UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CHRISTIAN SLAUGHTER

ESPADA DE DAMASCO. UM PRODUTO DA CIVILIZAÇÃO ISLÂMICA.

São Paulo

2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CHRISTIAN SLAUGHTER

ESPADA DE DAMASCO. UM PRODUTO DA CIVILIZAÇÃO ISLÂMICA.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

São Paulo

2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CHRISTIAN SLAUGHTER

ESPADA DE DAMASCO. UM PRODUTO DA CIVILIZAÇÃO ISLÂMICA.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

Orientador:
Prof. Dr. Hélio Goldenstein

São Paulo

2014

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de junho de 2014.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catlogação-na-publicação

Slaughter, Christian

**Espada de damasco: um produto da civilização islâmica /
C. Slaughter. -- versão corr. -- São Paulo, 2014.
141 p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de
Materiais.**

**1.Aço de cadinho 2.Espada de damasco 3.Aço de damasco
4.Espada damascena I.Universidade de São Paulo. Escola Poli-
técnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
II.t.**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Helio Goldenstein pela amizade, conversas, ajuda, confiança e orientação dedicada.

Ao Prof. Dr. Marcelo Breda Mourão pelas sugestões, esclarecimentos e auxílio.

Ao Prof. Dr. Andrea Piccini pelas conversas fascinantes e estimulantes sobre o mundo islâmico e pelo ânimo e interesse pelo assunto do trabalho.

Ao Prof. Dr. Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva pelas sugestões e interesse em ajudar.

Ao meu irmão Douglas pela paciência, curiosidade em conhecer coisas novas, comedimento, bom senso, boa intenção e sabedoria nas palavras.

Ao amigo Remo Nogueira por nos ajudar com sua habilidade e experiência de ferreiro, assim como pela sua boa vontade e agradável companhia.

Aos colegas do laboratório por compartilhar sua experiência e conhecimento.

Ao amigo Fabio Stagetti pela boa vontade, sem a qual seria muito mais difícil atingirmos os resultados deste trabalho.

RESUMO

A Espada de Damasco era uma arma utilizada pelos exércitos muçulmanos medievais. Está de tal forma associada à civilização islâmica que se tornou um de seus símbolos. Esta espada se caracterizava tanto por suas ótimas propriedades mecânicas como por seus belos desenhos ondulados. Estes atributos, somados à sua mística, a fizeram objeto de imitação e cobiça no Ocidente.

Entre os séc. VIII e XIII d.C. o mundo muçulmano viveu seu apogeu como civilização, compilando, traduzindo, analisando e desenvolvendo um enorme corpo de conhecimento, em diversas áreas, trazido das grandes civilizações com as quais interagiu. No campo militar, as invasões dos povos nômades da Ásia Central trouxeram inovações, sendo claramente responsáveis pela introdução do sabre. O Império muçulmano medieval reuniu, assim, as condições necessárias para o advento da Espada de Damasco, principalmente por ter absorvido de outros povos, tanto a oeste, como a leste, uma série de elementos e influências fundamentais para a concepção desta arma: seu formato, o sabre, foi trazido pelos povos turcomanos nômades, e a tecnologia do aço de cadinho, sua matéria prima principal, era proveniente do Oriente; da Índia e da Ásia Central.

Este trabalho se propõe a discutir de que forma a lendária Espada de Damasco pode ser entendida como um produto único da civilização islâmica medieval. Para alcançar este propósito, duas das principais características desta arma serão discutidos, seu formato como sabre, e sua matéria prima, o aço de cadinho. Finalmente, a etapa experimental realizada nos permite avaliar sob nossa própria perspectiva as duas principais hipóteses para explicar a formação do padrão de damasco, propostas por Verhoeven e Sherby. Além disso, as tentativas de reprodução do aço de cadinho nos levam a propor a hipótese do ferro fundido, invenção sabidamente chinesa, ter sido descoberto de forma acidental ao tentar produzir aço de cadinho.

Palavras-chave: Aço de cadinho, espada de damasco, aço de damasco, espada damascena, wootz.

ABSTRACT

The Damascus sword was the weapon of choice of the Muslim medieval armies. It is so closely related to the Islamic civilization that it became one of its symbols. This saber was known by its great mechanical properties, as much as its pleasant wavy pattern. All these attributes, added to its mystical meaning, turned it into an object to be reproduced and desired by the West.

Between the 9th and 13th centuries AD, the Muslim society experienced its height as civilization, compiling, translating, analyzing and developing a wide body of knowledge of many fields, imported from the main civilizations with whom it coexisted. On military matters, nomadic peoples from central Asia invaded the Islamic world, bringing innovations with them, such as the saber. The Muslim medieval Empire provided suitable conditions to allow the Damascus sword to be created. Specially, because this civilization assimilated several influences from East and West, essential to the development of this weapon: its shape as saber was taken from the nomadic Turkic peoples, the technology of the crucible steel came from the East; Central Asia and India.

