



Detalhe de peça de artilharia inglesa de bronze do século XVI, com a inscrição: DA COMPANHIA G^{LA} DO BRAZIL. Abaixo a esfera armilar com a frase SPERO IN DEO. Um pouco mais abaixo desta o número 2640A que é o peso da peça em arratéis.

OS CANHÕES DO *SANTÍSSIMO* *SACRAMENTO*

JOHN F. GUILMARTIN, JR.
Tenente-Coronel (USAF)

Este estudo é uma aplicação da análise tecnológica à arqueologia marítima, feito por historiador militar. Tem em vista, especificamente, os canhões do Galeão português *Sacramento*, perdido na costa brasileira, em maio de 1668, e recuperado por mergulhadores da Marinha do Brasil entre 1976 e 1978. Apresenta três propósitos

principais: em primeiro lugar, demonstrar a contribuição que a análise técnica da primitiva artilharia moderna pode trazer para a arqueologia marítima e a história da guerra no mar. Em segundo, extrair a maior vantagem possível da investigação arqueológica do naufrágio. Em terceiro, e mais importante, estudar o fundidor do

primitivo canhão moderno, o discernimento que possuía de sua arte, o controle que tinha do seu meio, seu relacionamento com o homem do mar e o mestre construtor naval, dentro de um contexto histórico e tecnológico apropriado.

A interação entre a arqueologia marítima e outras disciplinas é recente. Sendo disciplina de alta tecnologia habitualmente aberta a inovações, tem tentado encontrar e explorar o conhecimento especializado de um largo âmbito de matérias. Indicativo da abertura dessa aproximação é o fato de que esse estudo começou com um convite ao autor — feito pelo Serviço Histórico da Marinha Brasileira, isto é, o Serviço de Documentação Geral da Marinha, — para visitar o Brasil e examinar e analisar a artilharia recuperada.

A utilização de tecnologia avançada e técnicas modernas na arqueologia marítima é fato consumado. O uso de preservativos estranhos para manter a firmeza da madeira após milênios de imersão é um exemplo; a exploração de técnicas de rádio-carbono para estabelecer a idade do material orgânico; e ainda a aplicação da perícia do numismata e dos especialistas em cerâmica e vidraria antigas têm contribuído de maneira substancial.¹

Entretanto, apesar da reconhecida importância dos canhões e (da ciência) da artilharia para o estudo dos primórdios da moderna história naval, e a despeito do reconhecimento da importância dos canhões recuperados de naufrágios dos séculos XVI e XVII, pouco esforço tem sido feito para aplicar o estudo técnico de artilharia à arqueologia marítima. Significativamente, a maior parte dos trabalhos de análise feita em canhões reavidos do fundo do mar tem sido realizada por mergulhadores-arqueólogos, de formação basicamente tecnológica, ao invés de sê-lo por *scholars* acadêmicos.² Como resultado, canhões recuperados de naufrágios dos primórdios da idade moderna têm sido eficazmente explorados em apenas um punhado de casos.³ A causa e a consequência desta situação é a generalizada falta de compreensão da artilharia da época, particularmente artilharia naval.

Podê-se afirmar, seguramente, que o estudo sistemático da artilharia do princípio da idade moderna apenas começou.

E, igualmente, que o que é conhecido não tem sido efetivamente aplicado à arqueologia marítima. As razões de tal fato são várias. A arqueologia marítima ocasiona e alimenta uma fascinação geral pelo desenvolvimento de navios, crescendo em intensidade quando atingimos épocas e áreas para as quais documentos escritos são escassos. O canhão, no entanto, apareceu relativamente tarde no desenvolvimento dos navios: os mais antigos naufrágios incluindo canhões datam da metade do século XVI, época para a qual os registros escritos são relativamente abundantes. O *Mary Rose*, afundado em 1545, é, dentre eles, o mais antigo que me vem à memória.⁴

Muito do conhecimento especializado aplicado à arqueologia marítima se tem devotado a datar e identificar os naufrágios. As perdas de embarcações armadas com canhões, entretanto, são suficientemente recentes para serem identificadas por pesquisas de arquivo, área em que arqueólogos marítimos e caçadores de tesouro têm penetrado diligentemente. Via de regra, a soma de registros associados com tais soçobros é tão grande que não há necessidade de recorrer à análise de canhões recuperados para fixação de data e identificação. No que se refere à artilharia, canhões de bronze em bom estado, com armas reais legíveis, datas e marcas do fundidor, encontram-se normalmente disponíveis. Em nenhum dos casos é provável que haja necessidade de análise em profundidade da artilharia reavida. Já que a informação a ser acumulada a partir da artilharia é aparentemente desnecessária, ou facilmente alcançável por outros meios (ou ambos os casos), tem havido, pois, pouca pressão para a expansão do nosso conhecimento do assunto.

A falta de curiosidade acerca da artilharia naval primitiva é sublinhada pela tendência em admitir que, sendo a artilharia e o navio a vela de alto bordo desenvolvimentos relativamente recentes, nosso conhecimento a seu respeito é correto e completo. As peças de artilharia foram ao mar em quantidade significativa apenas no século XVI; na metade do século XVIII, a fabricação e o uso de artilharia naval foi racionalizada, padronizada e organizada em termos que nos pare-

cem hoje familiares. Como resultado, tendemos a empregar, na nossa análise de navios e armas dos séculos XVI e XVII, a tecnologia, táticas, organização e posturas dos séculos XVIII e XIX. Mesmo os canhões trabalham contra si próprios: já em torno de 1520 os canhões de bronze tinham aparência semelhante aos canhões dos três séculos seguintes.⁵ Havendo pouca mudança no aspecto, aceitamos que houve pouca modificação no conteúdo. Essa suposição implícita é falsa.

Dois exemplos da tendência em atribuir tecnologias mais recentes à história naval dos séculos XVI e XVII descrevem a essência e introduzem nossa análise: em seu estudo sobre guerra naval na era da vela, Alfred Thayer Mahan, o profeta do Poder Naval, dotava insistentemente os navios e esquadras da metade do século XVII de características estruturais, poder de fogo, capacidade de se manter no mar e autonomia de cruzeiro próprias da era napoleônica.⁶ A profunda influência da hipótese errônea de Mahan acerca da estase tecnológica em seu trabalho e no de seus sucessores somente agora está sendo reconhecida e corrigida.⁷ Tal fato é diretamente relevante para o nosso estudo, pois o galeão português, que é seu objeto foi projetado para propósitos diferentes daqueles que uma análise mahaniana ortodoxa faria supor.

O segundo exemplo se aproxima ainda mais do cerne da discussão: gerações de historiadores navais têm suposto que canhões longos significam longo alcance, que canhões de almas longas atiram seus projéteis mais longe que aqueles de almas curtas.⁸ Isto é verdade se tomarmos a moderna artilharia raiada, utilizadora de propelentes a base de nitrato; não é verdade para canhões de pólvora negra. As reites de combustão dos propelentes a base de nitrato aumentam em função da pressão e da temperatura; com propelente projetado adequadamente, isso significa que o crescimento de velocidade potencial a ser conseguido com o aumento do comprimento da alma é efetivamente limitado somente pela capacidade da câmara de resistir ao calor e à pressão.⁹ A reite de combustão da pólvora negra, mistura clássica de aproximadamente 75% de nitrato de potássio, 15% de carvão vegetal

e 10% de enxofre (por peso) é essencialmente constante.¹⁰ Uma vez iniciada a reação de decomposição, o aumento da pressão e da temperatura não acarreta efeito algum sobre a reite de combustão. Esse fato básico tem significado balístico profundo. Do lado prático, exprime que uma bala de canhão de ferro fundido atinge aproximadamente 80% da sua velocidade final a um ponto a apenas 12 calibres (isto é 12 vezes o diâmetro interno) do início do movimento, ainda dentro do tubo alma. No ponto de 18 calibres a bala atinge essencialmente toda a velocidade que uma carga de pólvora negra é capaz de impor.¹¹ Qualquer comprimento adicional de tubo-alma (e a maioria dos tubos-alma dos canhões dos séculos XVI e XVII era muito mais longo que 18 calibres) não acarretava efeito prático na velocidade na boca da arma de fogo e, conseqüentemente, nenhum resultado no alcance.

A tendência a dar importância à suposta vantagem de alcance dos canhões longos, representa uma ramificação posterior da tendência de interpretar a partir de fatos mais modernos, pois, o alcance, da maneira que o termo é usado hoje, teve pouca relevância na guerra naval do início da idade moderna. Canhões para projetis esféricos com o tubo-alma polido internamente eram inerentemente inacurados, e tentativas de alcançar além de 500 jardas eram normalmente desperdício de pólvora e tiro (e almas longas não traziam nenhum benefício maior à correção e ao alcance).¹² Não somente era impossível acertar um alvo a longa distância com precisão, particularmente do convés oscilante de um navio, como também uma bala de canhão não explosiva tinha poderes de destruição muito limitados ao final de sua trajetória.

Havia ocasionais exceções à regra: um tiro longo podia destruir mastro ou cortar peça crucial do aparelho, impedindo a escapada ou permitindo que uma presa fosse capturada. Em geral, entretanto, o fascínio com o máximo alcance é preocupação moderna, baseada implicitamente nas características da artilharia raiada de pós-1850, lançadora de projéteis ex-

plosivos os quais são eficazes a máxima distância.

Diferenças de comprimento do tubo-alma eram importantes em canhões de bronze (e a boa artilharia de bronze fundido estabeleceu o padrão para uma artilharia de primeira classe até bem avançado o século XIX) mas as razões não tinham nada a ver com velocidade na boca da alma, alcance ou correção. De acordo com o costume europeu ocidental, os canhões eram fundidos com a culatra mergulhada numa cavidade, sendo o bronze derretido, derramado pela boca do canhão utilizando-se o chamado "sino de fundir."¹³ A pressão desenvolvida por coluna de bronze derretido, do mesmo modo que a ocasionada por qualquer líquido, é proporcional à altura da coluna. A pressão sob a qual o bronze era fundido, tornava-se, pois maior na parte inferior do molde, e, maior ainda, quando a altura (o comprimento da alma) aumentava. O bronze de canhão apresenta tendência à porosidade e esponjosidade (qualquer dúvida a respeito da procedência desta afirmação pode ser superada pelo exame dos destroços de um canhão de bronze explodido; o metal dilacerado parece a esponja rasgada), a qual foi exacerbada pela falta de controle que o antigo fundidor de canhões tinha sobre o metal.

Os efeitos negativos da porosidade, esponjosidade e da presença de impurezas na resistência do metal podiam ser minimizados fundindo-se o bronze a grande pressão. Maior pressão, por sua vez, podia ser conseguida aumentando-se o comprimento da alma e colocando-se, assim, a culatra na parte inferior de uma coluna mais alta de metal derretido. Não sabemos se os fundidores de canhões dos séculos XVI e XVII estavam explicitamente conscientes dessa relação. Parece, no entanto, que eles a estavam implicitamente, pois exploravam-na de maneira sistemática e controlada, em conjunção com outras variáveis críticas do modelo dos canhões.

Sabemos que os melhores fundidores modelavam seus canhões com pequena margem de tolerância em relação a um padrão que variava apenas lentamente

com o passar do tempo; a artilharia do *Sacramento* provê um claro exemplo dessa prática. Sabemos que havia conhecimento explícito da relação positiva entre a espessura do cano e sua consistência, embora a natureza da relação não fosse claramente entendida (e, ainda hoje, não é claramente compreendida).¹⁴ Sabemos também, que o canhão tendeu a se tornar mais curto e menos espesso à proporção que os fundidores desenvolveram maior controle sobre a qualidade do metal, e que os melhores fundidores, coerentemente, moldavam canhões mais curtos e menos espessos.

Pode parecer que estejamos utilizando argumento circular e que tais canhões fossem melhores apenas por serem mais curtos e menos espessos. Entretanto, não é bem assim; os melhores canhões eram modelados pelos melhores fundidores, homens claramente identificáveis pelo seu trabalho, quando não por sua fama.¹⁵ Os melhores utilizavam sua técnica para minimizar a quantidade do (caro) bronze em seus canhões; isso acarretava o benefício complementar de produzir peça mais leve e de mais fácil manejo para bala de mesmo peso. As vantagens eram, além de apreciadas, óbvias. Similarmente, as punições para a modelagem de canhões de resistência insuficiente eram severas, e a espessura e comprimento mínimos eram observados com o mesmo cuidado que seus máximos. O dano que um canhão explodido podia acarretar a um convés de bateria lotado (ou à reputação de um fundidor) era horrível, e o custo da refundição do metal de um canhão explodido enquanto em teste (os moldes eram construídos de argila queimada e podiam ser utilizados apenas uma vez) era suficiente para que fossem evitadas experiências fortuitas. Não deveria haver, pois, alguma dúvida sobre a veracidade da relação (conhecida e real) entre a espessura da parede do tubo-alma e a resistência.

Com relação à veracidade da relação entre comprimento e resistência não há, também, dúvida alguma. Testes feitos na década de 1850, por Thomas Jefferson Rodman com canhões fabricados da maneira descrita acima, mas que eram con-

sideravelmente mais curtos que os que nos interessam, revelaram que o metal da culatra era 5% mais denso que na boca. Esse modesto aumento de densidade duplicava a tenacidade do metal, o poder de resistir à pressão de cisalhamento.¹⁶

O conhecimento dessa relação nos habilita a avaliar a qualidade da artilharia de bronze primitiva.

O comprimento e a espessura dos canhões são apenas dois dentre muitos fatores que devem ser considerados; eles pouco nos revelam acerca de um canhão se desconhecermos, por exemplo, sua nacionalidade e data de fabricação. Dentro de um contexto, porém o comprimento da alma e a espessura de sua parede cano proporcionam uma útil e inequívoca, embora não quantificável, indicação da qualidade do canhão e da competência do fundidor.

Comentário técnico final é necessário antes de nos voltarmos para a análise do *Sacramento* e seus canhões. Diz ele respeito à relação entre o canhão de bronze e o canhão de ferro fundido. Se não há dúvida de que o progresso de método razoavelmente seguro de fundição de canhões de ferro, principalmente dominado pelos ingleses e, a seguir, pelos holandeses, alemães e suecos, foi realização de enorme importância, tal não se deu devido a qualquer melhoramento na qualidade dos canhões. Eram eles maiores e mais pesados que os de bronze projetados para disparar bala do mesmo peso. Pior ainda, eram sujeitos à corrosão interna sendo, em parte como resultado disso, menos seguros. Quando explodiam, não se mantinham essencialmente intactos como os canhões de bronze, que expeliam os gases quentes através do tubo-alma rompido (o que já era suficientemente desfavorável); pelo contrário, rebentavam-se como bombas, em fragmentos dentados. Os canhões de ferro eram usados — e em quantidade considerável — porque custavam apenas um terço do canhão equivalente de bronze.¹⁷ A escolha não era questão técnica; era econômica. Seu uso em navios de guerra de primeira classe, no século XVII, sugere séria carência de canhões.

Comparativamente pouca evidência documental nos resta a respeito do *Sacra-*

mento. As crônicas e correspondência contemporâneas dão a época e as circunstâncias de sua perda, e pouco mais.¹⁸ Quando soçobrou, a 5 de maio de 1668, era o capitânia da escolta fornecida, pela Companhia Geral do Comércio do Brasil, para frota anual da companhia, de Lisboa para a Bahia, e vice-versa. A frota anual era de importância econômica considerável para Portugal (consistia de 50 navios em 1668) e a possibilidade de interferência armada contra ela era grande. Não há, pois, razão para duvidar das palavras do cronista Sebastião de Rocha Pita quando diz que o *Sacramento* era "... um dos melhores navios de Portugal na época."¹⁹ A posição de capitânia caberia apenas a um tal navio.

A guerra entre Holanda e Portugal havia durado décadas na costa brasileira, nas Índias Orientais e nas respectivas rotas.

Ambos os contendores tiveram amplas oportunidades para testar seu valor. Sabemos, por meio dos freqüentes e bem documentados resultados de conflitos de holandeses com espanhóis, ingleses e franceses, que aos holandeses não faltavam coragem, equipamento, nem perícia; em se tratando de velejar e pelejar em navios de guerra de alto bordo, faziam-no com destreza. Sabemos, ainda, que os portugueses, ultimamente, tinham o domínio do mar ao longo da costa do Brasil e, embora nosso conhecimento dos detalhes táticos seja escasso, que esse domínio era devido à qualidade dos vasos de guerra portugueses e ao modo pelo qual eram manobrados. Assim, o *Sacramento* era, sem dúvida, embarcação de guerra de primeira classe em sua época e lugar.

A respeito da identificação do seu naufrágio não resta dúvida. A evidência documental relativa às circunstâncias da perda do *Sacramento* coincide, perfeitamente, com o local do naufrágio: a latitude de 13°02'18"S e longitude 30°30'14" W, ao largo da embocadura do Rio Vermelho, ao norte de Salvador, Bahia.²⁰ Os artefatos recuperados correspondem exatamente ao que se esperaria da perda de um dos maiores vasos de guerra portugueses da metade do século XVII. Mais especificamente, as datas e marcas dos fa-

bricantes dos dezenove canhões de bronze recuperados pelos mergulhadores da Marinha Brasileira, sob a supervisão do arqueólogo Ulysses Pernambucano de Mello Neto (sete canhões haviam sido trazidos à tona anteriormente por mergulhadores particulares, sob condições incontrolláveis), apontam claramente um navio projetado cerca de 1649 e lançado ao mar após 1650, provavelmente em 1653 (Fig. 1). Toda essa evidência entrosava-se exatamente com os registros de conhecidas perdas de navios portugueses e indica manifestamente o *Santíssimo Sacramento*, perdido em 1668.²¹

Significativamente, foram as datas e inscrições dos fundidores que deram a primeira confirmação real da identidade do navio.²² A prova evidente estava na recuperação de manufaturados portadores dos monogramas pessoais do capitão do navio, João Correia da Silva, e do Governador-Geral do Brasil, Francisco Correia da Silva, também falecido no naufrágio.²³

Tendo identificado o navio, que podemos dizer sobre ele? Sem referência à arqueologia náutica é impossível dizer muito; estamos, pois, em dívida com o Prof. Pernambucano de Mello Neto, com os mergulhadores da Flotilha de Submarinos da Marinha do Brasil, e com os oficiais e guarnição do NSS *Gastão Moutinho*, de bordo do qual foram conduzidas a exploração e as operações de recuperação. Fontes contemporâneas coerentemente referem-se ao *Sacramento* como galeão; uma delas afirma que ele possuía 60 canhões.²⁴ A partir disso, podemos deduzir, com certeza, apenas o fato que foi navio construído propositalmente para a guerra no mar. Enquanto, no século XVI, o termo galeão pode ser associado a um tipo particular de navio de guerra (ao contrário do *galéon* espanhol, o termo galeão jamais era utilizado, em Portugal, para classificar navios mercantes²⁵), os meados do século XVII foram um período de alterações contínuas e mudanças rápidas na construção naval, e não podemos dizer, com precisão, o que significava o termo quando o *Sacramento* foi lançado ao mar. Pouco se sabe sobre o desenho, construção e armamento dos navios de guerra

1/4 portugueses desse período. A cifra de 60 canhões pode ter sido estimativa artificial em lugar de número real; provavelmente, ele incluiu peças de amealhar, canhões de embarcações miúdas etc., o que não contaríamos como canhões de navios de alto bordo de acordo com padrões atuais.

Embora saibamos muito acerca do desenho e armamento dos navios de guerra ingleses, franceses e holandeses da época do *Sacramento*, não podemos, com confiança extrapolar tal conhecimento para a prática portuguesa. Isto se dá, principalmente, porque muito da atenção dispensada ao progresso do desenho de navios de guerra na metade do século XVII tem sido dirigida a maiores navios de linha, particularmente aos pesados leviatãs de cem canhões como o *Sovereign of the Seas*, *Prince*, *Soleil Royal* e *Zeven Provinzen*. Esses navios, assim como o *Santíssimo Sacramento*, considerados os melhores do seu tempo em suas respectivas nações, eram muito diferentes em projeto e construção. Eram também muito diferentes dos correspondentes ingleses, holandeses e franceses ao *Sacramento*, os quais combatiam-no, e aos da mesma classe, no comércio e na disputa pela segurança na costa brasileira.

