133
	<i>Solução usando semáforos</i>	134
	<i>Solução usando variáveis de condição</i>	135
12.2	Leitores/escritores	136
	<i>Solução simplista</i>	136
	<i>Solução com priorização dos leitores</i>	138
12.3	O jantar dos selvagens	139
12.4	O jantar dos filósofos	140
13	Impasses	147
13.1	Exemplo de impasse	147
13.2	Condições para impasses	149
13.3	Grafos de alocação de recursos	150
13.4	Técnicas de tratamento de impasses	151
	<i>Prevenção de impasses</i>	152
	<i>Impedimento de impasses</i>	153
	<i>Deteção e resolução de impasses</i>	154
Parte IV: Gestão da memória		159
14	Conceitos básicos	160
14.1	Tipos de memória	160

14.2	A memória de um processo	162
14.3	Alocação de variáveis.	164
	<i>Alocação estática</i>	164
	<i>Alocação automática</i>	164
	<i>Alocação dinâmica</i>	165
14.4	Atribuição de endereços	166
15	Hardware de memória.	170
15.1	A memória física	170
15.2	Espaço de endereçamento	171
15.3	A memória virtual	171
15.4	Memória virtual por partições.	173
15.5	Memória virtual por segmentos.	175
15.6	Memória virtual por páginas	177
	<i>A tabela de páginas.</i>	178
	<i>Flags de status e controle.</i>	179
	<i>Tabelas multiníveis.</i>	180
	<i>Cache da tabela de páginas.</i>	183
15.7	Segmentos e páginas	185
15.8	Localidade de referências	185
15.9	Espaço de endereçamento de um processo.	189
16	Alocação de memória	193
16.1	Alocadores de memória	193
16.2	Alocação básica	194
16.3	Fragmentação	195
	<i>Estratégias de alocação</i>	195
	<i>Desfragmentação</i>	196
	<i>Fragmentação interna</i>	197
16.4	O alocador Buddy.	198
16.5	O alocador Slab	199
16.6	Alocação no espaço de usuário	200
17	Paginação em disco.	203
17.1	Estendendo a memória RAM	203
17.2	A paginação em disco	204
	<i>Mecanismo básico</i>	204
	<i>Eficiência</i>	207
	<i>Critérios de seleção</i>	208
17.3	Algoritmos clássicos	208
	<i>Cadeia de referências</i>	209
	<i>Algoritmo Ótimo.</i>	209
	<i>Algoritmo FIFO</i>	209
	<i>Algoritmo LRU.</i>	210
	<i>Algoritmo RANDOM</i>	211
	<i>Comparação entre algoritmos</i>	212

17.4	Aproximações do algoritmo LRU	213
	<i>Algoritmo da segunda chance</i>	214
	<i>Algoritmo NRU</i>	214
	<i>Algoritmo do envelhecimento</i>	215
17.5	Conjunto de trabalho	216
17.6	A anomalia de Belady	218
17.7	Thrashing	219
18	Tópicos em gestão de memória.	224
18.1	Compartilhamento de memória.	224
18.2	Copy-on-write (COW)	226
18.3	Mapeamento de arquivo em memória	227
Parte V: Gestão de entrada/saída		230
19	Hardware de entrada/saída	231
19.1	Introdução	231
19.2	Componentes de um dispositivo	232
19.3	Barramentos de acesso	234
19.4	Interface de acesso	236
19.5	Endereçamento de portas	238
19.6	Interrupções	239
20	Software de entrada/saída.	244
20.1	Introdução	244
20.2	Arquitetura de software de entrada/saída	244
20.3	Classes de dispositivos	246
20.4	<i>Drivers</i> de dispositivos	247
20.5	Estratégias de interação	248
	<i>Interação controlada por programa.</i>	248
	<i>Interação controlada por eventos.</i>	250
	<i>Acesso direto à memória</i>	253
20.6	Tratamento de interrupções	255
21	Discos rígidos.	258
21.1	Introdução	258
21.2	Estrutura física	258
21.3	Interface de acesso	259
21.4	Escalonamento de acessos	260
21.5	Sistemas RAID	264
Parte VI: Gestão de arquivos		270
22	O conceito de arquivo	271
22.1	Elementos básicos.	271
22.2	Atributos e operações.	272
22.3	Formatos de arquivos.	274
	<i>Sequência de bytes</i>	274