This thesis discusses how the legendary Damascus sword may be understood as a unique product of the medieval Islamic civilization. Two of the most important features of this weapon will be discussed in order to reach our purpose: its design as a saber, and its raw material, the crucible steel. Finally, the experimental part allow us to assay, through our own perspective, the two main hypothesis what explain the origin of the Damascus pattern, suggested by Verhoeven and Sherby . Moreover, the different attempts to reproduce the UHC crucible steel lead us to formulate a hypothesis on the origin of the cast iron, a known Chinese invention, which could have been discovered by accident while trying to produce crucible steel.

Keywords: Crucible Steel, Damascus sword, damascus steel, damascene sword, wootz.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1. OBJETIVOS	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
Breve discussão sobre o termo Civilização.....	14
2.1. Contexto histórico – De Maomé até a invasão dos povos turcomanos.....	15
2.2. Contexto político interno e externo. Contato e Intercâmbio com civilizações vizinhas.....	22
2.2.1. Casa da Sabedoria	24
2.3. Influências militares externas	28
2.3.1. A cavalaria e o sabre	29
2.3.2. Sabre contra a Espada reta	31
2.4. Espadas. Conceito e classificação.....	35
2.5. A Espada de Damasco	40
2.5.1. Microestrutura característica da Espada de Damasco.....	43
2.5.2. Damasco caldeado	48
2.6. Breve história da metalurgia	53
2.6.1. O princípio da metalurgia do ferro.....	53
2.6.2. O Ferro	55
2.6.3. A difusão da produção de ferro.....	57
2.6.4. Os Hititas	58
2.6.5. China	60
2.7. Aço de Damasco.....	63
2.7.1. Estudos históricos.....	64
2.7.2. O aço de Damasco e a Metalografia.....	67
2.7.3. Fabricação	69

2.7.4. O. Sherby.....	79
2.7.5. John D. Verhoeven	81
2.8. Aspectos culturais. Padrão Damasceno ou ondulado.....	86
2.9. Linha do Tempo.	89
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	92
3.1.Experiência 1	92
3.2.Experiência 2	93
3.3.Experiência 3	94
3.4.Experiência 4	95
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
4.1. Experiência 1	100
4.2. Experiência 2	102
4.3. Experiência 3	103
4.4. Experiência 4	105
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
6. CONCLUSÕES EXPERIMENTAIS	118
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXO.....	125
Breve história dos povos nômades desde os Xiongnu.....	125
As guerras de expansão	131

INTRODUÇÃO

Aprender sobre outras culturas pode nos dar a oportunidade de nos conhecermos melhor. Observando as diferenças e semelhanças entre nossa sociedade e as outras, separadas física e/ou temporalmente, obtemos pistas sobre quem somos. As semelhanças nos induzem a suspeitar sobre o que é intrinsecamente humano, ou seja, que independe do meio e do tempo. As diferenças, por outro lado, podem ser compreendidas como distintas formas de ver o mundo e de interagir com ele. A percepção dessas diferenças pode diminuir nossa intolerância com respeito aos outros, na medida em que coloca nossos próprios pontos de vista em perspectiva, tornando-o relativo. Esta categoria de conhecimento pode representar um meio para compreendermos melhor que parte de nossos hábitos, crenças e valores são consequência do meio em que vivemos, e que parte está vinculada à nossa condição humana básica, ou seja, o que, em nossa forma de pensar e de nos comportarmos, independe da época e da sociedade à qual pertencemos. A vida nos apresenta problemas que são comuns a qualquer sociedade. Entender como outras sociedades tem lidado com problemas parecidos aos nossos nos dá a oportunidade de ver o mundo pelos olhos do outro, o que pode relativizar nossas próprias convicções.

O estudo histórico realizado neste trabalho nos revela um cenário complexo e interdependente, cuja consequência mais evidente é um sentimento de certeza de que estamos muito menos separados (somos muito mais semelhantes) do que acreditamos. Civilizações sofreram influência e influenciaram umas às outras de forma determinante. É muito difícil definir uma sociedade sem se referir a outra. Intenso intercâmbio comercial, tecnológico-científico, cultural e militar existiu entre os povos, influenciando e mesmo determinando mutuamente seu desenvolvimento. Uma parte de nós está no outro, assim como uma parte do outro está nós.