O *Sacramento* um vaso de guerra menor e menos poderoso, poderia parecer pouco impressionante em comparação com os enormes navios de combate citados acima, mas devemos levar em consideração o contexto estratégico e tecnológico. Os pesados navios de cem canhões, de meados do século XVII, reuniam grande poder de combate, mas não eram verdadeiros vasos de guerra transoceânicos. Diversamente de seus semelhantes de um século e meio mais tarde (o *Victory* e o *Ville de Paris* são, entre outros, os exemplos mais conhecidos), raramente arriscavam-se longe dos portos de origem, e usualmente participavam, apenas, de breves operações militares, durante os meses relativamente calmos do final de primavera e verão.²⁶ Enormemente onerosos de se construir e operar, devem ser entendidos como a altamente especializada embarcação que eram: não devemos identificar neles as características dos navios de

Figura 1

Peso da bala em libras	Data e marcas do fundidor	Número de identificação do autor	Marcas de peso	Peso expresso em libras	Peso em libras por libra de bala	Comprimento da alma em calibres	Espessura máxima da parede em função do diâmetro da alma
26	1649 Lucas Matias Escartim*	10	+ 36 - 2 - 10 +	3758	144.6	18.22	.97
26	1649 Lucas Matias Escartim*	11	+ 36 - 1 - 16 +	3739	143.8	18.16	.96
26	1649 Lucas Matias Escartim*	12	+ 36 - 3 - 08 +	3782	145.5	18.17	.96
26**	1649 Lucas Matias Escartim*	14	+ 36 - 1 - 00 +	3723	143.2	18.17	.99*
26	1649 Lucas Matias Escartim*	15	+ 36 - 1 - 00 +	3620	139.2	18.13	.95
26**	1653 Lucas Matias Escartim*	16	+ 36 - 2 - 04 +	3752	144.3	18.19	.96*
28	Mid 1600s A. G. F.*	9	39 - 1 - 16	4047	144.5	18.42	.95
24	Mid 1600s *	17	- 37 - 0 - 8 -	3608	158.7	19.46	.96
11**	Reign of João III,*	18	+ 25 - 1 - 08 +	2601	236.5	24.28	1.06
11	Reign of João III,*	19	+ 25 - 3 - 08 +	2583	234.8	25.25	1.07
11	Early 1600s, A. G. F.*	3	23 - 2 - 16	2430	230.9	24.60	1.06
11	Early 1600s, *	4	25 - 2 - 0	2619	238.1	25.51	1.20
11	Mid 1600s, *	5	+ 26 - 0 - 1 +	2671	242.8	25.17	1.04
11	Mid 1600s, *	23	+ 25 - 3 - 1 +	2645	240.5	25.51	1.11
14	Mid 1600s, * PDB	6	31 - 2 - 12	3247	231.9	23.92	1.11
20	1590 John and Richard Phillips	13	3640 A				
			A VIII X	3728	186.4	18.25	1.11
			3600 - 1 - 6				
20	1596 John and Richard Phillips	8	3610 A				
11	1597 George Elkine	20	3500 - 1 - 1 - VIII A	3620	181.0	18.42	1.14
11	1597 George Elkine	2	2700 A	2702	245.6	20.84	1.14
11	1597 George Elkine	2	2600 - 1 - 5				
11	Mid 1500s *	1	2650 A	2654	241.2	21.87	1.10
8	Mid 1500s *	21	2500 - 3 - 9 VI	2619	238.1	26.52	.95
			2630 A				
			2500 - 2 - 18	2637	329.6	29.37	1.12
			2640 A				
			2500 - 1 - 25 II				
20	1649 Conrad Wagwaert	7	37A119	3834	191.7	19.2	1.07
14	1622 Henricus Meus	22					
20	1634 Assuerus Koster	24					
4½	Mid 1600s Assuerus Koster	34	38 FO	3903	195.1	21.00	.96
4½	1648 Henricus Vesterinck	35				13.9	.79
						12.55	.62

* Indica brasão de armas português inscrito na parede.

** As almas desses canhões eram um pouco maiores que outras de canhões da mesma classe; presume-se, portanto, que os de 26 libras sejam de 27, e que o de 11 libras seja de 12.

primeira classe de linha pertencente a uma era posterior.

O *Sacramento* não era navio de linha de batalha, mas genuíno vaso de guerra transoceânico; na época, as duas classificações não significavam a mesma coisa. Recentemente, os avanços da arquitetura naval permitiram que as duas funções fossem desempenhadas pelo mesmo navio; os navios de linha de setenta e quatro canhões do final do século XVIII e princípio do século XIX são os mais notáveis, e talvez mais importantes, exemplos disso. Nos dias do *Sacramento*, todavia, tal façanha era impossível.

Assim, é tentador julgar o *Sacramento* como um antecedente da fragata, um cruzador transoceânico que podia colocar fora de combate qualquer barco que fosse mais veloz que ele, espécie que provavelmente apareceria em paragens tão longínquas quanto a costa do Brasil. Essa é uma hipótese intrigante e que merece exploração futura; é apoiada, até certo ponto, pelo provável tamanho do convés do galeão, e pelo peso de sua artilharia. Era o *Sacramento* um grande, rápido e fortemente armado equivalente de um navio de linha de terceira classe? Tudo o que podemos afirmar, com certeza, é que o projeto do *Sacramento* foi elaborado de acordo com os ditames das necessidades táticas e estratégicas peculiares à Companhia Geral do Comércio do Brasil, e dentro dos limites impostos por fatores econômicos, capacidade e restrições de recursos humanos disponíveis.²⁷

Conjecturar acerca das características de projeto e construção do *Sacramento* vai além do nosso escopo atual.

Concentraremos nossos esforços na sua artilharia. Trinta e quatro canhões de bronze e oito de ferro fundido foram colocados à disposição do autor para exame; eles se encontram arrolados, e ressaltadas suas características notáveis na Figura 1. Os canhões de bronze são particularmente importantes, não só porque são representativos da melhor artilharia naval disponível em Portugal, mas, igualmente, porque conservaram-se em excelentes condições. Possuíamos conhecimento limitado acerca de oito canhões adicionais, de ferro fundido, que foram

deixados no fundo do mar, na dependência do desenvolvimento de processo que os preserve da severa corrosão que ataca o ferro fundido exposto à atmosfera após longo período de imersão. Conhecemos a disposição, no fundo do mar, da maioria dos artigos recolhidos, inclusive de 35 dos 42 canhões com que contamos. Apesar de incompleta, pois a localização dos sete canhões recuperados, antes que se estabelecessem normas arqueológicas, não é conhecida, a evidência mostrada pelo plano que proporcionou esta informação é crítica (Fig. 2).

A distribuição dos destroços indicada pelo plano sugere que o navio se apoiou, no fundo do mar, sobre quilha relativamente uniforme, com o bordo de boreste para cima. Tal disposição se torna evidente a partir da análise do arranjo das âncoras e dos canhões. Estes, foram encontrados em duas linhas denteadas e paralelas, flanqueadas por quatro das cinco âncoras; o local destas, dada a regularidade das linhas dos canhões, somos levados a presumir, era seguramente a proa do navio, já que as âncoras principais eram normalmente conduzidas na proa, por fora do costado. Essa combinação corresponde exatamente ao plano. Os desvios desse esquema geral são mínimos e reforçam a conclusão que os locais de onde os canhões foram recuperados correspondem, muito proximamente, às suas localizações no plano horizontal do navio, antes dele haver naufragado. A linha dos canhões curva-se, na extremidade da popa, apenas o suficiente para insinuar que os dois canhões das linhas opostas mais próximos um do outro eram cachorros de popa, montados lado a lado para atirar para ré, um de cada lado do leme. As linhas dos canhões são menos regulares na popa, onde o casco e a superestrutura teriam tido maior altura, deixando o maior número de pedaços de madeira para desarrumar os canhões em sua vagarosa viagem para o fundo enquanto o navio desmantelava-se.

O comprimento das linhas dos canhões sugere cobertura grande (ou alta) de aproximadamente 158 pés (40 metros), que, por sua vez, indica casco de aproximadamente 200 pés (51 metros) de com-

primento, entre perpendiculares. Um vaso de guerra inglês ou holandês equivalente, da mesma safra do *Sacramento* (e ingresamos em terreno escorregadio) seria provavelmente navio de terceira classe, somando cerca de quarenta canhões nas suas duas principais cobertas de artilharia. Os maiores dentre esses canhões não ultrapassariam 32 libras (ou seja, capazes de atirar balas de ferro fundido de 32 libras) e não seriam inferiores a 24 libras; o quadro que surge é notavelmente semelhante ao modelo de um navio inglês de setenta canhões, de 1692, mencionado pelo falecido Anderson, R. C., em seu livro *Seventeenth Century Rigging*.²⁸ Os canhões da coberta grande, aproximadamente metade do total, seriam maiores que os do convés. Se por exemplo, os canhões daquela fossem de 32 libras, é de se esperar que os do último fossem de 24; se, no entanto, fossem de 24 libras, os de cima seriam de 12 ou 18.

Isso corresponde aproximadamente à artilharia do *Sacramento*. Dos 26 canhões de bronze recuperados, dois são peças muito pequenas, de 4,5 libras, e que seriam colocados nos castelos, o que os exclui, por enquanto, de nosso estudo. Os restantes se dividem quase igualmente entre 20 libras ou mais (12 deles) e 12 libras ou menos (10 deles). Esse fato, aliado à colocação próxima entre si dos canhões nas duas fileiras (Fig. 2) apaga qualquer dúvida sobre a divisão da bateria principal do navio em duas cobertas. Duas peças adicionais, um arcaico canhão português para 14,5 libras e um holandês, longo e não-manobrável, de 15 libras, teriam feito parte da bateria da coberta grande por causa do seu tamanho e magnitude; poderiam igualmente tê-lo feito da bateria do convés em razão de seu tiro relativamente leve.

A solução desta dúvida encontra-se nos oito canhões que ainda estão no fundo do mar. Dos oito canhões de ferro recuperados, quatro, a julgar pelas grandes dimensões externas, recaem na categoria de 20 libras ou mais, e quatro na categoria inferior (o que vem, ainda, confirmar a hipótese de duas cobertas de artilharia, pois o plano indica que, pelo menos, sete dentre oito foram achados

adjacentes uns aos outros em área correspondente ao bordo de boreste, na popa, o que significa que os canhões menores do convés caíram, através do casco rompido, sobre um número igual de canhões maiores que se achavam diretamente abaixo deles). A lembrança do comandante do *Gastão Moutinho*, baseada no relato dos mergulhadores é que a maior parte, senão todos, dos oito canhões remanescentes no fundo do mar, pertence à categoria maior.²⁹

Se a isto combinarmos a análise dos canhões salvos, verifica-se que a bateria planejada para a primeira coberta consistia em canhões de bronze de 26 libras, mas que a grave deficiência de boa artilharia forçou a inclusão de um número de canhões de ferro fundido (o que é certo) e de canhões de bronze menores, de 20 libras. O *Sacramento* assim, proporciona inequívoca evidência física de falta geral de bons canhões, em Portugal, nas décadas seguintes à Restauração de 1640. Isto confirma e coloca em perspectiva literária a evidência deste efeito.³⁰ A natureza heterogênea da bateria principal do galeão é, apenas, a indicação mais óbvia da deficiência e, de modo nenhum, a mais conclusiva, como vamos indicar.

Os construtores do Sacramento teriam preferido, sem dúvida, bateria principal de boa artilharia portuguesa de bronze, o que se confirma pelo exame dos canhões portugueses que poderíamos inequivocamente apontar para a bateria da primeira coberta, com base no tamanho. Há oito destes: um de 28 libras do fundidor A. G. F., provavelmente Antônio Gomes Feio,³¹ o maior dentre os reavidos; um de 24 libras, de fundidor desconhecido (embora não assinado, é claramente português em razão do desenho, proporções e pelo emblema real na boca); e seis de 26 libras do fabricante Rui Correa Lucas Matias Escartim, cinco deles fundidos em Lisboa, 1649, e o restante em 1653, a data mais recente de qualquer dos canhões recuperados. Essas últimas seis peças são particularmente notáveis. Há constância de linha e proporção que mostra, claramente, que os fundidores portugueses seguiam modelo estabelecido; a comparação com os modelos holandeses captura-

dos pelo *Sacramento* (dos quais há duas unidades além dos dois de 4,5 libras e do de 15 mencionados anteriormente) sugere tratar-se de algo superior. Apesar de os três maiores canhões holandeses utilizarem balas menores (20, 20 e 15 libras respectivamente), eles eram mais pesados, mais longos, ou ambos, que os portugueses de 26 libras há pouco mencionados.

O problema do comprimento e do peso levanta uma série de questões básicas, pois o peso e o tamanho de um canhão como função do peso de um projétil são, como sugerimos, inequívocas indicações de qualidade. A maneira pelo qual peso e tamanho são medidos é, claramente, capital para a nossa análise. As dimensões externas de um canhão foram medidas com fita de aço, e comprimentos e circunferências foram anotadas pelo autor. Embora certas inexatidões inerentes a tal método, a paralaxe e curvatura de uma fita esticada são apenas duas delas, o autor considerou-as de valor mínimo e, assim irrelevantes. Mais tarde, sentiu que a consistência quanto à técnica tornaria os resultados válidos para fins comparativos. Isso provou ser verdade apenas até certo ponto. Os resultados, não há dúvida, são de maneira indubitável e suficientemente exatos para propósitos comparativos a grosso modo, mas o que não foi antecipado foi a precisão de medidas com que, pelo menos, alguns canhões haviam sido feitos. Essa precisão, *ex post facto*, requeria método de medição mais preciso para especulação futura. Nenhum método direto de pesagem era possível; no entanto, todos os canhões portugueses e ingleses possuem marcas em suas culturas que representam, claramente, o peso de seu tubo-alma. Falaremos mais tarde acerca da provável precisão dessas marcas. Por enquanto, bastará afirmar que a preocupação com o peso de canhões era tradicional, pelo menos em certas áreas, e que essas marcas, tal como encontradas em almas de canhões de bronze, conferem, a grosso modo, com o peso previsto, se tomados por base o volume estimado e na densidade do bronze.³²

A medição das seis peças de Lucas Matias Escartim revelou notável unifor-

midade dimensional (Fig. 3). Apesar de cada canhão haver sido fundido em molde individual, destruído depois para que se pudesse retirar o canhão acabado, e não obstante um deles o haja sido quatro anos após os demais, eles são, nas dimensões essenciais, cópias extremamente próximas do mesmo modelo. Dada a limitada precisão do método de medição, é impossível dizer-se quão próximas elas são. A máxima variação de comprimento encontrada entre qualquer dos seis (e isto talvez decorra das limitações do método por mim usado) girou em torno de dois terços de polegadas (1,5cm) entre a boca e a culatra do canhão, o que enfatiza o comprimento de 9,5 pés (2.90m). Para fundições de bronze de mais de 3.500 libras (1.600 kg), mesmo sob padrões modernos, não se trata de um mau desempenho. A grossura da parede do tubo-alma, embora impossível de ser medida com precisão até que dela possam ser eliminados os depósitos marinhos, evidencia precisão similar.

Baseado na medição do diâmetro da alma na boca, (calibre), processo que requer estima já que o uso arredondou os ângulos internos, há variação máxima na espessura da parede da alma imediatamente atrás do ouvido da peça (provavelmente, por si só, a dimensão mais crítica) de apenas 3%. Se considerarmos que dois dos canhões com as bocas particularmente gastas cujas almas foram medidas e ali encontrado aumento de .04" (2mm) sejam, de fato, vinte e seis canhões com os mesmos diâmetros do tubo-alma que os demais, a diferença baixa para 2%.

À suposição que todos os seis canhões de Lucas Matias Escartim foram, pelo menos, projetados para possuírem o mesmo calibre é reforçada pela análise da correlação entre a espessura da parede da alma e o peso marcado neles. A correlação produzida por uma análise da regressão de parcelas mínimas de esquadro é de .43 se admitirmos que as medições dos calibres dos dois canhões com as bocas gastas foram feitas com precisão; a correlação é de .88, se considerarmos os seis canhões como tendo calibre de 5.98 polegadas (15,2 cm).³³ Dado que os fa-

bricantes dos séculos XVI e XVII fundiam os canhões e depois “acertavam” o calibre das almas mandrilando-as, processo que, por vezes, produzia variações no diâmetro, isto é mais sugestivo que conclusivo. No entanto, mesmo como medida da habilidade do fundidor de controlar o peso em função de um *pretendido* calibre, tal método é respeitável. O que é realçado pela variação de peso entre os seis: o canhão mais pesado o é apenas 1,42% a mais que a média, e o mais leve, apenas 2,93% a menos, não obstante a documentada e considerável dificuldade em padronizar os pesos das almas dos canhões, problema esse que nunca foi resolvido no tempo em que se fundiam canhões de bronze.³⁴

Que o controle do peso e das dimensões críticas não era fácil tarefa, é evidenciado pelo fato de que as dimensões acríticas *não* eram controladas com tanto cuidado. Os munhões de duas dentre as seis peças de Lucas Matias Escartim são visivelmente enviesados no plano horizontal, incongruência essa também presente em um dos seis canhões portugueses de 11 libras (Figs. 3 e 4).

Com a finalidade de formar uma opinião definitiva da qualidade dessas peças, teremos que determinar o grau em que os tubos-alma se aproximavam de figuras geométricas perfeitas e a precisão com que eles eram centrados. Entretanto, a relativa pequenez e leveza dessas seis peças (suas almas são ligeiramente maiores que o comprimento de 18 calibres, que representa, balisticamente, o comprimento ótimo) deixa pouca dúvida quanto à sua qualidade.

Seus predicados ecoam nos canhões portugueses de 11 libras do convés superior, embora com diferenças intrigantes. Há seis deles no *Sacramento*, dos quais apenas dois são de safra e qualidade aparente comparáveis aos seis de 26 libras de Lucas Matias Escartim. Apesar de não trazerem marca do fabricante, esses dois canhões de 11 libras são claramente relacionados com seus irmãos maiores. A harmonia, espacejamento e contornos dos reforços e das capas de culatras são virtualmente idênticos ao das peças de Lucas Matias; o emblema real e o mo-

nograma de D. João IV são apresentados de forma idêntica, e o desenho dos del-fins sobre as almas e nas culatras são também idênticos.

Dadas as necessárias diferenças de proporção entre um canhão de 11 libras e outro de 26, é claro que os dois de 11 libras em questão e as seis peças de Lucas Matias foram feitas de acordo com a mesma tradição de fabricação e provavelmente na mesma fundição. Por que as peças menores não teriam a marca do fabricante? A razão mais provável é que a fundição de canhões maiores era considerada mais importante e prestigiosa, sendo supervisionada pelo próprio mestre-fundidor, enquanto a de peças menores era delegada a subordinados ou aprendizes. Essa hipótese é reforçada pelo fato de que a única das peças portuguesas de 11 libras do *Sacramento* que ostenta a marca do fabricante, o fundidor A.G.F., é mais leve que qualquer das cinco cerca de 150 libras (68 kg), apesar do fato de ser mais antigo em uma dezena de anos ou mais que as duas similares mencionadas.