	<i>Arquivos de registros</i>	274
	<i>Arquivos de texto</i>	275
	<i>Arquivos de código</i>	276
	<i>Identificação de conteúdo</i>	277
22.4	Arquivos especiais	279
23	Uso de arquivos	281
23.1	Introdução	281
23.2	Interface de acesso	281
	<i>Descritores de arquivos</i>	283
	<i>A abertura de um arquivo</i>	283
23.3	Formas de acesso	284
	<i>Acesso sequencial</i>	284
	<i>Acesso aleatório</i>	285
	<i>Acesso mapeado em memória</i>	285
	<i>Acesso indexado</i>	286
23.4	Compartilhamento de arquivos	286
	<i>Travas em arquivos</i>	286
	<i>Semântica de acesso</i>	287
23.5	Controle de acesso	290
23.6	Interface de acesso	291
24	Sistemas de arquivos	295
24.1	Introdução	295
24.2	Arquitetura geral	295
24.3	Espaços de armazenamento	297
	<i>Discos e partições</i>	297
	<i>Montagem de volumes</i>	298
24.4	Gestão de blocos	300
	<i>Blocos físicos e lógicos</i>	300
	<i>Caching de blocos</i>	301
24.5	Alocação de arquivos	302
	<i>Alocação contígua</i>	303
	<i>Alocação encadeada simples</i>	305
	<i>Alocação encadeada FAT</i>	306
	<i>Alocação indexada simples</i>	307
	<i>Alocação indexada multinível</i>	309
	<i>Análise comparativa</i>	313
24.6	Gestão do espaço livre	313
25	Diretórios e atalhos	318
25.1	Diretórios	318
25.2	Caminhos de acesso	320
25.3	Implementação de diretórios	321
25.4	Atalhos	322
25.5	Implementação de atalhos	323
25.6	Tradução dos caminhos de acesso	325

26	Conceitos básicos de segurança	330
26.1	Propriedades e princípios de segurança	330
26.2	Ameaças	332
26.3	Vulnerabilidades	333
26.4	Ataques	335
26.5	Malwares.	337
26.6	Infraestrutura de segurança	338
27	Fundamentos de criptografia	343
27.1	Terminologia.	343
27.2	Cifradores, chaves e espaço de chaves	344
27.3	O cifrador de Vernam-Mauborgne	345
27.4	Criptografia simétrica	347
	<i>Cifradores de substituição e de transposição</i>	347
	<i>Cifradores de fluxo e de bloco.</i>	350
27.5	O acordo de chaves de Diffie-Hellman-Merkle	352
27.6	Criptografia assimétrica	354
27.7	Criptografia híbrida.	356
27.8	Resumo criptográfico.	357
27.9	Assinatura digital.	359
27.10	Certificado de chave pública.	360
27.11	Infraestrutura de chaves públicas.	361
28	Autenticação	365
28.1	Introdução	365
28.2	Usuários e grupos.	365
28.3	Estratégias de autenticação	366
28.4	Senhas	367
28.5	Senhas descartáveis.	368
28.6	Técnicas biométricas	369
28.7	Desafio/resposta.	371
28.8	Certificados de autenticação.	372
28.9	Infraestruturas de autenticação	373
28.10	Kerberos	374
29	Controle de acesso	378
29.1	Terminologia.	378
29.2	Políticas, modelos e mecanismos	378
29.3	Políticas discricionárias.	380
	<i>Matriz de controle de acesso</i>	380
	<i>Tabela de autorizações</i>	381
	<i>Listas de controle de acesso.</i>	382
	<i>Listas de capacidades</i>	383
29.4	Políticas obrigatórias	384
	<i>Modelo de Bell-LaPadula.</i>	385
	<i>Modelo de Biba</i>	385
	<i>Categorias</i>	387

29.5	Políticas baseadas em domínios e tipos.	387
29.6	Políticas baseadas em papéis	389
29.7	Mecanismos de controle de acesso	390
	<i>Infraestrutura básica</i>	391
	<i>Controle de acesso em UNIX</i>	392
	<i>Controle de acesso em Windows</i>	394
	<i>Outros mecanismos</i>	394
29.8	Mudança de privilégios	396
30	Mecanismos de auditoria	407
30.1	Introdução	407
30.2	Coleta de dados	407
30.3	Análise de dados	409
30.4	Auditoria preventiva	410
	Parte VIII: Virtualização	413
31	O conceito de virtualização	414
31.1	Um breve histórico	414
31.2	Interfaces de sistema	415
31.3	Compatibilidade entre interfaces	416
31.4	Virtualização de interfaces	418
31.5	Virtualização versus abstração	420
32	Tipos de máquinas virtuais	422
32.1	Critérios de classificação	422
32.2	Máquinas virtuais de sistema	423
32.3	Máquinas virtuais de sistema operacional	425
32.4	Máquinas virtuais de processo	427
33	Construção de máquinas virtuais	431
33.1	Definição formal	431
33.2	Suporte de hardware	433
33.3	Níveis de virtualização	435
33.4	Técnicas de virtualização.	437
	<i>Emulação completa</i>	437
	<i>Virtualização da interface de sistema</i>	438
	<i>Tradução dinâmica</i>	438
	<i>Paravirtualização</i>	439
33.5	Aspectos de desempenho	441
33.6	Migração de máquinas virtuais	442
34	Virtualização na prática	445
34.1	Aplicações da virtualização	445
34.2	Ambientes de máquinas virtuais	446
	<i>VMware</i>	447
	<i>Xen</i>	447
	<i>QEMU</i>	448

<i>KVM</i>	449
<i>Docker</i>	450
<i>JVM</i>	450
<i>FreeBSD Jails</i>	451
<i>Valgrind</i>	452
<i>User-Mode Linux</i>	452

Apêndices **454**

A O descritor de tarefa do Linux	455
----------------------------------------------------------	------------