Para executar este estudo é necessário movimentar-se entre temas de naturezas distintas, o que lhe confere um caráter multidisciplinar. É neste ponto que reside a segunda intenção do projeto; compreender o fenômeno da espada de Damasco de forma holística, construindo pontes entre estes assuntos que, embora sejam diversos (história, cultura, metalurgia), são necessários e que, por pertencerem a diferentes campos do conhecimento, frequentemente são estudados e entendidos como

eventos independentes, perdendo-se assim, o sentido mais global do processo do qual fazem parte. Muitas hipóteses lançadas pelos historiadores e arqueólogos podem ser desenvolvidas, refinadas, ou até mesmo descartadas ao empregarmos conhecimento técnico metalúrgico. Por outro lado, entender a microestrutura do material que constitui um objeto, por si só, nos diz pouco sobre o contexto humano no qual foi concebido. Se focalizarmos nossa atenção excessivamente na árvore, corremos o risco de perder a visão da floresta.

O presente trabalho tenta apresentar uma contribuição através de uma abordagem abrangente e que projeta um novo olhar para este antigo assunto.

A espada de Damasco é freqüentemente associada ao mundo islâmico, sendo considerada por muitos como a arma típica dos exércitos muçulmanos medievais. O presente estudo se propõe a debater de que forma a espada de Damasco pode ser entendida como um produto particular da civilização islâmica.

Entre aproximadamente 750 e 1250 d.C. o mundo muçulmano (califado abássida) viveu seu apogeu como civilização, alcançando níveis de desenvolvimento cultural, científico, intelectual e econômico poucas vezes visto na história da humanidade. Durante o período, o império islâmico esteve na vanguarda nos mais diversos campos do saber; matemática, astronomia, química (alquimia), mineralogia, medicina, óptica, filosofia. Nesta época esta civilização compilou, traduziu, analisou e desenvolveu um enorme corpo de conhecimento trazido da antiga Grécia, dos bizantinos, das milenares civilizações Egípcia, Persa, Indiana e Chinesa. Foi a época de ouro do Islamismo. Ricas trocas culturais e tecnológicas entre essas grandes civilizações foram, por diversas vezes, mediadas pelos povos nômades da Ásia central.

"A tinta do erudito é mais sagrada que o sangue do mártir". A conhecida frase, freqüentemente atribuída a Maomé descreve bem os valores difundidos pela dinastia abássida. Em boa medida, pode-se dizer que a sua grande riqueza étnico-cultural foi consequência (e causa) das dimensões continentais do Império da época. A economia floresceu e as riquezas fluíam livremente no interior de seus limites. Este enorme Império desenvolveu em seu território um grande e rico comércio por diversas rotas que ligavam desde a China, a leste, até a península Ibérica, a oeste. É razoável ponderar que o advento da espada de Damasco foi uma consequência, mesmo que indireta, do grande desenvolvimento do comércio, da economia e do rico contato com civilizações além de suas fronteiras, tão desenvolvidas quanto ela própria (Chi-

na, Índia, povos nômades como os citas, turcos e mongóis-principalmente do ponto de vista militar) e dentro delas, uma vez que o Império muçulmano era formado por diversos povos. A espada de Damasco está inserida dentro do contexto mais amplo de todas as inovações, intercâmbio e desenvolvimento tecnológico e cultural excepcional do mundo islâmico medieval. Porque a espada de Damasco foi um produto tão particular da civilização Islâmica? Para tentar responder à pergunta, faz-se necessário primeiro, definir o que entendemos por espada de Damasco. Em decorrência dessa definição, o texto aborda a formação e desenvolvimento da civilização islâmica do ponto de vista histórico e político, conceitos sobre espadas, a metalurgia do aço de Damasco e, finalmente, uma parte experimental, onde é relatada uma série de experiências visando produzir em laboratório o aço de cadinho, matéria prima para reproduzir o próprio padrão de Damasco. As experiências têm por finalidade proporcionar elementos para avaliar, por nosso próprio ponto de vista, as duas principais hipóteses que explicam a origem do padrão de Damasco, aquela proposta por John Verhoeven e a exposta por Oleg Sherby. Além disso, a parte experimental tem o propósito adicional de nos colocar mais próximos das dificuldades que devem ter sido vivenciadas pelos próprios ferreiros medievais.

1. OBJETIVOS

O presente trabalho procura responder à pergunta: “Por que a civilização islâmica produziu a espada de Damasco?”, em outras palavras, “de que forma esta arma é um produto particular dessa civilização?”

O estudo da literatura técnica, assim como as experiências de reprodução do aço de cadinho UHC em laboratório e do próprio padrão de Damasco, tem por propósito nos prover um novo ponto de vista para avaliarmos as hipóteses de Verhoeven e Sherby à respeito da origem do padrão damasceno, além de nos colocar em contato com as dificuldades práticas dos ferreiros medievais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Breve discussão sobre o termo Civilização

Dada a importância do termo “*civilização*” para o trabalho apresentado, faz-se necessário uma definição mais precisa da palavra de maneira a restringir e esclarecer o significado que adotaremos ao longo dos seguintes capítulos.