A composição direta entre o método de fundição de A. G. F., e o de Lucas Matias Escartim, baseada no canhão de 28 libras de A. G. F., sugere que os dois possuíam habilidade semelhante. As marcas de peso, na culatra, indicam que a grande peça de A. G. F., possui pouco mais de 140 libras de bronze para cada libra de bala de canhão disparada, enquanto as seis peças de Lucas Matias possuem entre 140 e 142 libras. Como os canhões de Lucas Matias de 26 libras, os dois de 11 demonstram forte uniformidade dimensional; variam em comprimento apenas 1/2 polegada (1,3cm) em 9 1/2 pés (2,9m) e, em peso, menos de 60 libras em mais de 2.500 (1.134 kg). Um dos dois, da mesma forma que duas das seis peças maiores, possui seus munhões inclinados cerca de 1 grau e meio no plano horizontal.

Os três restantes canhões portugueses de 11 libras do *Sacramento* são uma miscelânea (Fig. 4). Parecem ser mais velhos que os outros três. Deles não diferem muito, no entanto, em proporções ou peso. Os portugueses aparentemente acharam que canhões deste tamanho e peso de bala

Figura 3

A Uniformidade Dimensional dos seis canhões de Rui Corrêa Lucas Matias Escartim

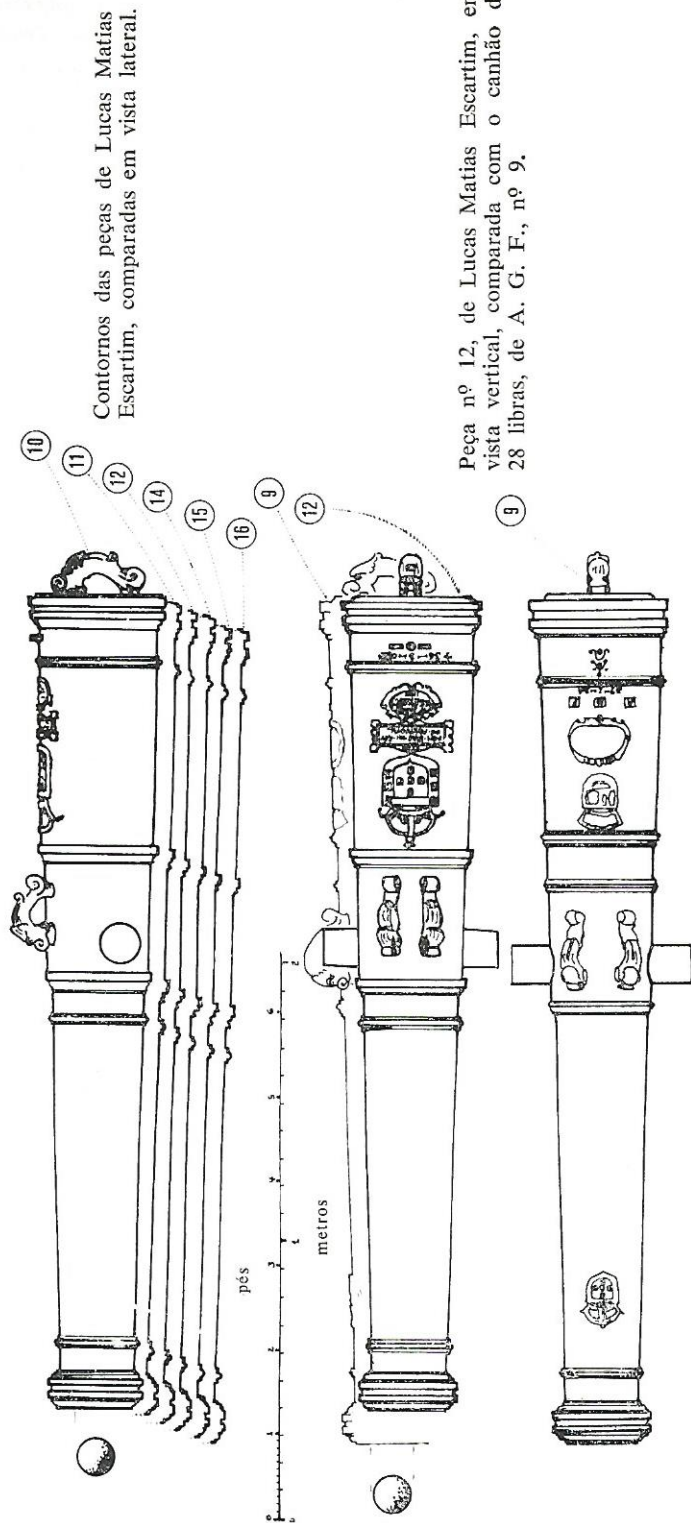
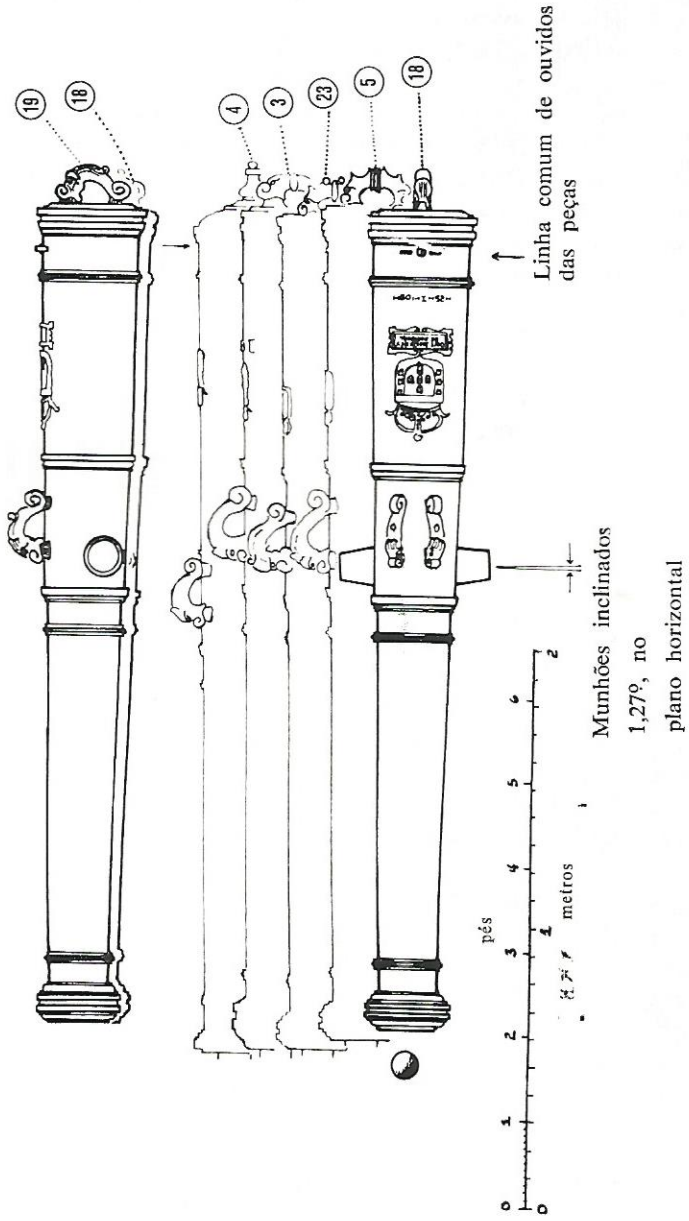


Figura 4

Comparação Dimensional dos Canhões Portugueses de 11 Libras

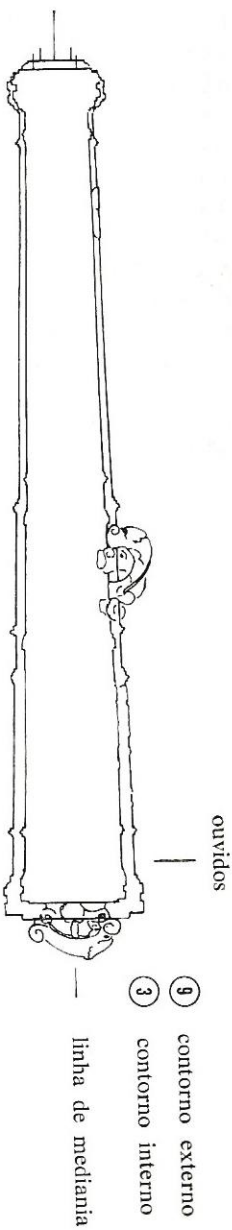


Os canhões nºs 18 e 19 foram fundidos com o monograma do Rei João IV (1640-56), e são virtualmente idênticos. As peças 4, 3, 23 e 5 pertencem a armas reais portuguesas, mas não são datadas.

Figura 4a

Comparação Dimensional de um Canhão de 28 Libras e Outro de 11 Libras, do Fundidor A. G. F.

Os contornos são traçados com linhas da mediana e ouvidos superpostos, a fim de representar as bases das almas, no mesmo plano transversal. Notar que a boca do de 11 libras se projeta além da boca do de 28.



Informação Comparativa

	Peso do cano por libra de bala*	Comprimento relativo do cano	Espessura da parede do cano na base da alma
28 libras 9	137 lbs.	18,4 calibres	0,95 do diâmetro da alma
11 libras 3	209 lbs.	24,8 calibres	1,06 do diâmetro da alma

* Para fins de comparação, os pesos de bala foram convertidos para arratéis, de 465,8 gramas.

Figura 4b

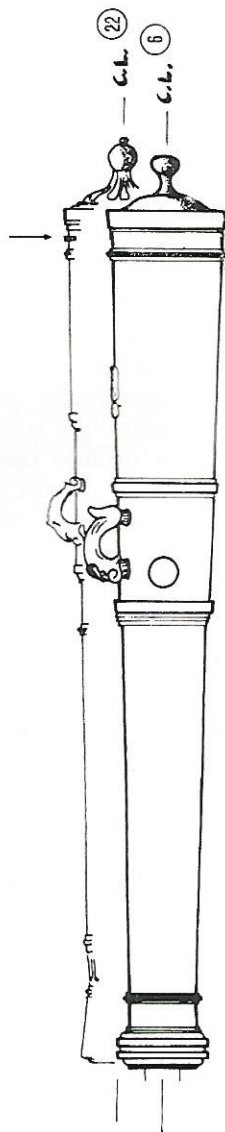
Comparação Entre os Dois Canhões de 14 Libras, do Fundidor Português P. D. B., e o do Fundidor Holandês Henricus Meus

Esses dois canhões são de interesse, por razões outras que forte semelhança em aparência e dimensões:

— Eles são os únicos canhões de bronze, dentre 26 recuperados nesta categoria de peso de bala, o que sugere desenho arcaico, escassez de artilharia, ou ambos.

— Isto é reforçado pelo fato de ser a peça de Meus a mais antiga das cinco peças holandesas do Sacramento. Similarmente, a aparência e proporções da peça de P. D. B., levam a crer que é a mais antiga dentre as portuguesas.

Ouvidos



Informação Comparativa

	Data de fabricação	Marcas de peso	Peso calculado ou presumido	Espessura da parede do cano	Peso do cano
Canhão de 14 Libras de H. M.	1622	—	3548 lbs*	1,09 de alma	246,8 +
Canhão de 14 Libras de P. D. B.	Desconhecida	31-2-12	3.162 arratéis/ /3.247 libras	1,11 de alma	225,9 +

* Cálculo baseado no volume do canhão, e na presunção de que a densidade do metal é de 516 lbs./pe³, quase a mesma do de 20 libras, de Assuerus Koster, de 1634, e pouco menos que as 520 lbs./pe³ do de 20 libras, de Wagwaert.

+ Esse cálculo considera um peso de bala de 14 arratéis, de 465,8 gramas ou 14,38 libras.

eram úteis já bem antes da metade do século XVII, e tornaram-nos padrão, dentro do possível. Se as nossas cobertas de artilharia do nosso galeão são uma indicação correta (e não deve ser esquecido que os canhões do *Sacramento* se acham, do ponto de vista arqueológico, fixados no tempo e no contexto) os ingleses podem ter criado padrões dentro de linhas semelhantes, pois três do total de nove canhões de bronze de 11 libras do *Sacramento* são ingleses.

Significativamente, se admitirmos um nível equivalente de tecnologia, canhões menores tendem a ser mais pesados, em termos de peso de projétil, do que os maiores. A diferença em peso relativo não era trivial. Os seis de 11 libras variam de cerca de 237 libras por libra de bala (a peça de A. G. F.), até mais de 257 libras, todos contendo quase 100 libras de bronze por libra de bala mais do que os de 26 libras. A razão técnica mais provável para essa relativa ineficiência é sugerida pelos comprimentos maiores das peças menores. Embora projetados para atirar uma bala menos da metade do peso, os canhões de 11 libras são apenas ligeiramente menores, em termos absolutos, que os de 24, 26 e 28 do *Sacramento*, o que era devido, provavelmente, ao reconhecimento implícito de que uma coluna de bronze derretido deveria possuir altura mínima para produzir metal com a densidade e resistência necessárias à culatra de um canhão.

O problema é: por que as armas menores eram relativamente ineficientes? Em terra, a base lógica para o uso de maior quantidade de armas menores, ao invés de poucas maiores e balisticamente mais eficientes, é clara. As restrições inerentes à tração animal colocavam limites óbvios à mobilidade de um canhão maior e vários projéteis menores eram taticamente mais eficientes que um único grande, quando se tratava de engajar alvos dispersos, animais ou humanos. No mar, porém, onde a destruição da estrutura de um barco era o objetivo principal, as vantagens de canhões maiores, em termos de eficiência balística e relativo baixo custo parecem ter preponderado. Qualquer vantagem que o canhão menor pudesse ter em rapidez

de fogo seria mais que compensada pela relativa falta de impacto destrutivo.

Submetida à reflexão, no entanto, parece que a questão é mais complexa, envolvendo problemas sofisticados de resistência e peso das bordas falsas e das cobertas da bateria, considerações sobre o centro de gravidade, momentos de inércia (embora esses não tenham sido explicitamente entendidos por muitas décadas) e uma série de pontos adicionais que podemos apenas conjecturar. Embora não possamos dizer, com precisão, quais os problemas e soluções, parece óbvio que os arquitetos navais que projetaram o *Santíssimo Sacramento* e supervisionaram sua construção possuíam idéias claras a respeito do tamanho preferível, composição e arranjo das baterias da coberta grande e do convés. A lógica resultante apontava claramente para canhões de 26 libras embaixo e de 11 libras em cima. Há evidência indireta, que discutiremos mais tarde, que o centro de gravidade do *Sacramento* foi tão cuidadosamente calculado, pela tripulação, quanto os dos aviões de transporte modernos.

É provável, assim, que canhões de 26 libras embaixo e de 11 em cima representassem o ideal balístico e estrutural, a combinação ótima de poder de fogo útil que poderia ser proporcionada a um verdadeiro navio de guerra transoceânico em Lisboa (ou em qualquer outro lugar) no final da década de 1640. Será que o sortimento variado de canhões de 15 a 20 libras (dos quais havia nada menos que seis, todos holandeses ou ingleses, exceto um longo e pesado português de 15 libras) representa a convergência em direção ao ideal ou a aceitação de um suprimento limitado? A ausência de canhões portugueses de 20 libras sugere a última hipótese, mas de nada sabemos. Apesar de ser real a deficiência de artilharia, os construtores portugueses podem ter projetado levando-a em consideração. A comparação cuidadosa com o critério de desenho observado em outros países pode ser instrutiva.

Nesse ponto, é necessária explicação detalhada acerca do nosso uso de pesos, o que é básico para o processo de avaliação e comparação, pois nossa única evi-

dência positiva dos pesos dos canhões é a marca em suas culatras.

Consideramos as marcas de peso gravadas na forma + 36 - 1 - 16 + como indicativas do peso do cano em quintais (cem libras), arrobas (um quarto de cem libras) e arratéis (libras portuguesas). A validade dessa suposição está aberta ao debate. Os canhões não foram pesados assim que recuperados, e balanças capazes de medir com precisão objetos de 3.500 libras (1.600 kg) não são lugar-comum. Os resultados de uma pesagem atual serão apenas indicativos genéricos, pois alguns canhões corroeram-se na superfície, após contato prolongado com a água do mar e as *cruzetas*, de ferro forjado, embutidos no metal do canhão para centralizar os machos do molde na fundição, corroeram-se em intensidades variáveis.

A ajuda veio de uma fonte imprevista, os seis canhões ingleses do *Sacramento*. Além das marcas de peso portuguesas acima indicadas, eles exibem marcas inglesas na forma 2630 A (Figs. 5 e 6). Marcas desse gênero claramente representam o peso do cano em libras, e assim estamos em terreno seguro.³⁵ Quatro dos seis canhões em questão foram fundidos por fabricantes que sabidamente exerceram a profissão na Inglaterra em épocas correspondentes às datas gravadas nas culatras juntamente com seus nomes, variando entre 1590 e 1597.³⁶ Os outros dois são ingleses quanto à forma e marcações. Apesar de nenhum deles ser assinado ou datado, parecem ser muito mais velhos, correspondendo, em tamanho e forma, às meias-colubrinhas dos destroços do *Mary Rose*; o emblema real português está gravado nas suas bocas, colocando-os numa época anterior à incorporação de Portugal ao Império Habsburgo, em 1580-81, mas sua aparência externa é ainda mais antiga.³⁷ Possuíam, provavelmente, cerca de cem anos quando o *Sacramento* foi lançado ao mar, consideração essa cujas implicações discutiremos brevemente.

Já que a libra inglesa *avoirdupois* possuía o valor constante de 7 mil grãos ou 453.6 gramas modernos, durante todo o período em questão,³⁸ podemos usar as marcas duplas dos seis canhões ingleses

para testar a validade de nossa suposição acerca da natureza das marcas de peso portuguesas. Podemos também estabelecer a unidade portuguesa de peso e obter alguma informação sobre os padrões de precisão que prevaleciam.