“Um primeiro conceito de civilização foi desenvolvido pelos franceses durante o séc. XVIII em oposição à ideia de ‘barbarismo’”(HUNTINGTON, 2010). Segundo este paradigma era possível distinguir claramente a sociedade atrasada da civilizada, pois esta última era basicamente urbana e alfabetizada ao contrario da primeira. Ser civilizado, nestes termos, era desejável. Este ideal foi utilizado como referência pelos europeus para “classificar” outras sociedades.

Com o tempo uma nova conotação para este termo surgiu entre os sociólogos, historiadores e antropólogos. O critério eurocêntrico arbitrário para definir o que era uma civilização foi sendo substituído por um conceito de civilização mais amplo, onde diversas sociedades passam a ser entendidas como civilizações, cada uma a seu modo. Atualmente **cultura** parece ser o denominador comum da maior parte das definições mais amplamente reconhecidas de civilização. Segundo este novo paradigma, uma civilização seria uma sociedade que encerra uma cultura particular, com seus valores, regras, instituições e modo de pensar específicos que são sustentados por sucessivas gerações. Assim, há alguns fatores objetivos dentro de uma cultura que freqüentemente distinguem uma civilização de outra. O seguinte trecho nos fornece um parâmetro de quais seriam estes fatores. Trata-se de um discurso dos atenienses direcionado aos espartanos para convencê-los de que não os trairiam caso estes os apoiassem na guerra contra os persas:

Pois há muitas e poderosas considerações que nos proíbem de assim fazer (trair os espartanos)... a raça grega, tendo o mesmo sangue a mesma língua e em comum os templos dos deuses e os sacrifícios, e sendo nossos costumes semelhantes, não estaria bem que os atenienses se tornassem traidores disso. (HUNTINGTON, 2010, p. 56)

Entre todos os fatores que definem uma civilização expostos na passagem acima, crença de natureza religiosa ou transcendental, costumes e “sangue”, que

vamos interpretar como etnia, apenas o último merece algum esclarecimento. A etnia não parece ser o elemento mais relevante dentro de uma civilização. Civilizações distintas podem compartilhar a mesma raça como acontece na Índia ou antiga Iugoslávia e diferentes raças podem fazer parte de uma mesma civilização, como no Islã. As distinções fundamentais entre os seres humanos residem na suas crenças, valores, forma de pensar e estrutura social e não em suas características físicas. Portanto, civilização tal como a entenderemos neste trabalho fará referência a um ***conjunto de indivíduos que compartilham uma cultura comum, que se manifesta por meio de instituições, tradições, costumes, valores, crenças e pontos de vista semelhantes***. Além disso, civilização é o maior grupo humano com o qual podemos nos identificar. Esta é a definição que adotaremos para o termo *civilização* neste trabalho.

2.1. Contexto histórico – De Maomé até a invasão dos povos turcomanos. Contexto político que permitiu a entrada e crescimento da influência turcomana e mongol.

Em volta do nome dos árabes, brilha a auréola que pertence aos conquistadores do mundo. Um século após sua ascensão, os árabes se tornaram governantes de um império que se estendia das praias do oceano Atlântico até as fronteiras da China, um império maior que o de Roma no seu apogeu. Nesse período de expansão sem precedentes, os árabes assimilaram à sua crença, língua e mesmo ao seu tipo físico, mais estrangeiros do que qualquer outra linhagem antes deles e depois deles, sem excluir os helenos, os romanos, os anglo-saxões e os russos. (SMITH, 2001, p. 217)

Islamismo vem da raiz *s-l-m*, que significa paz. Um outro significado associado à palavra é “entrega”. Assim, seu sentido mais profundo é algo como “paz que provem da entrega da vida nas mãos de Deus”. Aqueles que adotam o Islamismo são chamados muçulmanos, que literalmente significa “servos” (SMITH, 2001).

Segundo os muçulmanos, Maomé é o último de uma série de profetas tais como Moisés, Isaac e Jesus. Nascido na cidade de Meca em 570 d.C tornou-se órfão ainda durante os primeiros anos de vida. Pertencendo ao clã dos Hachemitas que integravam a tribo Coraixita. Era esta tribo que controlava o santuário (e centro comercial) da Caaba, onde os árabes cultuavam diversos deuses e ídolos.