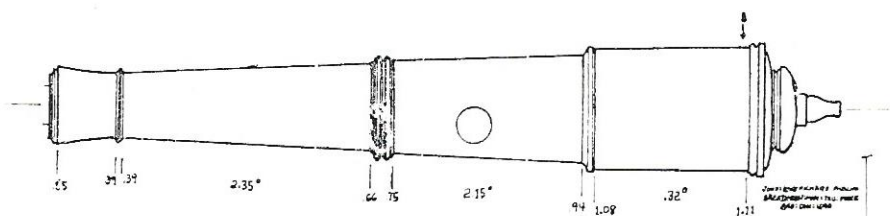
Uma análise demonstra que os dois grupos de marcas são expressões paralelas das mesmas quantidades em diferentes, porém seguras, unidades de peso com uma correlação de .9989 (Fig. 7). Confirma-se, pois sem dúvida, que as marcas divididas, em três partes, da culatra do canhão do *Sacramento* são realmente medidas de peso, o que também sugere que padrões inesperadamente altos de correção e precisão eram observados por fundidores ingleses e portugueses. Quando consideramos que a correlação era afetada cumulativa e adversamente pelas imprecisões em cada uma das duas pesagens, tal fato se torna particularmente impressionante, levantando algumas perguntas intrigantes: por que a precisão era importante? O gasto e dificuldade em pesar objetos grandes tão precisamente era tão considerável na época quanto o é hoje; havia, pois, claramente boa razão para agir assim. Os canhões seriam vendidos pela libra e pesos gravados e marcados neles próprios antes da venda? Talvez; mas, sendo assim, por que tais marcas são comparativamente incomuns em canhões portugueses e ingleses de safra similar encontrados em coleções de museus, a maioria dos quais provavelmente projetada para utilização em terra?³⁹ Eram os pesos determinados e gravados no canhão, segundo a prática inglesa e portuguesa, para auxiliar no balanceamento do navio? O suporte dessa teoria é oferecido pelo fato de que canhões holandeses não tinham seus pesos gravados na fundição, embora as duas maiores peças holandesas do *Sacramento* possuam o que parecem ser marcas de peso portuguesas grosseiramente neles riscados (o terceiro elemento, correspondente a arratéis, é omitido num deles). Seriam os canhões capturados pelos portugueses pesados no local de apreçamento, com balanças móveis incapazes de precisão? Essa teoria, plausível na comparação, implica num alto padrão portu-

Figura 5

Canhões Ingleses Datados do Sacramento

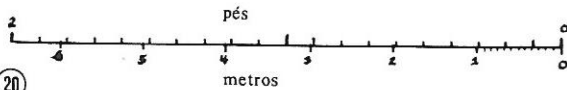
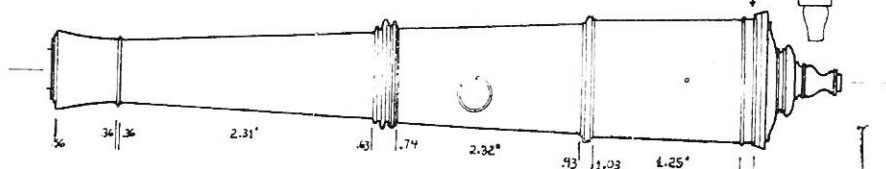
Linha comum de ouvidos

13

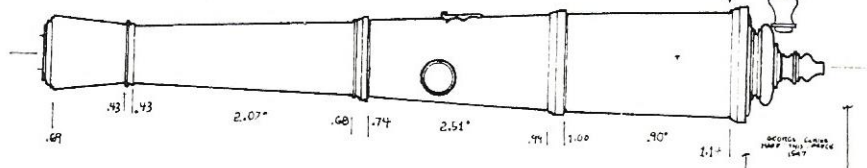


8

Dois de 20 libras de John e Richard Phillips 13, fundido em 1590, e 8, fundido em 1596

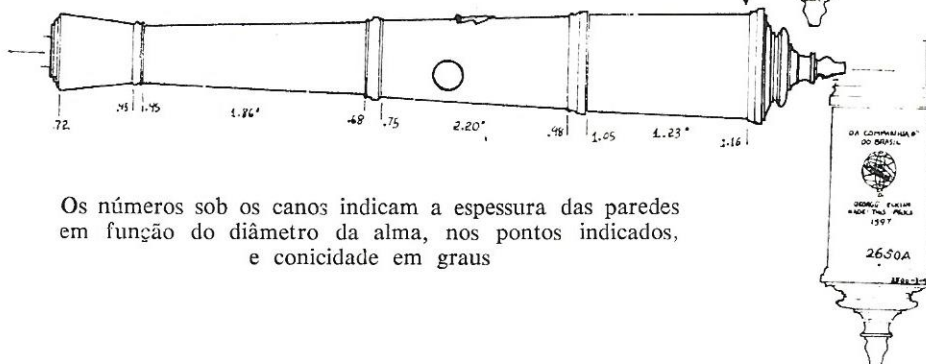


20



2

Dois de 11 libras de George Elkin, ambos fundidos em 1597



Os números sob os canos indicam a espessura das paredes em função do diâmetro da alma, nos pontos indicados, e conicidade em graus

Figura 6

Canhões Ingleses Arcaicos Recuperados do Sacramento

O canhão 1 é de 11 libras, e o 21 de 8, sendo notavelmente similares em dimensões externas. Ambos portam o braço real português, e um globo indistinto, em suas bocas; ambos mostram índices de ferro em seus munhões, nas manilhas acima das almas e capas das culatras.

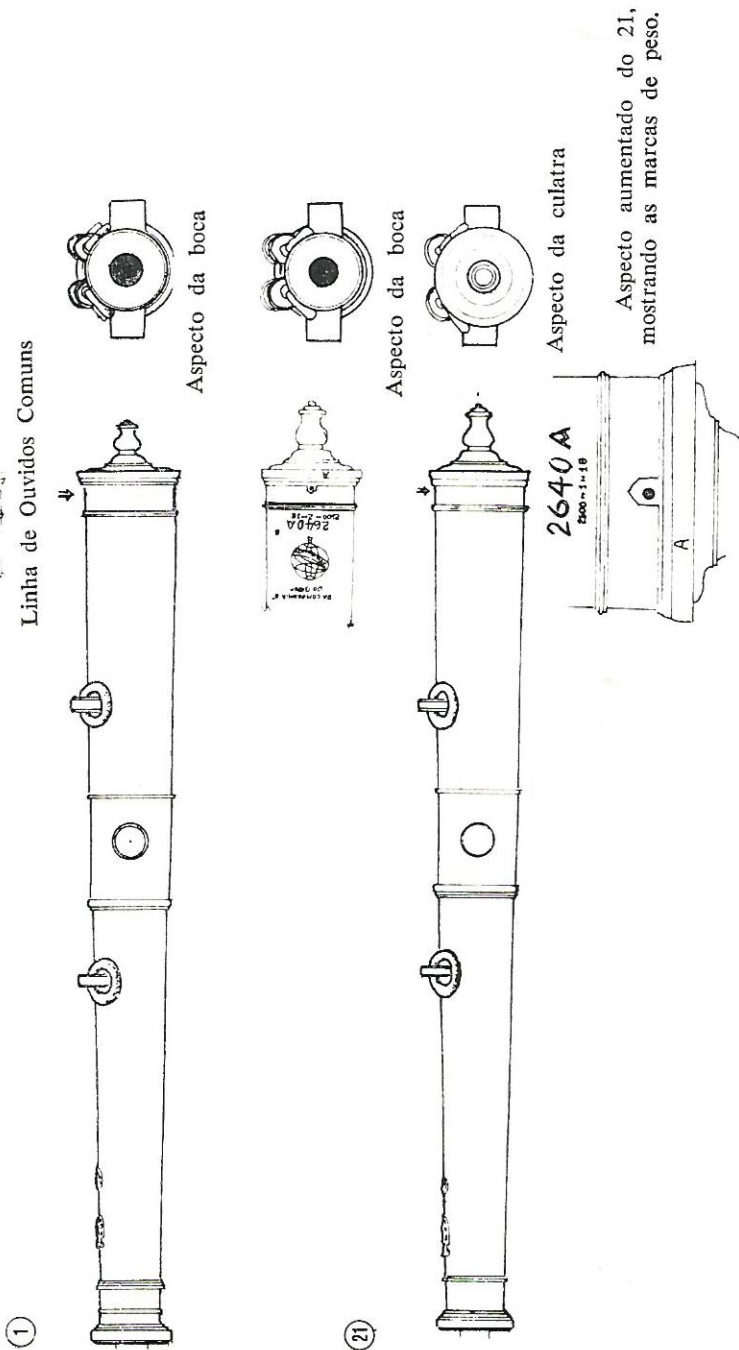


Figura 7

Análise por Regressão Linear das Marcas Duplas de Peso nos Seis Canhões Ingleses do Santíssimo Sacramento

<i>Número de identificação do Autor</i>	<i>Descrição</i>	<i>Peso em unidades inglesas</i>	<i>Marcas portuguesas de peso e peso</i>	<i>Gramas computados por arratel</i>
1	Arcaico de 11 libras	2630	2500-1-25/2550	467,83
21	Arcaico de 8 libras	2640	2500-2-18/2568	466,32
13	20 libras de 1590	3640	3600-1-6/3631	454,72
8	20 libras de 1596	3610	3500-1-1/3526	464,41
2	11 libras de 1597	2650	2500-3-9/2584	465,19
20	11 libras de 1597	2700	2600-1-5/2630	465,67

Contando-se todos os seis canhões:

Uniformidade média = 0,97867 libras/arratel, resultando um arratel de 463,5 gramas.

Coefficiente de correlação: 0,99893.

Excetuando-se o nº 13.

Uniformidade média = 0,97385 libras/arratel, resultando um arratel de 465,8 gramas.

Coefficiente de correlação: 0,99992.

O coefficiente de correlação é uma medida do grau de coerência nos valores dos pesos dos canhões, usando uma unidade de medida expressa em termos de outra. Explicando-se de outro modo, se o coefficiente de correlação fosse 1,0000, a divisão do peso em unidades inglesas, de cada um dos seis canhões, pelo seu peso em unidades portuguesas, produziria exatamente o mesmo valor em cada caso, e os valores de gramas computados por arratel seriam idênticos.

Matematicamente, o coefficiente de correlação "r" é expresso pela equação.*

$$r = \frac{m\delta x}{\delta y}, \text{ onde "m" é o grau de inclinação da curva dos pesos}$$

dos canhões em libras (x), em função dos seus pesos em arratéis (y), num diagrama de dispersão de dois eixos, e onde δ representa a raiz quadrada da variância dos pesos em libras (δx), ou arratéis (δy), de acordo com a expressão.

$\delta x^2 =$ variância dos pesos em libras.

$$= \frac{\sum_{i=1}^n y^2}{n} - \bar{y}^2.$$

* Manual de utilização da calculadora TI-55, Texas Instruments (1977).

guês de competência para armas e preparar navios de guerra.

As gravações duplas nos canhões ingleses levantam uma dúvida final. Se descartarmos uma dupla de marcas que está ligeiramente defasada (a correlação chegaria então a .9999), deduzimos o valor de 465.8 gramas para o arratel, o que não corresponde a qualquer valor conhecido pelo autor, pois 459 gramas é o mais comumente atribuído.⁴⁰ Haveria um arratel naval específico ou talvez característico de artilharia secreta? Concebivelmente sim, pois os portugueses eram notoriamente reservados em tais assuntos. Em qualquer caso, o quadro que surge é o de que predominavam grande cuidado e precisão sistemática. Seria mais que acidental que padrões igualmente altos fossem aplicados em Portugal e na Inglaterra? Será que a aliança bissecular entre os dois países, que terminou com a subida de Felipe ao trono português, envolveu colaboração técnica? Somente a investigação futura responderá.

Antes de prosseguir, uma questão relativa à coerência (ou falta de) das unidades de peso. Por conveniência, demos os pesos dos canhões nas unidades portuguesas originais. Nosso propósito é comparativo, e enquanto formos fiéis ao arratel português, ele servirá da mesma forma que qualquer outra unidade. Demos, porém, as *ratings* dos canhões, ou seja, o peso da bala que disparavam, em libras legais inglesas (*avoirdupois*) o que facilita a comparação com os armamentos de navios contemporâneos de outros países. Já que virtualmente todas as referências ao primitivo armamento naval moderno publicadas classificam os canhões em termos de peso de bala em libras legais inglesas, e sendo a diferença pequena em qualquer dos casos, não há razão de agir diversamente.

É também possível que os canhões de 26 libras do *Sacramento* acima discutidos fossem projetados para disparar balas de 25 ao invés de 26 arratéis. O raciocínio por trás dessa especulação baseia-se no valor do arratel calculado acima, nas medições do diâmetro do tubo-alma e nas melhores evidências disponíveis acerca da diferença entre o diâmetro da bala e o do tubo-alma. A conveniência mais segura

dessa diferença, chamada *vento da arma*, é demonstrada por Luís Collado, autor espanhol do final do século XVI, virtualmente o único artilheiro naval profissional que escreveu sobre o assunto em princípios da era moderna.⁴¹ Collado afirma que a bala deveria pesar 10% menos que a alma da peça; em outras palavras, a bala deveria equivaler a 90% do peso de outra bala que preenchesse completamente a alma da peça, valor esse que é confirmado, em linhas gerais por, no mínimo, uma fonte inglesa posterior.⁴² Não há muita dúvida de que as regras de Collado para computar o vento da arma corretamente refletiam o conhecimento acumulado dos melhores e mais experimentados artilheiros navais de sua época, ou seja, as décadas de 1570 e 1580. Os melhores artilheiros e fundidores de canhão certamente apreciavam as vantagens teóricas de um vento da arma reduzido. Maior velocidade inicial a custo de menos pólvora era considerado o benefício principal.⁴³ É provável, também, que as almas dos melhores canhões do *Sacramento* fossem mais aperfeiçoadas do que as da maioria dos canhões dos dias de Collado, e que as balas de meados do século XVII estivessem mais próximas da esfera perfeita que as de um século atrás. Embora esses fatores pudessem ter permitido pequena redução no vento da arma em comparação com o período de Collado (como o permitiram indubitavelmente a longo do tempo⁴⁴), eram de menor importância do que a necessidade de prover espaço livre adequado à acumulação de resíduos de pólvora na alma da peça. Se nossas suposições a respeito do grau de competência dos fundidores de canhões do início da era moderna estão corretas, a correlação entre esses dois fatores era cuidadosamente considerada e pesada.

Se admitirmos que o diâmetro da alma das seis peças de Lucas Matias Escartim era de 5.98" (15,2cm), a bala de 25 arratéis teria conseqüentemente pesado 88% do "peso" da alma, e a de 26, 92%. Na comparação, o valor maior parece mais provável; é, como se esperava, apenas ligeiramente mais apertado do que o valor de Collado, já velho de três quartos de séculos; destarte, nossos canhões

de 26 libras são de 26 libras em ambos os sistemas. A diferença é delicada: estamos tratando de uma diferença total entre vento da arma e diâmetro da bala de apenas cerca de 0.04" (1mm). Ainda assim, temos todas as razões para acreditar que o fundidor do século XVII se empenhava em alcançar, e freqüentemente o conseguia, os padrões de precisão necessários.

Voltando à veia principal de nossa argumentação, a época dos canhões ingleses do *Sacramento* era de deficiência geral de boa artilharia. As proporções eficientes e alto padrão de qualidade dos novos canhões portugueses de 26 e 11 libras tornam claro, *prima facie*, que maior quantidade deles não era utilizada simplesmente porque não havia disponibilidade. Não devemos, entretanto, superestimar tal fato pois a evidência mais persuasiva dessa falta que nos é proporcionada pelos canhões ingleses não diz respeito à sua idade, mas sim ao fato de que três dentre os seis se desviam do presumível padrão de 26 libras para a coberta grande e 11 para o convés.

Se seu estado, após três séculos de imersão em água salgada, é indicador de qualidade, os canhões ingleses do *Sacramento* eram, em cada detalhe, tão bem construídos quanto o restante da artilharia do barco, e mesmo bastante superiores a parte dela. Apesar de sua idade avançada por ocasião do afundamento do navio, eles se encontram atualmente em melhor condição que todas as outras peças, com exceção das de Lucas Matias Escartim e duas das holandesas. Mais significativamente, as quatro peças inglesas datadas são comparativamente leves em termos de peso de projétil.

Os dois canhões de 20 libras de John e Richard Phillips só encontram paralelo nos outros também de 20 libras de bordo; são eles dois canhões holandeses, um fundido por Assuerus Koster em 1634 e outro por Conrad Wagwaert em 1649. Se admitirmos que as inscrições rudemente gravadas nos canhões holandeses, a que anteriormente nos referimos, representam seu peso (hipótese confirmada pelos cálculos volume bruto/densidade, comparando o peso indicado por unidade de volu-

me com o dos canhões portugueses contemporâneos: todos recaem no âmbito de 0,23 lb/pol³ a 0,25 lb/pol³)⁴⁵ obteremos um valor de aproximadamente 190 libras de canhão por libra de bala para os holandeses, e 180 libras para os ingleses. Quando consideramos que 38 anos de aprimoramento se separam os mais novos canhões ingleses dos mais velhos holandeses, e que a crença no desenvolvimento de canhões se dirigia para peças mais leves e mais curtas (ponto esse, relativamente aos canhões ingleses, profusamente documentado por Michael Lewis⁴⁶), a qualidade dos canhões ingleses é evidente. Esse ponto, bem assim a impressão de qualidade, é ainda sublinhado pela comparação entre si dos dois canhões ingleses de 20 libras. O mais novo deles, embora claramente baseado no mesmo modelo (Fig. 5), é significativamente mais fino na direção da boca e mais leve trinta libras. Teriam os irmãos Phillips vagarosa e uniformemente aperfeiçoado seu modelo a proporção que se assenhoravam do processo? Embora uma amostragem de apenas dois e uma diferença de trinta libras representem estreita base estatística para generalizações extensas, é difícil escapar da suspeita de que podemos verificar, nessas duas armas, o incremento de um processo de modificação, com controle extremamente cuidadoso de qualidade, na direção do ideal de leveza e menor comprimento. As proporções virtualmente idênticas dos dois canhões de 11 libras de George Elkin, datados de 1597, reforçam tal suspeita.

A presença de cinco canhões holandeses e seis ingleses na bateria do *Sacramento* traz implícita a carência de boa artilharia. As razões são, no entanto, diversas. Diferentemente dos canhões ingleses, os holandeses não são particularmente antigos. O mais velho foi fundido em 1622 (o de 4 ½ libras não datado, de Assuerus Koster, foi provavelmente fabricado nas décadas de 1630 ou 1640). São, porém, muito díspares no diâmetro da alma e peso da bala, o que é compreensível pelo fato de haverem sido provavelmente obtidos por meio de captura; mas a necessidade de utilizar uma confusa mistura de canhões apressados em vaso de

guerra de primeira classe fala por si mesmo, a menos que a artilharia em questão fosse de boa qualidade, e não há nada a sugerir-lo.

Deixando as duas pequenas peças de convés fora da discussão, pois não dispomos de nada com que compará-las, os dois canhões holandeses de 20 libras iguam-se, apenas, às duas peças dos irmãos Phillips. O de 15 libras encontra paralelo na peça portuguesa fabricada por P. D. B. As proporções desses dois canhões são muito próximas, mas nessa aparentemente favorável comparação deve-se levar em conta que o canhão de P. D. B., embora não datado, é provavelmente o mais antigo dentre os portugueses no *Sacramento*. É mais longo e espesso que os outros canhões portugueses e deles difere, marcadamente, tanto no desenho da capa da culatra quanto na cor e condição de seu metal, o qual é muito corroído e apresenta característica coloração esverdeada. O simples e relativamente pequeno brasão real português na culatra dessa peça é quase idêntico, em desenho, aos dos dois mais velhos canhões ingleses. Seria isto evidência de que o canhão de P. D. B., foi fundido antes de 1580? Talvez; a conclusão, em ambos os casos, é que os fabricantes holandeses seguiam um modelo já abandonado, por obsoleto, na Inglaterra e Portugal. A considerável variação de cor entre as peças holandesas (o de Conrad Wagwaert, de 20 libras, possui um reflexo preto, como que de ébano, e o de Henricus Meurs, de 15 libras, oxidou-se adquirindo coloração verde pastel) sugere que seus fundidores ainda não haviam alcançado o grau de controle sobre a composição da liga já conseguido pelos ingleses e portugueses.

O que é manifesto é que os canhões holandeses diferem notoriamente, em desenho e construção, dos seus equivalentes portugueses. Há razões para acreditar que os métodos holandeses, quaisquer que fossem seus méritos técnicos, produziam um canhão mais caro que os similares portugueses (Fig. 9).