Os muçulmanos afirmam que, ao chegar à idade de 40 anos, Maomé recebeu

a mensagem de Deus. Pregando durante os 12 anos seguintes, Maomé e seus seguidores abandonaram Meca em 622 em direção à Medina devido à perseguição sofrida de lideranças locais. Esta migração é conhecida como Hégira. Em Medina, Maomé estabeleceu sua autoridade política e religiosa congregando mais e mais fiéis. Em 629, Maomé conquista Meca e, na época de sua morte, em 632, as diversas tribos árabes da península arábica estavam unificadas do ponto de vista não apenas religioso como também político (figura 1).

Figura 1. Expansão de 622 a 750 d.C.

http://en.wikipedia.org/wiki/Islam#Muhammad_.28610.E2.80.93632.29

A morte de Maomé resultou em uma crise de sucessão e da comunidade islâmica. Uma assembléia foi convocada e declarou Abu Bakr como seu sucessor.

Abu Bakr (632-634) se torna o primeiro califa. Durante seu governo teve que sufocar uma rebelião interna de grupos que não reconheceram seu nome como sucessor de Maomé e liderou conflitos contra o Império Bizantino. Foi durante seu califado que o Alcorão foi compilado.

Omar (634-644) foi nomeado líder por Abu Bakr. Entre suas realizações mais importantes estão a conquista da Síria na Batalha de Yarmuk (636), contra a dinastia

*Gassânida*¹, Mesopotâmia e a Pérsia Sassânida (figura 2), esta última em duas batalhas; Batalha de Al-Qadisyia e Batalha de Nehavend (642). A conquista do uma vez poderoso Império Sassânida (figura 2) não foi das mais difíceis, pois nessa época a civilização Sassânida se encontrava decadente e muito debilitada devido a anos de guerra contra o Império Bizantino. Omar foi assassinado em 644.

Otman (644-656) sucedeu Omar, embora com maior oposição que o último. Em 656, o califa foi assassinado. Continuou expandindo o Império conquistando parte do norte da África e o restante do antigo Império Sassânida é subjugado em 653. Conquista a ilha de Chipre em 649.

Figura 2. O Império Sassânida (224 a 651 d.C)
http://worldhistorymaps.info/images/East-Hem_610ad.jpg

Ali (656-661) A morte de Otman gerou um problema de sucessão, houve uma certa confusão com respeito a quem deveria ser o novo califa. Para muitos seguidores era claro que deveria ser Ali, pois ele já tinha sido excluído do califado três vezes seguidas após a morte de Maomé. Sendo Ali casado com Fátima, filha do profeta, era pai dos únicos descendentes de Maomé. Outro grupo considerava o primo de Otman, Muawiya, como o legítimo sucessor. Ali saiu-se vencedor desse impasse e tornou-se o califa em 656, embora não sem grande contestação do preterido, Muawiya, e da-

¹ **Dinastia Gassânida** (251-636) era um reino composto de árabes cristãos romanizados que migraram da região do lêmen, no séc. III para a região da atual Síria. Este reino era aliado dos bizantinos, motivo pelo qual lutaram lado a lado contra os exércitos muçulmanos de Omar em 636.

queles que o apoiavam, como Aisha, uma das viúvas de Maomé. Em 656 houve conflito armado e opositores foram mortos, sendo Aisha feita prisioneira. Ali tornou-se o califa. Entretanto, em 661, Ali é assassinado por partidários de Muawiya, tornando este o sucessor, inaugurando a dinastia Omíada. Aqueles que não reconhecem a legitimidade dos califas que sucederam Maomé originaram os xiitas, que entendem que o sucessor legítimo do profeta seria Ali. Aqueles que aceitam a legitimidade dos califas que sucederam Maomé são conhecidos como sunitas.

Dinastia Omíada - (661 a 750) - Muawiya (661 - 680) – Desloca a capital de Meca para Damasco. Imensas áreas como o Magreb, península Ibérica, Sind e o Punjab são conquistados no começo do séc. VIII em um curtíssimo intervalo de tempo (figura 1). Na realidade, a rapidez da série de conquistas muçulmanas da época deve sua explicação, em parte, ao apoio de populações locais de judeus e cristãos², pois a tomada do poder pelos muçulmanos representava o fim da perseguição religiosa imposta pelos governos das regiões por elas habitadas. Interessante notar também que as populações locais budistas e hindus nas novas regiões conquistadas não foram discriminadas. Os muçulmanos, sabendo que estes povos também possuíam suas escrituras sagradas, passaram a considerá-los como “povos do livro” (*dhimmis*).