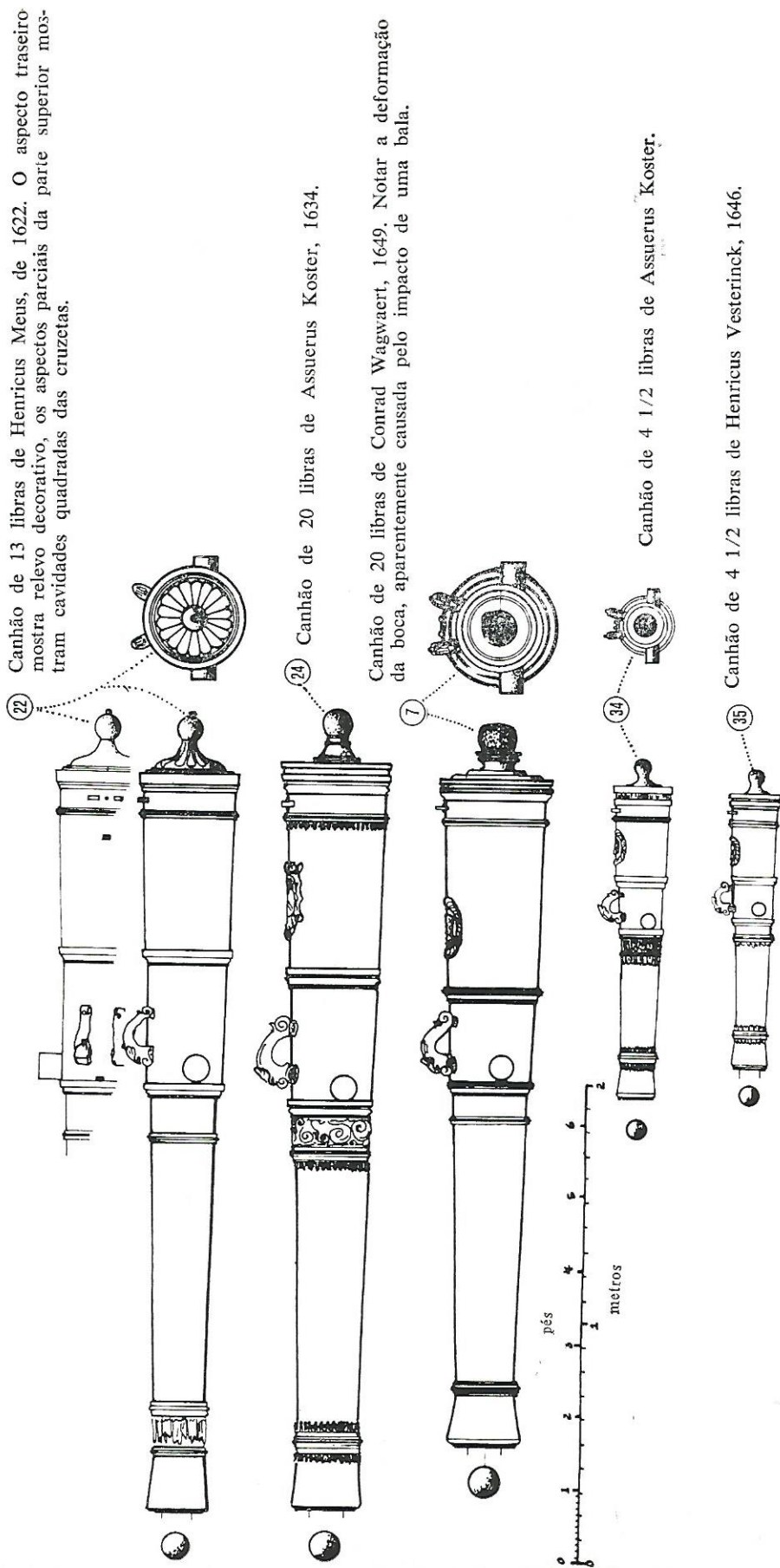
Talvez isso seja injusto para com os fabricantes holandeses. Com a exceção do canhão de 20 libras de Conrad Wagwaert, fundido em 1649, os canhões holandeses

são mais velhos que todos os do *Sacramento* salvo um ou dois dos mais antigos dentre os portugueses, sendo a peça de Wagwaert apenas ligeiramente mais longa e espessa do que esperaríamos de uma contemporânea portuguesa de 20 libras. Vale notar, nesse contexto, que, ao passo que a peça de 20 libras de Assuerus Koster, datada de 1634, é relativamente longa e espessa (e pesada, se nos basearmos nas marcas de peso nele riscadas) para os padrões portugueses, outra peça, de 28 libras de 1649, do mesmo fundidor que se encontra no Museu Naval e Oceanográfico (do Rio de Janeiro) se aproxima das proporções das melhores de 26 libras do *Sacramento*. O que sugere que os fundidores holandeses igualaram seus demais colegas na metade do século. Dentro de um mesmo contexto arqueológico, entretanto, permanece o fato de que os canhões holandeses do *Sacramento* são mais longos e espessos que seus equivalentes portugueses e ingleses, embora os ingleses datem de um quarto de século a meio século anteriormente a eles. Seriam os fundidores desses canhões holandeses relativamente novos na profissão e estariam apenas se aproximando do bom desempenho dos portugueses e ingleses? A pergunta é intrigante e merece exploração.

Numa certa área, a evidência da ineficiência econômica dos holandeses é inegável. Mesmo admitindo uma grosseira paridade na razão peso da bala/peso do tubo-alma, os canhões holandeses devem ter custado significativamente mais caro que seus similares ingleses e portugueses, em termos de horas de mão-de-obra especializada gastas por bala de canhão disparada. Os canhões holandeses são incrustados com ornamentação floral em alto-relevo, inscrições e motivos náuticos muito elaborados para um canhão. A presença de presas de guerra profusamente decoradas nas cobertas de artilharia de um navio de guerra inimigo sugere, convincentemente, que tal ornamentação não se confinava a um punhado de peças selecionadas para amostra. É impressão do autor, firmada nas coleções de museus e solidamente endossada pela bateria do *Sacramento*, que canhões holandeses comuns eram mostruários da arte do escultor de baixos-relevos.

Figura 9

Canhão Holandês Recuperado do Santíssimo Sacramento



Cada um dos cinco canhões holandeses do *Sacramento* é coberto com uma floresta de folhagem entrelaçada, âncoras cobertas de algas, barões do Almirantado e animais mitológicos. A beleza dos resultados fala por si, mas a ornamentação adicionava peso, envolvia mão-de-obra e nada acrescentava à eficiência balística.

Por que os holandeses dedicavam tamanho zelo à ornamentação? Como podem se ajustar o cuidado devotado à decoração com a aparente deficiência na aferição do produto? A óbvia hipótese explanatória é que a mão-de-obra em Amsterdã era mais barata do que em Londres ou Lisboa.

Essa explicação é, no entanto, questionável tanto no terreno tecnológico quanto no econômico. Os fundidores do norte da Europa, entre eles, presumivelmente, os holandeses foram dos primeiros a abandonar os canhões projetados para atirar balas de pedra (pedreiros) (isto, se alguma vez eles adotaram balas de pedra, o que é duvidoso). A principal razão que levou ao abandono das balas de canhão de pedra e dos canhões destinados a atirá-las, foi econômica, ou seja, o elevado custo da mão-de-obra. As balas de pedra eram mais eficientes taticamente do que as de ferro fundido, especialmente no mar. E os canhões projetados para elas necessitavam, para um mesmo peso de projétil, de menos um terço de bronze, vantagem econômica significativa, já que o bronze era caro. Mas o trabalho de um bom canteiro (e era necessária imensa destreza para cortar uma perfeita esfera de pedra nas dimensões exatas) era também caro, e os salários se elevaram precipitadamente no início do século XVI e assim continuaram a fazê-lo durante o século XVII.⁴⁷ Significativamente, os pedreiros caíram em desuso mais cedo em áreas onde a espiral salário/preço avançou primeiro. O noroeste europeu foi a primeira destas regiões. O fato de que as vantagens técnicas e táticas dos pedreiros continuaram a ser exploradas onde as condições econômicas o permitiam proporciona forte, porém indireta, prova da hipótese econômica. Os portugueses continuaram a fundir pedreiros na Índia, muito depois de tê-los abandonado no Ocidente: o mais moderno pe-

dreiro manufaturado por portugueses na Europa, hoje na coleção do Museu Militar de Lisboa, foi fundido em 1578, enquanto na Índia foram eles fundidos ordinariamente até a metade do séc. XVII.⁴⁸ No Império Otomano, continuaram a ser fundidos pedreiros até o século XVIII, pois lá o avanço da espiral salário/preço foi muito mais vagaroso do que no nordeste da Europa.⁴⁹ Em suma, há evidência clara de que o trabalho, tanto em geral quanto no que afetava a fundição de canhões, era relativamente caro no nordeste europeu na metade do século XVII; no entanto, os fundidores holandeses persistiram na trabalhosa prática de decorar seu produto. Por quê?

Estaremos nós lidando com um sistema tecnológico inteiramente distinto, o qual envolve uma tradição independente e separada de fundição de canhões? Seriam os fundidores holandeses (para enfatizar a questão) expoentes românticos de uma tradição obsoleta, enquanto seus colegas ingleses e portugueses eram obstinados realistas, apoiados firmemente na eficiência tecnológica por realidades fiscais?

Embora a pergunta seja especulativa, é certo que as técnicas holandesas de fabricação exemplificadas no *Sacramento* diferem nitidamente da prática contemporânea inglesa e portuguesa em, pelo menos, um ponto importante. Seguindo uma tradição que pode ser recuada até a *de Re Pirotechnia*, de Biringuccio, na década de 1530, os canhões ingleses e portugueses do *Sacramento* eram fundidos com dispositivos (feitos de ferro forjado) para centrar, os moldes macho nos interiores das culatras, aos quais dava-se o nome de cruzeta.

Consistiam de fino anel, cujo diâmetro interno era igual ao da alma da peça, fixado ao molde macho. Do anel projetavam-se, no mesmo plano dele, varas regularmente espaçadas, usualmente quatro, até inserirem-se no molde principal⁵⁰ (Fig. 8).

Na preparação do processo de fundição, o corpo do molde principal era arriado em uma cavidade de fundir, com a boca da arma para cima. O molde macho era, a seguir, arriado no interior do molde principal, fixado e centralizado na boca

FIGURA 8
Esquema do Molde dos Canhões Portugueses

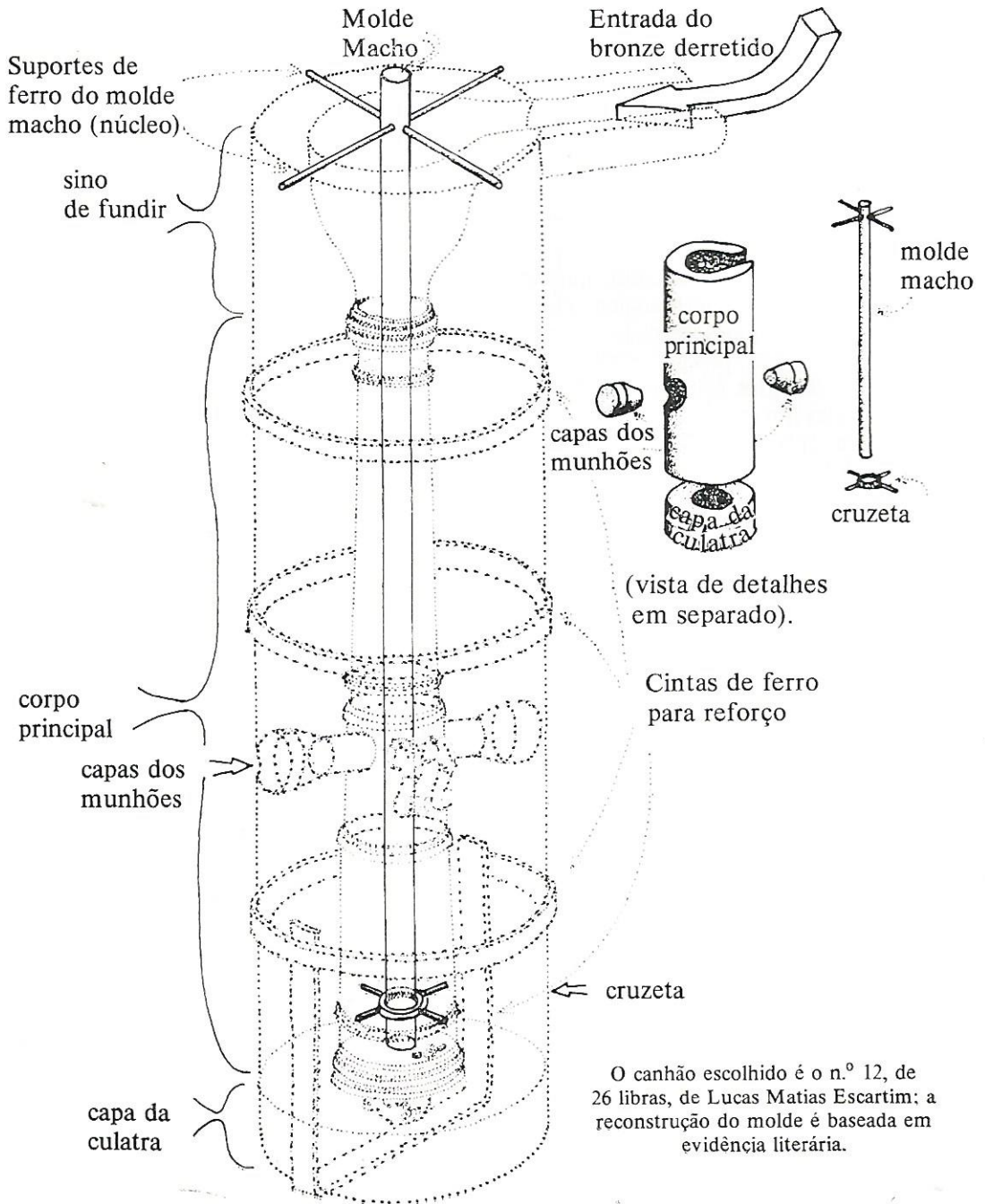
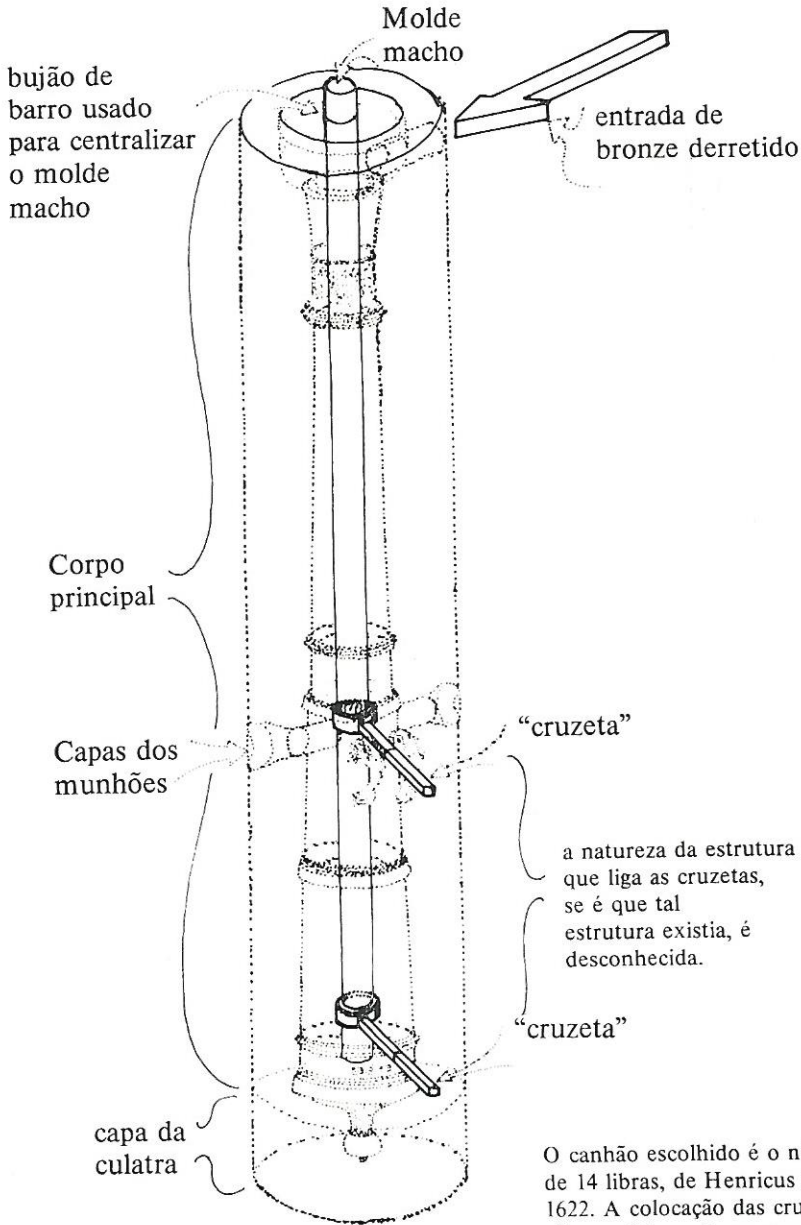


Figura 8a
Esquema do Molde dos Canhões Holandeses



O canhão escolhido é o n.º 22, de 14 libras, de Henricus Meus, de 1622. A colocação das cruzetas gêmeas é baseada no exame do canhão; suas dimensões externas são hipotéticas.

deste por meio de suportes externos, provavelmente varas de ferro que atravessavam a parte saliente do molde macho e as paredes do molde principal, indo fixar-se no sino de fundir.⁵¹

As capas dos munhões eram então colocadas no molde principal (construído em forma de manga, aberto na culatra, na boca e nas extremidades dos munhões). Em seguida, a cruzeta, introduzida pela parte inferior, era encaixada no molde macho e os espaços livres conferidos para garantir que as varas que se projetavam do anel da cruzeta mantinham o núcleo corretamente centralizado. Após haver-se assegurado que o molde estava seco, desobstruído e isento de substâncias estranhas que ali pudessem haver caído, a capa da culatra era presa ao fundo, as últimas camadas de material de reforço aplicadas a volta do molde já montado e secadas por meio do calor.

Quando o canhão era fundido, a cruzeta permanecia embutida no metal dele. Por dispor o autor de tempo limitado para a pesquisa, e não haver esgotado o estudo do significado do antigo desenho da cruzeta e de sua localização, a investigação acerca delas restringiu-se a esforços para localizar as pontas externas das suas varetas. Isto foi levado a cabo visualmente, examinando-se o local onde as varetas se corroeram, deixando orifícios (são estes tipicamente redondos, medindo 3/4 de polegada (1,5cm) de diâmetro), ou utilizando-se de magnetômetro (um simples detector de pregos) nos locais onde elas não deixaram marcas.

Esse método apresentou problemas. É digno de nota que poucas cruzetas deixaram de corroer-se; as que não se danificaram são difíceis de ver-se (em certos casos, isto é impossível). Sua atração magnética é débil (o assistente do autor, o Cabo da Marinha do Brasil Ideraldo Barbosa de Souza, obteve maior sucesso que ele, tanto na inspeção visual quanto no exame pelo magnetômetro). Isto representou pouco problema quando se trataram dos canhões portugueses menos antigos, de 26 e de 11 libras. Nessas peças, a colocação da cruzeta era regular, e a área de pesquisa magnética pode ser consideravelmente reduzida. Em todas aquelas

peças, a colocação das pontas cruzetas ao longo do eixo longitudinal do tubo-alma era coerente; também o arranjo angular das quatro pontas da cruzeta no plano transversal correspondia exatamente às posições horárias de 1:30, 4:30, 7:30 e 10:30, se olhado o canhão pela parte posterior e visualizando a culatra como se fosse o mostrador de um relógio. As variações na disposição radial das pontas das varetas, em relação a esse esquema ideal eram, geralmente, menores que trinta minutos no mostrador do relógio imaginário, embora, em alguns casos, atingissem uma hora de diferença. Esse índice de variação sugere que as cruzetas eram encaixadas individualmente depois de os moldes terem sido instalados, subentendendo-se que considerável esforço era despendido para assegurar a centralização correta do molde macho.

Isto faz sentido, porquanto a espessura da parede do tubo-alma na culatra era a mais crítica dimensão isolada do canhão.⁵²

Nos canhões portugueses mais antigos a colocação da cruzeta era menos padronizada. Em vários casos parece que as cruzetas tinham apenas três pernas, embora seja provável que algumas das "quartas pernas" em falta não pudessem ser localizadas por estarem na parte inferior das culatras de canhões (assentes no chão), que não puderam ser levantados para exames. As varetas das cruzetas dos canhões ingleses foram especialmente difíceis de localizar; em consequência, há possibilidade dos irmãos Phillips terem usado desenho com apenas duas varetas horizontais opostas.