O árabe torna-se a língua oficial administrativa entre 685 e 705, em detrimento do grego e do persa, durante o governo de Abd al-Malik. Malik eliminou os símbolos estranhos ao islamismo (em particular zoroastrianos e cristãos) na moeda, colocando em seu lugar inscrições em árabe que remetem à unicidade de Deus. Em 680 eclode uma guerra civil no mundo islâmico encabeçada pelos *Mawali*³, muçulmanos não árabes que eram discriminados pelos muçulmanos árabes. Estes confli-

² Durante a invasão muçulmana da Espanha visigótica cristã (705), os judeus, que sofriam perseguição, colaboram com os invasores para a tomada da península, concluída em 714. Em 585 o Reino Visigótico de Toledo (atual Espanha) tinha se convertido ao catolicismo. Embora o governo omíada da península Ibérica tenha sido tolerante com outras religiões, boa parte da população converteu-se ao Islamismo, outra parte importante adotou a cultura e língua árabes, permanecendo, entretanto, cristãos. Estes cristãos são conhecidos como *Moçárabes*.

³ Termo utilizado para referir-se aos muçulmanos não árabes. Durante a expansão do Império, novos povos, como os turcos e os persas, foram sendo incorporados ao califado e islamizados. A partir de um certo momento do período omíada, embora muito mais numerosos, esses povos continuavam excluídos da estrutura de governo e do exército.

O Califado Omíada, já corroído pela crescente oposição Mawali, não era mais capaz de se sustentar no poder. A oposição abássida levantava a bandeira da retomada da religião como uma das prioridades do governo, assim como representavam os interesses dos muçulmanos não-árabes dentro da estrutura política do Império que os discriminava. Em 750, os abássidas tomam o poder matando a maior parte da família omíada. Os que sobreviveram fogem para a península Ibérica fundando o Emirado de Córdoba, politicamente independente de Damasco.

tos refletem a mudança de poder pelo qual passa o Império. Os muçulmanos não árabes, cada vez mais numerosos, tornavam-se política e culturalmente relevantes e passam a exigir representação de seus interesses na estrutura de governo até então comandada pelos árabes.

Dinastia Abássida – (750 a 1258) A capital é transferida de Damasco para Bagdá, cidade especialmente concebida para esse fim. Durante o período Abássida, os persas e os povos turcomanos passam a ter grande influência no mundo muçulmano, em particular na administração e na política, assim como na cultura islâmica.

Este califado prosperou durante os dois primeiros séculos. Entrou em declínio e gradualmente perdeu poder com o aumento da presença e influência dos povos turcomanos. Estes foram sendo incorporados à esfera islâmica a partir das fronteiras do Império. No princípio, como prisioneiros de guerra. Estes prisioneiros, conhecidos como *Mamelucos*⁴ ou *Ghilman* (plural de Ghulam) eram oriundos, em sua maioria, de populações turcomanas nômades de tradição guerreira⁵ que habitavam o limite norte do Império. Uma vez capturados, tornavam-se escravos-guerreiros. Ascendendo socialmente e adquirindo poder militar e político, passaram a ofuscar o poder do califa e constituir dinastias locais. Assim, o controle dos califas abássidas sobre o território do império era tênue e a desagregação política foi uma de suas características, com o surgimento de várias dinastias em diferentes regiões.

⁴ Os soldados-escravos, conhecidos como Ghilman ou Mamelucos, foram introduzidos no Império durante o califado de al-Mutasim (833-842) como parte de sua guarda pessoal. Nos combates nas regiões das fronteiras norte com o a região do Cáucaso e Ásia central, nômades, principalmente turcomanos, eram feitos prisioneiros de guerra e posteriormente tornavam-se guerreiros dentro de unidades sob ordens diretas do próprio califa. Mais tarde os Ghilman passaram a ser recrutados ainda crianças. Eram submetidos a treinamento e educação rigorosos, islamizados e, assim, entravam nas fileiras das forças locais. Os Ghilman, sendo estrangeiros, eram considerados extremamente confiáveis pelos califas, entre outros motivos por não possuírem ligação com qualquer estrutura social e de poder já estabelecida. Em contrapartida, guerreiros locais, por suas ligações tribais ou mesmo de parentesco, freqüentemente eram mais leais aos líderes locais (sheiks) e a suas famílias do que ao califa ou sultão. Além disso, por serem guerreiros nômades das estepes eram sabidamente exímios cavaleiros, treinados para combate, detentores de disciplina fora do comum e guerreiros tenazes. Estas entre outras razões faziam dos soldados-escravos uma opção interessante aos olhos dos governadores islâmicos não apenas para compor sua guarda pessoal como também sua principal força de defesa nos cada vez mais freqüentes embates por poder dentro de um Império policamente dividido. Os Ghilman passaram a constituir uma casta guerreira poderosa que começou a dividir e, posteriormente, suplantar o poder central do califa. Os Mamelucos paulatinamente adquiriram poder militar e político alcançando altas posições no governo como sultão e emir, ou mesmo tomando o poder e fundando dinastias próprias como no caso da Síria e do Egito.

Figura 3 - Império Ghaznávida

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/96/Ghaznavid_Empire_975_-_1187_%28AD%29.PNG

Dinastia Seljúcida. Suas origens estão na tribo turca Oghuz⁸ que habitava o norte do mar de Aral. Durante o séc. X convertem-se ao islã e continuam sua migração para o sul de encontro ao mundo muçulmano, liderados por Selyuq Ibn Duqaq, que dá nome à dinastia. O choque entre os exércitos nômades turcomanos e a dinastia Ghasnávida é inevitável com derrota desta última. Em 1040 as forças turcas de Togrul venceram o sultão ghaznávida Masud na famosa batalha de Dandanaqan⁹. Os turcos seljúcidas alcançam Bagdá em 1055 (figura 4). Togrul torna-se sultão e rei da dinastia seljúcida. Uma vez em território persa, adotaram sua cultura e língua. Bagdá só viria a cair em 1258 com a invasão das hordas mongóis lideradas por Hulegu Khan, neto de Gêngis Khan¹⁰. A cidade foi saqueada e destruída colocando um fim ao Califado Abássida.

Figura 4. Dinastia Seljúcida

http://s155239215.onlinehome.us/turkic/btn_GeographyMaps/AD1092SeljukSultanate.gif

⁸ Foi uma confederação de tribos turcomanas que surgiu do colapso dos Gokturks. (figura 115)

⁹ A batalha de Dandanaqan, travada entre os turcos Seljúcidas e a dinastia Ghasnávida terminou com vitória dos primeiros e tomada de Khorassan. Embora numericamente inferiorizados, cerca de 20.000 homens, atacaram os ghasnávidas ferozmente cortando seu acesso à água, que, mesmo contanto com contingente de 50.000 homens, não puderam evitar a derrota.

¹⁰ Gêngis Khan (séc XII) unificou as tribos mongóis e liderou uma das mais rápidas expansões territoriais já vistas. Considerado um grande gênio militar, construiu um Império que ia da China ao leste até a Áustria, na Europa, a oeste. Em sua maior extensão territorial, no final de séc. XIII, o Império mongol estendia-se por uma área de dezenas de milhões de km², o que faz dele o segundo maior Império de todos os tempos, sendo menor, apenas, que o Império Britânico em sua maior extensão.

2.2. Contexto político interno e externo. Contato e Intercâmbio com civilizações vizinhas. Casa da Sabedoria.

Poucos tinham alguma instrução. A educação que existia em seus lugares de origem consistia em memorizar textos ultrapassados sob o olhar vigilante de tacanhos doutores de religião. Não tinham qualquer conhecimento de tecnologia básica, ciência ou matemática. Eram incapazes de datar seus dias santos mais importantes, ou de mapear os movimentos regulares do Sol, da Lua e dos planetas. Não sabiam nada sobre fabricação de papel ou o uso de lentes e espelhos e não faziam idéia da existência do príncipe dos instrumentos científicos da época: o astrolábio. Os fenômenos naturais, como um eclipse da Lua ou uma súbita mudança de condições atmosféricas, os aterrorizavam. Achavam que era magia negra.

A chegada daquele exército de fanáticos horrorizou a população local. Quem eram aqueles bárbaros de pele clara e olhos azuis que marchavam sob o signo da cruz, e o que queriam nas terras árabes no crepúsculo do século XII da era cristã? (LYONS, 2011, p. 25)

Figura 5. A rota da seda (linhas rosas) no séc. I d.C. ligando o extremo leste asiático à Europa e África

O período abássida (750 a 1258 d.C) é conhecido como a época de ouro Islâmica. Em seu apogeu, a civilização islâmica atingiu os mais altos níveis de desenvolvimento em diversas áreas do conhecimento. A dinastia abássida transferiu a capital do Império de Damasco para Bagdá, a qual se transforma no centro intelectual irradiador de cultura e ciência do mundo medieval. A rota da seda, que durante milênios conectou as grandes civilizações da Ásia e da Europa, é um centro natural de convergência de culturas que corta o coração do Império Islâmico (figura 5). Embora este seja um fator relevante para a assimilação de novas idéias, não é possível entender as conquistas intelectuais do período sem considerar às iniciativas deliberadas da Dinastia Abássida nessa direção e a seu desempenho político. Nesta época a civilização islâmica incorporou uma quantidade enorme de avanços nas mais variadas esferas do interesse humano, conhecimentos estes acumulados ao longo de séculos por outras sociedades. Um número enorme de textos com o estado da arte em diversas áreas do saber, provenientes de civilizações com quem este Império esteve em contato, foram traduzidos para o árabe. Filosofia grega, tecnologia e ciência da China, Egito e Mesopotâmia, técnicas de combate sassânidas e bizantinas (FARROKH, 2007), equipamentos e estilo de combate dos povos nômades turcomanos e mongóis, matemática e o sofisticado aço de cadinho da Ásia Central e da Índia. Assim, por meio de todas estas contribuições, acabou-se construindo um corpo de conhecimento extraordinário que foi organizado, reinterpretado e expandido pelos muçulmanos a partir do séc. VIII. Fundou-se a chamada “Casa da Sabedoria” em Bagdá para ser biblioteca e o grande centro de estudos e de desenvolvimento intelectual do Império. Tornou-se o lugar para o qual se dirigiam os maiores sábios e acadêmicos originários de todos os cantos do mundo islâmico medieval e mesmo de fora dele. Al Kindi¹¹, um dos pioneiros no estudo sistemático das espadas e do ferro utilizado em sua fabricação, sua classificação, origem, processo de produção, material utilizado, foi um dos grandes eruditos da Casa da Sabedoria.