É, no entanto, evidente que os fundidores dos canhões portugueses do *Sacramento* e de, pelo menos, quatro dos seis canhões ingleses mais recentes, trabalhavam dentro da mesma tradição quanto ao desenho e colocação das cruzetas. Os canhões holandeses constituem história à parte. Os dois pequenos, de 4 1/2 libras, parecem ter cruzetas muito semelhantes às das peças inglesas e portuguesas do *Sacramento*; é possível que o de 20 libras de Conrad Wagwaert, datado de 1649, também as tenha (indicações magnéticas da presença de ferro foram encontradas

em apenas um ponto, o qual era compatível com a prática anglo-portuguesa). As duas outras peças holandesas, porém, foram fundidas contendo uma espécie de estrutura de ferro no interior do metal do tubo-alma, posicionada próximo à metade dele. Isto é mais aparente ainda na peça datada de 1622, fabricada por Henricus Meurs, a qual possui duas cavidades quadradas, medindo cerca de 1" \times 3/4" (2,5cm \times 2,0cm) na parte superior da alma, uma adiante do ouvido da peça e a outra entre os golfinhos. O de Assuerus Koster, de 20 libras, datado de 1634, possui duas varetas de cruzeta convencionalmente posicionadas nas 10:30 e 1:30 horas, mas há evidência magnética de grande massa de material ferro-magnético na parte superior do tubo-alma, entre os golfinhos de içar. Essa última indicação é particularmente enigmática: o canhão em questão foi bem limpo e polido (é mantido em local coberto no Comando do Segundo Distrito Naval, em Salvador), não podendo haver dúvida, portanto, quanto à qualidade e à aparência da superfície da arma; no entanto, não há qualquer evidência visual ou tátil de algo além de bronze na área dos fortes indícios magnéticos.

Teria sido a peça de Assuerus Koster, de 1634, fundida com uma estrutura de ferro que flutuasse livremente dentro da alma? Teria sido fundida com estrutura de ferro introduzida no molde principal, que houvesse sido cortada após a fundição e raspada até formar uma depressão, posteriormente cheia com bronze derretido? A primeira hipótese parece improvável, se considerada em termos estruturais; que bons resultados teria produzido uma estrutura de ferro assimétrica dentro do tubo-alma, uma vez que as únicas indicações magnéticas são na posição de 12:00 horas? A segunda, também parece improvável, em face do trabalho que requeria. Tudo que podemos afirmar, com certeza, é que alguns fundidores holandeses usavam uma segunda estrutura, em forma de cruzeta, embutida no metal do canhão, aproximadamente à altura da metade da alma, e que, em alguns casos, se aproximava da superfície do canhão (quando não a alcançava), na posição de 12:00 horas, entre os golfinhos.

Os fundidores holandeses exemplificados na artilharia do *Sacramento* certamente engastavam mais ferro sob a superfície dos canhões que seus contemporâneos anglo-portugueses. Por quê? Será que eles usavam uma segunda cruzeta a fim de poupar o uso de suportes externos para o molde-núcleo? Uma segunda cruzeta dispensaria a utilização do *sino de fundir*, poupando o bronze e o combustível necessários à fundição? Essa hipótese se harmoniza com o comprimento relativamente maior das peças holandesas, pois um tubo-alma relativamente longo também servia como sino de fundir: uma coluna mais alta de metal derretido produzia culatra mais densa e forte. Tal prática, porém, no final das contas, ter-se-ia mostrado ineficiente, em termos de consumo de bronze, pois a altura do sino de fundir podia variar livremente sem alterar as proporções da alma, e o bronze contido no sino poderia ser derretido e reutilizado depois de cortado. A única vantagem econômica plausível nesse método seria o baixo consumo de combustível, pois menor quantidade de bronze teria que ser derretida para cada canhão. É difícil imaginar que essa vantagem tenha sido importante, a não ser em operações em escala reduzida ou então em lugares onde o carvão vegetal fosse muito caro. Isto pode representar um indício útil. Existia um mercado internacional do bronze e dos metais utilizados em sua fabricação, o cobre e o estanho; tratavam-se de matérias-primas de pequeno volume e alto valor que podiam ser transportadas economicamente por longas distâncias.⁵³

Dado o fato de que, presumivelmente, os Países-Baixos não possuíam uma reserva de carvão superior a Inglaterra, e já que sabemos que as reservas inglesas para fins industriais exauriram-se efetivamente antes de 1600 (um dos mais importantes efeitos desse esgotamento foi a eliminação da Inglaterra como um agente do comércio exportador internacional de artilharia⁵⁴), a vantagem econômica citada acima faz sentido. Embora os holandeses pudessem, presumivelmente, importar combustível da Alemanha ou de outro país, o impacto do custo do frete no custo da mercadoria (matéria-prima de baixo vo-

lume e relativamente baixo valor) teria sido considerável.

Entretanto, o fato é que os holandeses continuaram a fundir canhões que podiam efetivamente competir, com os de seus inimigos, conquanto pudessem ser caros. Devemos lembrar também que os holandeses eram especialistas no comércio marítimo de mercadorias de grande volume e baixo valor e que foram capazes de manter, genericamente, balança comercial favorável, a despeito das dificuldades. Se algum país tivesse recursos para utilizar o caro carvão importado, no século XVII, este seria a Holanda. Os fatos mais relevantes para a nossa análise, porém, são as proporções e o modelo aparentemente ineficientes da artilharia holandesa.

Estariam os holandeses, relativamente neófitos na fundição de canhões, usando boa tecnologia, embora economicamente ineficiente quando alcançaram os outros países? Há evidência adicional a fundamentar essa hipótese nos dois mais antigos canhões ingleses do *Sacramento*. Ambos mostram, da mesma forma que os holandeses, sinais de grande quantidade de material ferro-magnético embutido no bronze, nesse caso localizando-se nas capas das culatras, nos munhões e nas argolas utilizadas para suspender o canhão. Nossos métodos de investigação, relativamente primitivos, impedem conclusões posteriores; um detector não é capaz de reagir a ferro que se encontre mais distante que uma polegada (2,5cm), não importando qual seja a quantidade existente. Assim, podemos estar certos apenas de que há material ferro-magnético sob uma grande parte da superfície desses canhões, principalmente em áreas onde era necessária alta resistência.

Seriam esses canhões fabricados com estrutura reforçada, composta de ferro forjado entremeadado no bronze? Possuiriam as armas holandesas indícios de uma estrutura interna de ferro similar à que acabamos de cuidar? Embora não haja qualquer documento escrito dessa combinação, a idéia é intrigante. A persistência, durante longo tempo, de anéis de reforço não funcionais nos tubos-alma de bronze sugere a continuidade de tradição em de-

senho que pode ser buscada nas bombardas de ferro forjado dos séculos XIV e XV, as quais possuíam argolas encaixadas a quente bastante funcionais. A combinação ferro-bronze no mais antigo canhão inglês do *Sacramento* pode representar o fio da meada na tradição de desenho e fabricação que postulamos. Um cuidadoso reexame da artilharia contemporânea em coleções espalhadas pelo mundo a luz do que aqui encontramos deveria testar essa hipótese.

Sabemos que a tradição em fundição de canhões aqui descrita e cujo passado remonta a Biringuccio não era a única. Embora saibamos que, por fim, tornou-se a tradição dominante, pelo menos na Europa, não podemos dizer quando ou como ela prevaleceu. Em resumo, não sabemos as relações entre essa tradição básica de fundição de canhões e as outras que conhecemos.

Dentre essas tradições rivais, a melhor documentada talvez seja a utilizada pelos otomanos nos canhões projetados para lançar grandes balas de pedra. Tais armas eram fundidas tendo suas culatras um pouco elevadas dentro da cavidade de fundição, arranjo esse que permitia paredes de alma relativamente finas adiante da câmara de pólvora, resultando em significativas economias na quantidade de bronze necessária por peso de bala.⁵⁵ Esse método permaneceu viável enquanto a mão-de-obra era barata e o bronze caro, continuando a ser empregado no Império Otomano até o século XVIII.⁵⁶ Há sinais de evidência: a colocação da cruzeta otomana em canhões projetados para balas de ferro variou, pelo menos em alguns casos, em relação ao costume que aqui descrevemos, sendo que não menos de cinco pernas foram constatadas na superfície da culatra de um exemplo.⁵⁷ Pelo menos alguns dos canhões para balas de pedra otomanos eram fundidos com a culatra para baixo, o que é indicado pela existência de cruzetas.⁵⁸ A evidência aqui citada de uma tradição holandesa independente relativa à colocação de cruzetas é inequívoca, e pode ser indicadora de diferenças em outros aspectos, tais como composição da liga metálica.

Podemos apostar, com segurança, que haviam outras tradições no desenho e fundição de canhões de bronze que permanecem desconhecidas, talvez incluindo uma tradição ancestral que foi superada por razões de cunho econômico. O que é suficiente para sugerir que se façam pesquisas em canhões de bronze primitivos pelo mundo afora, como um primeiro passo para o desenvolvimento de hipóteses acerca das origens dos canhões e da pólvora, área que, malgrado sua importância histórica, tem sido muito mais sujeita à especulação desinformada do que à séria investigação sábia.

Assim, terminamos nossa análise onde começamos, ou seja, com a importância da artilharia antiga em geral e do primitivo canhão da era moderna em particular. Por meio do estudo dos canhões pertencentes aos conveses de artilharia do *Sacramento* validamos velhas hipóteses e desenvolvemos algumas novas a fim de aplicá-las ao escrutínio de armas e artilharia primitivas. Elas nos levam a um número de conclusões gerais:

Sabemos agora que a primitiva artilharia de bronze, ao menos a de melhor qualidade, podia permanecer em serviço ativo por muito mais tempo do que supúnhamos, talvez por mais de um século. Disso suspeitávamos anteriormente, porém sem o suporte de evidência inequívoca. Quão excepcionais seriam os dois arcaicos canhões ingleses do *Sacramento*? Não sabemos dizer, mas sua presença a bordo de um vaso de guerra em serviço mais de um século depois da sua fabricação, o que está positivamente confirmado pelo contexto arqueológico, nos diz muito mais do que poderíamos supor.

Isto sugere, assim, que o melhor canhão de bronze do século XVI era pouco inferior (se o era) ao seu equivalente do século XVII e era, certamente, melhor que a média deste último século. Estamos, pois, indo contra a idéia usual de que a tecnologia avança por melhoramentos qualitativos nas possibilidades técnicas e nas características de amostras individuais do item tecnológico em questão. Nesse caso, a implicação é que a evidência de avanços na tecnologia de canhões

deveria ser buscada nas melhorias de alcance, precisão e capacidade destrutiva, ou nas reduções relativas em tamanho e peso. Fatores econômicos e considerações quantitativas normalmente recebem pouca atenção. Isto, no entanto é contrariado pela mostra da bateria do *Sacramento*. A asserção de que técnicas de fundição primitivas possam ter produzido artilharia tecnicamente superior usando métodos de trabalho intensivos, que não puderam ser conservados em face da espiral salário e preço do final do século XVI e do século XVII, é sustentada pela longa permanência em serviço de canhões com características arcaicas de fabricação. E essa sobrevivência no exigente serviço do mar é testemunha eloqüente de qualidade técnica; o desaparecimento de certos métodos de fabricação não foi, conseqüentemente, relacionado com a excelência técnica ou a eficácia tática. A hipótese mais razoável é o custo, cuja causa próxima era a elevação do preço da mão-de-obra, fator esse que foi compensado, senão totalmente, pelo menos em parte, por substanciais economias, porquanto o investimento de capital aumentou e a fundição de canhões passou da escala artesanal à industrial.

O grau de controle que, pelo menos, os melhores fundidores portugueses e ingleses representados na bateria do *Sacramento* exerciam sobre as características físicas do seu produtor sugere que os historiadores de tecnologia e ciência em muito subestimaram o fundidor de canhões do princípio da era moderna. O cuidado evidente e a precisão com que os ingleses e portugueses ao menos pesavam sua artilharia naval sugere que o marinheiro, o construtor naval e o artilheiro dos primórdios da época moderna têm sido, igualmente, subestimados. Embora seus esforços não fossem dirigidos — tanto quanto sabemos — por elegantes teorias de balística interna, metalurgia ou relação entre esforço e deformação no interior de canos de paredes espessas, a aplicação, pelos mesmos, do progressivo desenvolvimento baseado na experiência e erro e auxiliado por estrito controle de qualidade alcançou muito sucesso. O fato de não podermos, até hoje, elaborar uma teoria coerente capaz de explicar a decomposição explosiva da pólvora negra⁵⁹, ou de

predizer os limites seguros da pressão na câmara em canhões de bronze fundido⁶⁰, leva a crer que esse é um campo aberto ao sério estudo por parte de especialistas. A importância histórica da artilharia de bronze alia-se à inabilidade da historiografia tradicional em explicar como e porque a primitiva artilharia de bronze era fabricada daquela maneira para sugerirem-nos a possibilidade de uma mudança de metodologia para que possam assim surgir resultados. É óbvio que o desenvolvimento nos métodos de fundição de canhões não ocorreu uniformemente na Europa e no restante do mundo. Ao contrário, há evidência clara e inequívoca de várias tradições independentes de fundição de canhões.

Pelas amostras disponíveis, a tradição inglesa parece ter avançado mais no século XVI, talvez em conjunto com a portuguesa. Os holandeses, diversamente, parecem ter ficado atrás dos portugueses, pelo menos, na primeira metade do século XVII, preservando uma tradição independente e produzindo canhões mais longos e volumosos que os equivalentes portugueses e também, provavelmente, mais caros em termos de homem-hora de trabalho.

A crença de que Portugal se achava desesperadamente carente de artilharia em seguida à Restauração de 1640 é firmemente confirmada pela evidência da bateria do *Sacramento*. Apesar da comprovação de que os fundidores e os mestres construtores navais portugueses estavam conscientes da importância da padronização da artilharia, e de serem tecnicamente capazes de conseguí-la, o *Sacramento* tinha a bordo uma surpreendente diversidade de armamento. Quase metade de sua artilharia era de ferro fundido e grande parte da artilharia de bronze representa claramente aquilo que se encontrava disponível ao invés daquilo que seria preferível. O inequívoco testemunho da competência técnica portuguesa que nos é dado pelos exames dos canhões do *Sacramento* torna a evidência de escassez ainda mais persuasória.

Os itens acima levam a outra conclusão, talvez a mais fundamental de todas. Efetivamente tudo o que aprendemos no convés de artilharia do *Sacramento* é for-

temente colorido (se não for exclusivamente derivado) pelo contexto arqueológico. Tivessem nossos canhões sido preservados independentemente e estudados individualmente, fora do contexto proporcionado pela arqueologia marítima, as conclusões teriam sido bastante diferentes e muito mais limitadas. Não é exagero afirmar que a aplicação da arqueologia marítima transforma o estudo da primitiva artilharia moderna, de um exercício técnico de valor limitado em potencialmente poderosa fonte para o historiador da História Sócio-econômica e, do mesmo modo, para o estudioso da arquitetura e armamento navais.

Muito ainda nos resta a saber dos canhões que afundaram ao largo da foz do Rio Vermelho naquela fatídica noite de maio de 1668. A medição e o exame cuidadoso dos interiores das almas das peças seria, obviamente, o passo seguinte. Isto aumentaria significativamente nosso conhecimento acerca do desenho das cruzetas, que é um item particularmente interessante nos canhões holandeses. Permitiria ainda o exame da colocação do ouvido no interior da alma da peça, provavelmente a característica dimensional mais crítica que se segue à espessura da parede do tubo-alma na culatra.⁶¹ Isto também lançaria alguma luz sobre o formato interno da câmara, área crítica no projeto de canhões, mas sobre a qual quase nada é sabido até o presente. O trabalho necessário para limpar as almas das peças não seria grande e o problema de imaginar instrumentos especiais que permitissem a inspeção visual e a medição dessas partes não seria difícil.

Pesar os canhões e conhecer seus volumes pela determinação da quantidade de água deslocada é outro passo que pode ser dado sem que se necessite de recursos técnicos de monta. Uma balança industrial e um tanque d'água graduado seriam suficientes. O conhecimento dos pesos e densidade dos canhões estimularia nossa análise dimensional comparativa permitindo, por exemplo, estimativas precisas da proporção não estrutural de bronze utilizada em suplementos decorativos e ornamentação.

Métodos mais sofisticados de determinar a colocação e a quantidade do ferro no interior dos tubos-alma dos canhões de bronze deveriam ser possíveis, a começar por cálculos de densidade específica baseados nas determinações de peso e volume sugeridas acima, e estendendo-os a determinações experimentais dos centros de gravidade.

Finalmente, a retirada de pequenas amostras de metal de partes do canhão cuidadosamente escolhidas para análise espectroscópica, química e micrográfica conduziria a uma enorme ampliação da compreensão da metalurgia do canhão de bronze e, daí, à ampliação da compreensão do conhecimento dos fundidores e de sua arte. Amostras de apenas 20 miligramas, cortadas com a ajuda de brocas, e contendo quantidade de metal equivalente a uma ponta de lápis, são suficientes para análise espectroscópica. Amostras ligeiramente maiores são suficientes para análise química quantitativa e qualitativa. Embora a retirada do metal das peças devesse constituir um derradeiro passo e ser feito à luz das demais evidências, a experiência do autor sugere que muito pode ser aprendido por esse caminho.⁶² Que elementos se encontram presentes no metal do canhão? Com que precisão o método de um fundidor controlava a composição de sua liga? Como variava a composição da liga nas diferentes partes do canhão? Por fim, e talvez principalmente, como essas variações na composição do metal nas diferentes partes do canhão afetavam a resistência da alma? As respostas a esta última pergunta, que podem implicar em metalurgia e análise experimental de tensão, não serão obtidas facilmente; um teste de resistência à destruição feito em pequenas barras de bronze, especialmente fundidas para reproduzir a composição do metal de determinados locais de alguns canhões seria necessário para que se conseguisse um perfil estrutural compreensivo do canhão. Embora não seja nem barato nem fácil, o processo certamente em muito aumentaria nosso conhecimento em algumas áreas.

Nossa última pergunta é impressionista e romântica, ao invés de quantitativa

e calculista. Que espécie de navio era o *Santíssimo Sacramento*? Como era ele? Como operava? Como era o trabalho nos conveses da bateria?

Podemos oferecer algumas sugestões baseadas nas limitadas evidências de que dispomos. Devemos começar com uma conjectura acerca da capacidade. Não importa o quanto o comando do *Sacramento* estivesse mal informado na noite do naufrágio, aquela inépcia deve ter sido excepcional. Os holandeses, afinal de contas, não eram relaxados; na guerra naval, eles tanto bateram quanto apanharam de oponentes muito competentes. Não há qualquer razão para supor que eles tenham enviado um segundo time para o Sul, enquanto seus melhores navios e marinheiros tivessem que roer o osso duro da esquadra inglesa no Canal 1. Não apenas a cronologia vai contra essa suposição, mas também o fato de que os holandeses não costumavam agir assim. Os portugueses capturaram o que de melhor a Holanda tinha para oferecer (pelo menos o que melhor era capaz de operar efetivamente a tão grande distância da Zelândia e do Scheldt), e de uma posição muito frágil, bateram os holandeses com suas próprias armas. A exaustiva e sofrida guerra ao longo da costa brasileira e nas rotas que ligavam Brasil e Portugal não corria à revelia dos portugueses.

Os artilheiros do *Sacramento* eram, destarte, liderados de forma competente. Eram homens que sabiam usar seus canhões com notável efeito tático. Tinham que ser bons, pois qualquer outro arranjo que queiramos dar à artilharia nos conveses — e qualquer deles é altamente experimental dada nossa relativa ignorância acerca dos canhões de ferro fundido do galeão — insinua sérios problemas operacionais. A proximidade entre canhões de calibres diferentes, os quais necessitavam diferentes quantidades de pólvora e pás de carregamento de tamanhos diversos, apresentaria dificuldades sob as melhores condições. Em meio do combate, como eram a bala e a carga de pólvora corretamente encontradas para os diversos calibres de canhões num convés onde o barulho era caoticamente ensurdecedor e estava cheio de fumaça? Quem supervisio-

nava a retirada da bala da prateleira de projéteis? Teriam os artilheiros verificados de projéteis para livrá-los de possíveis erros? Nenhuma foi achada no naufrágio, o que não é necessariamente conclusivo pois poderiam ser de madeira. Parece que os artilheiros do *Sacramento* não se utilizavam do quadrante de artilheiro, embora essa afirmação também possa ser qualificada de não conclusiva. Ao menos em certos casos, eles usaram *agulhas de artilheiros*, *adagas* calibradas de medir e cavivete de cobre para abrir cartuchos.

Mais diretamente, quem decidia a localização de cada canhão e sob que critério? As inscrições de peso cuidadosamente gravadas nos canhões portugueses e ingleses dão a entender uma poderosa direção centralizada de considerável sofisticação e competência; os pesos gravados de maneira mais rude nas peças ho-

landesas capturadas sugere que a maior parte dessa competência e sofisticação foram aplicadas no mar.

Qual seria a opinião no convés de bateria acerca dos méritos relativos da artilharia portuguesa, holandesa e inglesa? Será que se equiparava com a nossa? Que grau de consciência teriam os oficiais e homens do *Sacramento* acerca da escassez de canhões que afligia sua nação e seu navio?

As respostas a essas perguntas perderam-se no tempo, mas nos devemos continuar questionando, pois nós que escrevemos e estudamos temos uma dívida para aqueles dos quais retiramos nossa evidência. Podemos aprender a partir do conhecimento das conseqüências de suas ações. Nesse sentido, a guarnição dos conveses de artilharia do *Sacramento* e os homens que fundiram seus canhões ainda vivem.

NOTAS

- 1 — É o caso dos artigos de BASS, George F. e NICKIN, Charles R., *New Tools for Undersea Archaeology. National Geographic*, vol. 134, nº 3 (set. 1968) e de FROST, Honor, *The Punic Warship Re-erected in Marsala. The Mariner's Mirror*, vol. 56, nº 1 (fev. 1977), p. 37.
- 2 — Distinguem-se o trabalho de MARTIN, Colin, *Full Fathom Five: Wrecks of the Spanish Armada* (Londres, 1975) e o mais recente de STÉNVIT, Robert, publicado na *National Geographic. The Sunken Treasure of St. Helena*, vol. 154, nº 4 (out. 1979).
- 3 — O trabalho de ALLEN, Geoffrey e David, *The guns of Sacramento* (Londres, 1978) é ímpar quanto à descrição de um esforço arqueológico no mar voltado para a recuperação e análise de artilharia. Embora a identificação dos Allen de pertencerem os destroços ao galeão português *Santíssimo Sacramento*, perdido ao largo da costa Leste africana, próximo a 34º de latitude sul, em 29 de junho de 1644, tenha sido questionada, penso que o argumento dos autores seja convincente. Existem paralelos marcantes entre o *Sacramento* de Allen e o de nossa análise (os nomes são iguais por coincidência); *Santíssimo Sacramento* (com pequenas variações) foi nome comum em navios de guerra português (nada menos do que cinco galeões destinados à Índia receberam esse nome) entre 1629 e 1692, informou-se por carta o Prof. T. Bentley Duncan, do Departa-
- mento de História da Universidade de Chicago; transcrevo-a integralmente na nota 21. Além de tais paralelas, os naufrágios estão separados por apenas duas décadas. A oportunidade de estudo comparativo entre a prática portuguesa de fundição no Oriente e em Portugal é atraente; propus fazê-lo em conjunto com o Sr. David Allen.
- 4 — A utilização eficaz da artilharia a bordo de navios antecedeu ao *Mary Rose* de, no máximo, uma década. A prova do emprego de portinholas estanques, evolução inequivocamente ligada à bordada de artilharia, é insuficiente e duvidosa antes dos dias do *Mary Rose*, embora haja certeza de que este era provido de portinholas. Ver RULE, Margaret. *An Early Oun-Port Lid. The Mariner's Mirror*, vol. 62, nº 2 (maio de 1976), p. 184-5.
- 5 — BIRINGUCCIO, Vannoccio, *The Pyrotechnia*, traduzida por SMITH, Cyril S. e GNUDI, Martha T. (Nova Iorque, 1942), com base na edição de Veneza, 1540. Para o desenvolvimento técnico da artilharia de bronze antes que o desenho se cristalizasse nas linhas aqui descritas, ver MULLER, Heinrich. *Deutsche Bronzegeschützrohre 1400-1750* (Leipzig, 1969).
- 6 — MAHAN, Alfred Thayer, *The Influence of Seapower Upon History, 1660-1783* (Boston, 1890), p. 10, 21-2, onde Jomini é citado para provar que a influência de mudanças em potência de fogo é peque-

- na em "...grandes operações estratégicas e em grandes combinações de batalhas."
- 7 — Para uma crítica incisiva dos pontos de vista de Mahan, ver SYMCOX, Geoffrey, *The Crisis of French Seapower 1688-1697, From the Guerre d'Escadre to the Guerre de Course* (Haia, 1974), p. 228: "A mentalidade conservadora de Mahan e sua falta de interesse pelos aspectos tecnológicos impediram-no de ver as mudanças contínuas que se produziram na guerra naval. Seu livro, *The Influence*, não trata nem de canhões nem de velas, nem de aparelho, nem de provisões... As esquadras do século XVII não poderiam ganhar e manter o domínio do mar da maneira exposta em sua doutrina: provas cabais são Beachy Head e La Hogue."
- 8 — LEWIS, Michael. *Armada Guns, A Comparative Study of English and Spanish Armaments* (Londres, 1961), p. 167 é um exemplo, embora a afirmação de que canos longos acarretem máximo alcance esteja implícita ao longo de todo seu trabalho. Essa crença é levada ao extremo em MUÑIDO, Olesa. *La galera en la Navegación y el Combate* (Barcelona, 1971), vol. I, p. 102-3, onde ele conclui, *a priori*, que as colubrinas espanholas possuíam alcance maior que as venezianas por serem mais pesadas. Entretanto, Luis Collado, artilheiro espanhol contemporâneo, considerava o peso e o comprimento maiores dos canhões espanhóis nada mais que um estorvo, *Platica Manual de Artilleria* (Milão, 1592), *Tractado II, Capítulo II*, folio 8, e explicitamente os considera inferiores em qualidade aos venezianos. Grande parte da discussão dos estudiosos sobre o alcance tem sido baseada nos valores máximos das "tabelas de alcance" encontradas em muitos trabalhos dos séculos XVI e XVII sobre balística e artilharia. Salvo a exceção ocasional de valores de alcances de tiro direto, essas tábuas são inteiramente fantasiosas, contendo alcances máximos que só poderiam ser obtidos com velocidades iniciais de cerca de 6.000 pés por segundo (2.360 metros por segundo), quase seis vezes mais que a velocidade do som. Esse número foi fornecido ao autor por J. W. Kochenderfer e seus companheiros da Divisão de Tabelas de Tiro do Laboratório de Pesquisa Balística do Exército Americano, Campo de Provas de Aberdeen, Maryland, USA, na primavera de 1970, com base no uso da teoria balística ortodoxa exposta por LIESKE, Robert F. e REITER, Marly R., *Ballistic Research Laboratory Report No. 1314, Equations of Motion for a Modified Point Mass Trajectory* (Aberdeen, março, 1966), aceitos os coeficientes de resistência para projetis esféricos. De fato, velocidades iniciais acima de 1.500 pés por segundo (590 metros por segundo) eram provavelmente raras, e qualquer coisa além dos 2.000 pés deve ser considerada suspeita. Ver RODMAN, Thomas Jefferson, *Reports of Experiments on the Properties of Metals for Cannon and the Qualities of Cannon Powder...* (Boston, 1861), p. 106-9, para os resultados de testes calibrados de tiros com pólvora negra e projetis esféricos. Os testes de Rodman não produziram velocidades além de 1.400 pés por segundo (551 metros por segundo).
- 9 — *O Army Material Command Pamphlet AMCP 706-150 Engineering Design Handbook, Ballistic Series, Interior Ballistics of Guns*, (fev. 1965), apresenta útil discussão das características de combustão de propelentes compostos artificiais.
- 10 — O melhor tratamento dado a esse complexo e mal interpretado assunto de que tenho notícia é dado por HARRIS, L. E., LANNON, J. A., FIELD, R. e HUSTED, D. *Spectrographic Investigation of the Combustion of Black Powder Journal of Ballistics*, vol. II (1978), p. 353-91; dado que este estudo diz respeito, principalmente, à iniciação e química da combustão, a discussão nele contida acerca do efeito da pressão na reite de combustão da pólvora negra deve ser especificada. Ver GUILMARTIN, John F. Jr., *Gunpowder and Galleys* (Cambridge, 1974), p. 277-83, para uma discussão completa dos fatores envolvidos, e particularmente p. 282 para os resultados experimentais indicativos de que, acima de pressão básica de aproximadamente 200 libras/polegada quadrada (14.06 kg/cm²), a mesma cessa de produzir efeito sobre a reite de combustão da pólvora negra. Embora tenha mais de um quarto de século, BLACKWOOD, J. D., e BOWDEN, F. P. *The Initiation, Burning and Thermal Decomposition of Gunpowder, Proceedings of the Royal Society, Series A, Mathematical and Physical Sciences*, nº 114, v. CCXII (8 de julho de 1952) continua sendo estudo fundamental do tema.
- 11 — O que já era sabido pelos conhecedores de balística e artilharia na última metade do século XIX. Ver por exemplo, BENTON, J. G., *A Course of Instruction in Ordnance and gunnery...* (Nova Iorque, 1862), p. 29, 126 a 129 e RODMAN, ... *Cannon Powder*, p. 195 e seguintes.
- 12 — A principal causa da imprecisão era a instabilidade aerodinâmica de um projetil esférico. Uma bala saindo da boca do canhão com pouca ou nenhuma rotação "vagueará" irregularmente e imprevisivelmente, como o arremesso de baseball conhecido por *Knuckleball* (o qual, atirado com um mínimo de rotação, é um bom arremesso porque seu trajeto é imprevisível mesmo para o arremessador!). Qualquer rotação que a bala adqui-

risse pelo contato com as paredes do cano sê-lo-ia em relação a um eixo perpendicular à trajetória, fazendo a bala desviar-se, imprevisivelmente, para a direita ou esquerda, como numa tacada de golfe.

Outra causa da imprecisão era o *ballooting*, ou seja, o choque da bala contra um e outro lado da alma da peça, problema inevitável já que a bala tinha que ter diâmetro menor para evitar que engastasse no cano. Esse problema era explicitamente reconhecido embora não se encontrasse solução para ele; ver COLLADO, Luís, *Platica Manual de Artilleria* (Milão, 1592), *Tractado II, Capitulo III*, folia 38. Nenhuma dessas causas de imprecisão era afetada pelo comprimento da alma.

13 — BIRINGUCCIO, *The Pirotechnia*, p. 235 e GUILMARTIN, *Gunpowder and Gallies*, p. 284 a 291.

14 — Percebemos que os fundidores eram perfeitamente conscientes dessa relação, porque as espessuras das paredes de seus canhões eram marcadamente coerentes. Toda a evidência física examinada pelo autor, incluindo a medição de cerca de 100 canhões das coleções do Museu do Exército (Madri), do Museu Militar (Lisboa), e do Askeri (Istambul), dá prova de que cada fundidor tinha um “modelo” estabelecido, que era estritamente seguido, e que uma das características mais importantes do padrão era a espessura da parede da alma na culatra; sendo assim, os fabricantes procuraram fazer o canhão tão delgado quanto seguramente conseguiam. A prova final da correção de seus cálculos e da qualidade do bronze era dada por um tiro experimental, utilizando uma sobrecarga (geralmente dupla) de pólvora e bala. Ver CIPOLLA, Carlo, *Guns, Sails and Empires* (Nova Iorque, 1965), p. 61, para dependência rotineira desses tiros de prova, *reasonable testing*, com a finalidade de verificar a segurança do canhão. Embora o exemplo de Cipolla esteja relacionado com canhões de ferro fundido, os princípios são mais largamente aplicados. A teoria moderna sobre o esforço exercido e o suportado, em tubos de paredes espessas, leva a crer que, qualquer aumento acima de cerca de metade do diâmetro da alma na espessura da parede do cano, é desperdício de metal. As relações são indicadas, de modo simplificado, pela fórmula:

$$E = P \frac{D^2 - d^2}{D^2 + d^2}, \text{ sendo "E"}$$

(dado em libras/polegadas quadradas) o esforço máximo que o material em questão pode suportar “P” a pressão interna em libras, “D” o diâmetro externo da alma, e “d” o interno, em polegadas. Isso admite que a alma é feita de mate-

rial homogêneo, e sabemos que os canhões de bronze fundido *não* eram homogêneos. Essa é a razão mais provável para a inaplicabilidade da teoria ortodoxa. A teoria moderna do esforço exercido não é capaz de relacioná-lo com o suportado, em almas espessas não homogêneas, de modo simples e direto.

15 — Trata-se de uma inferência que, no entanto, é convincente. COLLADO, Luís, *Platica Manual*, apresenta regras elaboradas e precisas para a determinação da segurança dos canhões, medindo-se e calculando sua espessura. A perfeição e o cuidado de Collado fazem ver que havia diferenças significativas de qualidade entre os fundidores. Suas idéias a respeito dos méritos relativos das diversas tradições nacionais de fundição são confirmadas pelo registro histórico dos efeitos táticos em combates, e pelas aparências e dimensões de canhões existentes. Aqueles que ele aponta que *deveriam* ser superiores, principalmente os enaltecidos venezianos e alemães, são geralmente mais curtos, delgados e leves que os menos prezados (infelizmente a preocupação de Collado se limita aos mediterrâneos, ignorando a artilharia portuguesa ou holandesa). Finalmente, os canhões portadores de marcas e monogramas dos fabricantes são de dimensões e linhas sistematicamente superiores aos seus contemporâneos, que não possuem qualquer indicação, dentro da mesma tradição nacional. Sempre que dois ou mais canhões similares assinados pelo mesmo fundidor tenham sido conservados, eles demonstram invariavelmente notável coerência quanto às dimensões, peso e composição de seu metal. No *Sacramento*, as seis peças de Rui Corrêa Lucas Matias Escartim são características desse aspecto, apenas quanto ao número e ao fato de serem canhões claramente operacionais. Exemplos de uniformidade dessa espécie, em um fabricante invulgar, incluem 4 magníficos canhões de 44 libras do alemão Gregory Leoffler, guardados no Museo del Ejercito, Madri (*grupo* 45, nºs 2826, 2827, 2828 e 3430, fundidos em 1542, 1546, 1546 e 1543); embora produzidos em anos diferentes, pouco variam as dimensões externas e, se considerarmos as marcações, pouco mais de 200 libras em peso. A análise química e espectroscópica de amostras de metal extraído do interior das bocas de duas meias-colubrinhas, de 12 1/2 libras, Leoffler, nºs 3429 e 3348 no Museo del Ejercito, datados de 1513 e 1545, respectivamente, produziram os seguintes resultados (todos os valores são percentuais; < significa “menos que”, e as variações de possíveis resultados são indicadas por uma / separando os extremos):

Análise Química

Análise Espectrográfica

n	Cu	Sn	Pb	Fe	Ni	Sb	As	Ag	Mg	Bi
n 3429	87.02	7.12	0.3/0.6	<0.01	<0.05	0.1/0.3	0.1/0.3	0.05/0.15	<0.0005	<0.01
n 3348	86.94	7.05	0.2/0.5	<0.01	<0.05	0.1/0.3	0.1/0.3	0.05/0.15	<0.0005	<0.01

A análise espectrográfica não revelou traços de An, Si, Al ou Mn. Similarmente, as análises espectroscópica e química dos dois sacres de 5 libras, de

1546, do fundidor Wolpedacht, nºs 3928 e 3929 no Museo del Ejercito, revelaram o seguinte:

Análise Química

Análise Espectrográfica

n	Cu	Sn	Pb	Fe	Ni	Sb	As	Ag	Mg & Bi	Si
n 3928	87.91	6.05	0.1/0.3	0.01	0.2/0.4	0.05/0.15	0.1/0.3	0.05/0.15	0.01	0.03
n 3929	87.89	6.81	0.1/0.3	0.01	0.15/0.35	0.05/0.15	0.1/0.3	0.05/0.15	0.01	0.01

Não foram encontrados indícios de Zn, Al ou Mn. O autor agradece ao Coronel Gonzalo Garcia Garcia, vice-diretor do Museo del Ejercito, por ter permitido a retirada de amostras de metal, no inverno de 1969; aos Capitães David Olson e Joseph Delfino, do Departamento de Química da Academia da Força Aérea dos Estados Unidos, pela análise química quantitativa das mesmas, e aos Srs. Harold George e Samuel Seitelman, da Direção de Controle de Qualidade do Arsenal do Exército em Frankford, Filadélfia, por terem realizado a análise espectroscópica.

- 16 — RODMAN, *Reports of Experiments on the Strength and other Properties of Metals for Cannon...* (Filadélfia, 1856), p. 153 e seguintes. Rodman pesquisou amostras de metal tiradas do maciço de culatra e da bolada de um morteiro de 6 libras, peça relativamente curta.
- 17 — CIPOLLA, *Guns, Sails and Empires*, p. 45, n. 3.
- 18 — Resumido por PERNAMBUCANO DE MELLO NETO, Ulysses. "O Galeão Sacramento", *Navigator* (revista do Serviço de Documentação Geral da Marinha), nº 13 (junho 1976/dezembro), p. 10 e 11. A fonte primária é ROCHA PITA, Sebastião, *História da América Portuguesa* (Lisboa, 1730).
- 19 — PERNAMBUCANO DE MELLO NETO, Ulysses. "O Galeão Sacramento", p. 10, de Rocha Pita, p. 376-380.
- 20 — Idem, p. 9, fig. 1.
- 21 — Carta ao autor remetida pelo Prof. T. Bentley Duncan, do Departamento de História da Universidade de Chicago, datada de 10 de maio de 1979. O Professor Duncan cita correspondência existente na Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro, Documentos Históricos, vol. 9, p. 294-97, Rocha Pita (Bahia, 1950), p. 238-40, e MAURO, Frédéric. *Le Portugal e l'Atlantique au XVIIe Siècle* (Paris, 1960), p. 86. A análise de Duncan sugere que o Sacramento não tenha sido lançado ao mar antes de 1651.
- 22 — Dados obtidos do Capitão-de-Mar-e-Guerra Max Justo Guedes, Diretor do Serviço de Documentação Geral da Marinha, e do Vice-Almirante Fernando Ernesto Carneiro Ribeiro, Comandante do Segundo Distrito Naval, acerca das águas costeiras da Bahia, quando da descoberta dos destroços, e durante as operações de resgate. A identificação correta do galeão foi conseguida por meio de cuidadosa correlação das datas gravadas nos canhões com o que se sabia sobre os navios envolvidos em naufrágios de importância, ocorridos em águas da Bahia. Ambos, estudiosos muito bem informados acerca dos primórdios da história naval moderna e sua tecnologia, foram colaboradores na identificação. A saga começou com a identificação, pelo Almirante Carneiro Ribeiro, de sete canhões que haviam sido recuperados por particulares. Reconhecendo que se tratava de algo mais do que artilharia da época napoleônica, fez deles tesouro nacional e deu início ao processo que acabou por recuperar os restantes.
- 23 — Informação recebida do Capitão-de-Mar-e-Guerra Max Guedes e do Vice-Almirante Carneiro Ribeiro.
- 24 — ESPARTEIRO, Antônio Marques. *Três Séculos no Mar (1640-1910), Caravelas e Galeões*, I Parte, Ministério da Marinha, Lisboa, 1974, p. 98.
- 25 — BARATA, João da Gama Pimentel, "Os Navios", *História Naval Brasileira*, volume I, Tomo I (Serviço de Documentação Geral da Marinha, Rio de Janeiro, 1975), p. 80-1.
- 26 — SYMCOX, Geoffrey, *The Crisis of French Seapower 1688-1698, From the Guerre d'Escadre to the Guerre de Course* (Haia, 1974), p. 57: "Uma das causas fundamentais da paralisação tática do final do século XVII... foi a natureza sazonal das operações da esquadra. A limitada resistência das tripulações e insuficiente navegabilidade, em alto-mar, dos grandes navios que formavam a coluna vertebral da esquadra, efetivamente restringia ao verão operações em larga es-

- cala.” E p. 59: “... enquanto navios de classes inferiores eram, quase sempre, suficientemente bons para manterem-se no mar em qualquer época do ano, os desajeitados navios de três conveses, de primeira e segunda classe, eram perigosamente pouco navegáveis... super-armados e de velame insuficiente...”
- 27 — Para o impacto das considerações táticas e estratégicas no desenho de navios, em contexto paralelo, ver a excelente análise comparativa entre as práticas de desenho francesa e inglesa, feita por GARDINER, Robert. *The First English Frigates, The Mariner's Mirror*, vol. 61, nº 2 (maio de 1975). Segundo ele, “... a análise do desenho do navio é freqüentemente divorciada da estratégia, tática e economia, o que leva, muitas vezes, a distorções e falta de compreensão.” Ver GUILMARTIN. *Gunpowder and Galleys*. p. 204-12, para as conseqüências de fatores sociológicos no desenho dos navios.
- 28 — Londres (1955), gravura 2, defronte à p. 68. O *Sacramento* seria quase do mesmo tamanho do protótipo do modelo contemporâneo de Anderson (infelizmente, e tipicamente, Anderson não se refere a escala ou artilharia), embora mais levemente armado. O ponto óbvio de semelhança é o arranjo dos canhões do barco de Anderson: se admitirmos a presença de dois cachorros-de-popa no convés inferior, e dois canhões de caça de proa no superior, havia 28 canhões em cada pavimento; os 14 restantes são visíveis na fotografia do modelo, todos obviamente muito menores que aqueles dos dois conveses principais. O *Sacramento*, construído quase século antes, teria, é razoável dizer, maior proporção de canhões menores. Além disso, algumas de suas portinholas de peça inferiores poderiam ter sido deixadas vazias, em conseqüências da escassez de artilharia. Ver ROBISON, S. S., Almirante. *A History of Naval Tactics from 1530 to 1930* (Annapolis, 1942), p. 121 e 214, para uma categorização dos “padrões” ingleses por volta de 1650 e no fim do século. SYMCOX, *French Seapower*, p. 36, dá os *réglements* franceses equivalentes, de 1674 e 1689. De acordo com as informações de Robison, os navios ingleses de terceira classe possuíam os conveses principal e superiores guarnecidos com 26 canhões de 32 libras, e 28 de 12, respectivamente, ao final do século. A tabela de 1674, apresentada por Symcox, é, provavelmente, um melhor indicador, mostrando que os franceses de terceira classe não montavam canhões maiores que os de 12 libras. Robison, p. 121, igualmente sugere que os equivalentes ingleses, por volta de 1650, possuíam, com seu armamento mais pesado, um punhado de canhões de 32 libras, ao passo que os navios de guerra holandeses contemporâneos não montavam peças de mais de 24 libras.
- 29 — Informação obtida do Capitão-de-Fragata Oscar Moreira da Silva, comandante do *Gastão Moutinho*.
- 30 — CIPOLLA. *Guns, Sails and Empires*, p. 56, nº 1, mostra Portugal iniciando importação em larga escala de artilharia suca de ferro forjado em seguida à ressunção da independência. Em 1694 Cipolla mostra Portugal importando mais canhões suecos de ferro do que qualquer outro país.
- 31 — PERNAMBUCANO. “O Galeão Sacramento”, p. 37 e 35, foto 52.
- 32 — Esses cálculos são necessariamente aproximados e proporcionam apenas verificação imperfeita. Entretanto, seus resultados são consistentes. As peças de Lucas Matias Escartim foram consideradas, para efeito de cálculo, cinco troncos de cone (a maior parte da alma) e sete cilindros (a boca, os munhões, proximidades dos “golfinhos” e a alma da peça, cujo volume foi subtraído do total). Divididos os volumes pelos pesos, conforme marcados nas culatras, resultaram densidades de cerca de 0,22 lb/in³ (0,0061 kg/cm³). A peça de Conrad Wagwaert de 1647 e a de Assuerus Koster de 1634 apresentaram densidades de 0,24 lb/in³ (0,0066 kg/cm³). As duas peças inglesas arcaicas mostraram 0,24 lb/in³ e 0,25 lb/in³ (0,0066 kg/cm³ e 0,0069 kg/cm³), respectivamente, embora os valores possam ter sido aumentados um pouco por causa de suas estruturas internas de ferro, tendo o ferro forjado a densidade de 0,28 lb/in³ (0,0079 kg/cm³). Esses valores se coadunam com os dados fornecidos por RODMAN. *Metals for Cannon*, p. 153, de 0,31 lb/in³ (0,0087 kg/cm³), sendo que o fato de a densidade ser maior é presumivelmente atribuível aos dois séculos de desenvolvimento do processo de fundição. É interessante que os cálculos preliminares feitos com as peças inglesas de George Elkine e dos irmãos Phillips resultaram em valores similares aos de Rodman. O potencial dessa linha de pesquisa é considerável, mas só pode ser levado a cabo com medições precisas de volumes, dimensões e densidades dos canhões em questão.
- 33 — O grau de correlação indica até que ponto as duas variáveis, peso e espessura da parede da alma, formam uma curva contínua, quando representadas graficamente num diagrama de duas dimensões de dois eixos. A correlação perfeita seria indicada pelo valor 1, mostrando que uma mudança em uma das duas variáveis resulta em mudança exatamente proporcional na outra.
- 34 — RODMAN, *Metals for Cannon*, p. 152, descreve experiência feita em dois obusijos de 12 libras fundidos com 8 a 10

- minutos de diferença mas utilizando o mesmo metal derretido: variavam em 3 1/2% na densidade do metal.
- 35 — Tanto os documentos ingleses quanto os espanhóis da metade do século XVI, quando não de anteriores, quase invariavelmente alistam os canhões pelo peso. Nos canhões ingleses, para os quais o registro é mais claro, a libra foi certamente usada a partir do reinado de Elizabeth I. ZUPKO, Ronald E., *British Weights and Measure, a History from Antiquity to the Seventeenth Century* (Madison, 1977), p. 25, segue o rastro da libra até o Estatuto de Westminster, 1357, embora o valor tenha sido ajustado de 6992 grãos para 7000 no princípio do reinado de Elizabeth I; ele afirma, p. 116, 133 e 135 que a libra era a unidade de medida tradicional para o comércio de pólvora e metal de sinos, parente próximo do metal de canhões (o metal de canhões, significativamente, não se encontra alistado). Para a análise geral das unidades de peso e medida aplicadas à artilharia nos séculos XVI e XVII, ver OLESA MUÑIDO, Francisco-Felipe, *La Organización Naval de los Estados Mediterráneos y en Especial de España Durante los Siglos XVI y XVII*, v. I, p. 285-88. Embora o autor não tenha encontrado evidência documental explícita para confirmar a suposição de que o símbolo signifique "libras", a hipótese é fortalecida pelos cálculos descritos na nota 32, e pela análise de regressão linear das marcações de pesos encontradas nos canhões ingleses do Sacramento; elas demonstram conclusivamente que quaisquer que tenham sido as unidades utilizadas, os pesos foram determinados com grande precisão e consistência.
- 36 — As atividades de George Elkine e dos irmãos Phillips estão, comprovadas por registros ingleses contemporâneos (carta do Almirante Sir Terrance Lewin, GCB, MVO, DSC, ADC, ao Capitão-de-Mar-e-Guerra Max Justo Guedes, datada de 4 de junho de 1977). John e Richard Phillips são mencionados no *Calendar of State Papers* de 16 de agosto de 1588 como fornecedores de canhões; George Elkine, aparentemente morto em 1604, é mencionado pela primeira vez em 1595.
- 37 — Com base na aparência dos canhões do *Mary Rose*, estudados pelo autor do Museu of the *Royal Artillery Institution*, na rotunda de Woolwich, Inglaterra; a mais antiga data nesses canhões é 1529, *Catalogue of the Museum of Artillery, Part I, Ordnance* (Londres, 1963), p. 7. Essa impressão é fundamentada na aparência de canhões datados existentes nas coleções do Museu Militar, Lisboa, do Museu del Ejercito, Madri, e do *Askeri Musei*, Istambul.
- 38 — ZUPKO. *British Weights*, p. 78-86.
- 39 — Com base nas notas e fotografias tiradas quando do exame de coleções em Lisboa, Madri e Istambul citadas na nota 37, acima, no inverno de 1969, e no Museu do Royal Artillery Institution, em agosto de 1975.
- 40 — LEWIS. *Armada guns*, p. 129 e OLESA MUÑIDO. *La Organización*, p. 287, para unidades castelhanas equivalentes.
- 41 — COLLADO, *Platica Manual*, Tr. III, Cap. XV.
- 42 — Por exemplo, as tabelas das edições de 1627 e 1692 de SMITH, John. *A Seaman's grammar*, reproduzidas por ARCHIBALD, E. H. H. *The Wooden Fighting Ship in the Royal Navy AD 897-1860* (Londres, 1968). O critério de Collado leva a um diâmetro de bala 3% menor que a alma da peça. LEWIS. *Armada guns*, p. 39, indica que a regra inglesa, para canhões era de 1% menor que o diâmetro da alma, e para colubrinhas, 5%.
- 43 — COLLADO, *Platica Manual*, Tr. III, Cap. XXX, fol. 51-2, quando discute o uso do taco encaixado sem folga para manter a bala no cano ao se atirar em depressão, adverte que a carga de pólvora utilizada deve ser reduzida, a fim de evitar a explosão do canhão; a sua compreensão da relação entre vento da arma reduzido (nesse caso, zero) e a pressão interna é evidente. Com efeito, o aumento de velocidade na boca da arma a ser ganho a partir de reduções no vento da arma era desprezível; ver RODMAN. *Metals for Cannon*, p. 109 e seguintes, para demonstração disso em experimentos com canhões de 42 libras. O benefício real era, como Collado sugere indiretamente, a redução das cargas de pólvora. Tal fato foi sendo compreendido aos poucos, conforme os padrões de fabricação se enrijeciam com o tempo. Collado dá a carga padrão para um canhão de bateria do seu tempo, (Tr. II, Cap. XXXIII, fol. 29 e Cap. XXXVI, fol. 31) como sendo dois terços do peso da bala, embora a redução da carga à metade do peso da bala fosse recomendada para canhões velhos, inseguros ou usados. Um século mais tarde, o costume francês era fixar a carga em metade do peso da bala, vide VAUBAN, Sebastien Le Prestre de. *A Manual of Sreecraft and Fortification*, traduzido para o inglês por George A. Rothrock (Ann Arbor, 1968), fração que era um pouco diminuída na prática, pois os dados de Vauban representam cálculos de planejamento logístico, e não levam em conta o desperdício inevitável.
- 44 — Por exemplo, RODMAN. *Metals for Cannon*, p. 109 e seguintes; em 1856, o vento de arma padrão para um canhão americano de 42 libras com 7 polegadas de diâmetro da alma (17,8 cm) era de

- 0,18 polegadas (0,45 cm). A aplicação da fórmula de Collado para a mesma alma daria um vento de 0,24 polegadas (0,61 cm), ou seja, 50% maior.
- 45 — Ver nota 32 acima.
- 46 — LEWIS. *Armada Guns*, p. 201.
- 47 — Ver BATH, B. H. Slicher van. *The Agrarian History of Western Europe AD 500-1850* (Londres, 1963) especialmente p. 113-15, para explicação concisa dos movimentos dos preços e salários nos séculos XVI e XVII. BRACKENBURY, Henri, Sir. "Ancient Cannon in Europe, part II", *The Journal of the Royal Artillery Institution*, V (1865-66), p. 8-9, cita documento francês de 1375 que compara o custo de uma bala de pedra com o do canhão para o qual ela se destinava. A bala custava dois *shillings* e seis *pence*, enquanto o ferro necessário à construção do canhão custava apenas seis *pence* por libra. Pesando o canhão apenas 500 libras, a bala era pequena, provavelmente com menos de seis polegadas (15,2 cm) de diâmetro. Já que a pedra era barata, essa diferença é atribuível à mão-de-obra. COLLADO, *Platica Manual*, Tr. III, Cap. XXXIII, fol. 53, é explícito quanto à leveza relativa de um canhão de balas de pedra.
- 48 — Trata-se de um canhão de 32 libras fundido primorosamente, medindo cerca de 6 pés (1,82 m), e gravado CUDEBAT. PETRUS. GEORGIUS. FIGUIEIRA. M.D. LXXVIII.
- 49 — GUILMARTIN. *Gunpowder and Galleys*, p. 109-11, para um resumo final dessa evidência dentro do contexto naval.
- 50 — BIRINGUCCIO. *Pirotechnia*, p. 246-48. Biringuccio apresenta diversos desenhos alternativos de cruzeta, incluindo as de quatro braços, e uma estrutura elaborada chamada "castelo", que lembra vagamente um suporte (de ferro forjado) de um vaso de plantas, e que se destinava a suportar o peso do núcleo e também centralizá-lo. Sua preferência recai sobre o anel de ferro forjado com quatro braços regularmente espaçados, com descritas nesse texto.
- 51 — Embora BIRINGUCCIO. *Pirotechnia*, p. 246-7, prefira um disco de argila como suporte exterior do núcleo.
- 52 — TARTAGLIA, Niccolo. *Three Bookes of Colloquies Concerning the Arte of Shooting in great and small pieces of Artillerie...*, traduzido por Cyprian Lucar, (Londres, 1588), Colloquie 22, p. 41, "... uma peça que explode deve mais comumente na culatra ou próximo à boca, e raramente no meio..." Tartaglia, matemático teórico e não um artilheiro, é ocasionalmente vago e impreciso em questões de prática operacional, mas é de confiança em seus relatos sobre problemas e técnicas de fundição. Sua opinião é confirmada por exemplares existentes de canhões explodidos, principalmente das coleções do Museu Militar, Lisboa, e do *Deniz Musesi*, Istambul.
- 53 — BRAVDEL, Fernand. *La Mediterranée* (Paris, 1966), p. 406.
- 54 — CIPOLLA. *Guns, Sails and Empires*, p. 55, nº 5, cita fonte sueca para provar que, por volta de 1626, canhões de ferro não mais eram exportados pela Inglaterra e afirma, p. 63, que "... de acordo com dados disponíveis a crise do carvão vegetal inglês parece haver explodido, em sua máxima intensidade, na década de 1630." A informação de Cipolla é notavelmente abrangente, e sua análise convincente.
- 55 — KRITOVOLOUS. *History of a Mehmed Conqueror*, traduzido para o inglês por Charles T. Riggs (Princeton, 1954), p. 43-6, para um relato de testemunha ocular. COLLADO. *Platica Manual*, Tr. II, Cap. VII, fol. 11, e Cap. XXXII, fol. 34, afirma (cerca de 1570) que um pedreiro necessitava apenas metade ou um terço daquela quantidade de bronze para o mesmo peso de bala; assim, esse canhão teria entre 88 e 136 libras de bronze para cada libra de bala. Além disso, pedreiros necessitavam de menor carga de pólvora, apenas metade do peso da bala, enquanto o canhão de bateria necessitava de dois terços.
- 56 — Dois deles, fundidos em 1714 e 1804, estavam em exposição no porto do Deniz Musesi, quando o autor visitou Istambul, em 1969. O maior dos dois, a peça de 1714, atirava um projétil de 380 libras (172 kg).
- 57 — Observado pelo Prof. Joel Shinder, outrora do Fredonia State College, Nova Iorque, num canhão otomano no Parque do Askeri Musesi, Istambul, na primavera de 1970.
- 58 — Observado pelo Prof. Shinder, nota 57, acima.
- 59 — *U. S. Army Special Text*, ST 9-153, *Fundamentals of Ballistics* (Campo de Provas de Aberdeen, abril de 1964), p. 14-16. A equação estoiquimométrica não pode ser usada para a decomposição química da pólvora negra, por causa do papel-chave desempenhado pelas "impurezas" do hidrocarbono alcalino do carvão vegetal, na reação de decomposição. Para alargar os horizontes de nosso limitado conhecimento, considere-se que não há consenso em relação à natureza do papel desempenhado, na reação, pelo enxofre, que compõe 10%, em peso, da pólvora negra. Não é exagero afirmar que, se a composição desta não era conhecida empiricamente, não poderia ser descoberta teoricamente.
- 60 — A teoria de tensão e esforço suportado não é, apenas, inadequada à tentativa de

prever a probabilidade de um tubo de bronze, não homogêneo, resistir à pressão interna, mas também o conhecimento das propriedades físicas da liga de bronze, usada nos canhões primitivos; é escasso. BIRINGUCCIO. *Pirotechnia*, p. 210; COLLADO. *Platica Manual, Tr. II*, Cap. III, fol. 10; e TARTAGLIA. *Three Bookes*, citado em LEWIS. *Armada guns*, p. 18 dão valores compatíveis para a proporção de estanho no metal dos canhões, variando entre 7 e 15%. Modernos manuais de engenharia pouco falam sobre a liga cobre/estanho nessa proporção, por exemplo, *Metals Handbook* (8ª edição), v. I, *Properties and Selection of Metals* (Novelty, Ohio, 1961), p. 975-6. O problema é complicado, ainda mais, pela presença de outros metais e impurezas, não metálicas, no canhão. Como observado acima, pequenas amostras de metal, extraídas pelo autor, de canhões dos séculos XVI e XVII, de origem espanhola, germânica e veneziana, testadas espectroscopicamente no arsenal de Frankford do Exército Americano, no verão de 1970, revelaram quantidades detectáveis de ferro, antimônio, arsênico, níquel, prata, magnésio, silício e, em certos casos, manganês, alumínio e bismuto. Embora a maioria dessas impurezas — se assim as considerarmos — estivessem presentes, em quantidades de 1/2% ou menos, diversos canhões apresentaram quantidades apreciáveis de zinco e chumbo.

- 61 — COLLADO. *Platica Manual*, Tr. I, Cap. III, fol. 10, afirma que o ouvido da peça deveria ser perfurado na extremidade traseira, para evitar recuos violentos. Sua descrição das características adversas do recuo, e sua observação de que um canhão grande, com ouvido mal colocado, saltava completamente de seu reparo, é fundamentada numa discussão fascinante que sugere conhecimento empírico da propagação de ondas de pressão na câmara. Embora um cético possa inclinar-se a enquadrar as descrições de Collado nas estórias exageradas dos artilheiros, repetidas pelo crédulo TARTAGLIA (*Three Bookes*, p. 39-40, onde ele descreve canhões ingerindo cachorrinhos depois de atirar!), sua teoria é sustentada pelos estudos modernos. Ver, por exemplo, MAY, J. W., NELSON, C. W., ROCCHIO, J. J. e WHITE, K. J., *The Role of Ignition in Artillery Propulsions* (Aberdeen, 1977) e MAY, I. W. e CLARKE, E. V., "The Reserve Pressure Gradient, a Tool for Assessing the Effects of Wave Dynamics on the Ballistic Performance of Guns", *Proceedings of the Second International Symposium on Ballistics* (Março, 1976).
- 62 — GUILMARTIN. *Gunpowder and Galleys*, p. 287, citando a variação extremamente pequena, em percentagens, de vestígios de corpos simples nas amostras de bronze extraídas, do mesmo lugar, de um par de *sacres*, do fundidor Wolpedacht, no Museo del Ejercito, Madri, conforme discutido na nota 15, acima.

Traduzido por Carlos Eduardo de Ribas Guedes.