Uma influência externa importante no campo do conhecimento metalúrgico é, sem dúvida, a cultura turcomana nômade. É sabido que povos turcomanos detinham grande tradição metalúrgica desde tempos remotos, em parte, provavelmente, pelas importantes jazidas de cobre e ferro nas regiões da Ásia Central por eles habitadas

¹¹ Abu Yusuf Ya'qub ibn Ishaq al-Kindi. Nascido em Kufa, atual Iraque em 801 d.C. Indicado pelos califas abássidas para realizar traduções dos textos filosóficos e científicos gregos para o árabe. Credita-se a ele a autoria de dezenas de livros e tratados.

desde a antiguidade. Por este motivo, ferreiros turcos eram muito estimados no mundo islâmico. O próprio califa Al Mu'tasim (833 a 842 d.C.) nomeou um escravo turco como seu principal armeiro. Sabe-se que as tribos turcomanas dos montes Altai, que faziam parte do Império Juan Juan (330 a 555 d.C.), dedicavam-se à metalurgia, motivo pelo qual atuavam como ferreiros escravos dos Juan Juan (SINOR, 1981). Este *know how* dos turcos também é corroborado por outros povos com quais os turcos estiveram em contato. Textos antigos chineses também confirmam o fato.

A espada de Damasco está inserida dentro do contexto de todas as inovações, intercâmbio e desenvolvimento tecnológico e cultural excepcional do mundo islâmico da época, cujo símbolo mais importante é a Casa da Sabedoria.

2.2.1. Casa da Sabedoria

Ao contrário de seus contemporâneos cristãos, os muçulmanos não viam contradição entre o conhecimento das leis da natureza e a religião. Assim, eles incorporaram Aristóteles e Platão, enquanto a Igreja católica via suas ideias como uma ameaça a seus dogmas.

Os textos dos grandes filósofos gregos foram traduzidos para o árabe ficando disponível para todos os acadêmicos em Bagdá. O árabe se tornava a língua do conhecimento. Desenvolvimentos em álgebra e trigonometria, engenharia e astronomia, entretanto, talvez os mais impressionantes avanços ocorreram na medicina. Enquanto os europeus depositavam sua esperança de cura em Deus, os muçulmanos desenvolveram a teoria de que as doenças eram transmitidas por pequenos organismos e que, por isso, aqueles que sofriam de doenças deveriam ser isolados e tratados. Foi o conceito básico que fundamenta os modernos hospitais. Estudos sobre anatomia foram tão desenvolvidos que ainda permaneceram como novidade seis séculos mais tarde. Estudos aprofundados sobre a luz, seus efeitos e a fisiologia do olho foram desenvolvidos na casa da sabedoria por Ibn Al-Haytham¹², considerado o pai da óptica. Mil anos antes que o ocidente adotasse a prática, médicos muçulma-

¹² Em sua obra *Livro de óptica* (Kitab al-manazir) propõe um novo sistema para explicar o fenômeno da luz e da visão. Esta nova abordagem rejeitava a teoria da emissão da óptica Ptolomaica. Para este, os raios seriam emitidos pelos olhos e não refletidos pelos objetos e então captados pelos olhos. Interessante notar que seu trabalho, então ignorado, foi traduzido para o Latim por volta do ano 1200 d.C. O texto foi estudado e expandido por Witelo tornando-se a obra clássica do assunto na Europa medieval por vários séculos.

nos já operavam catarata.

A assimilação da tecnologia da produção do papel proveniente da China¹³ tornou possível a distribuição do novo conhecimento que se desenvolvia por todo o Império. A aquisição de livros tornou-se fácil. Sabe-se de uma rua com dezenas de lojas de livros. Vale lembrar que na época, mesmo um monastério europeu, teria, provavelmente, muito poucos textos.

Enquanto a Europa vivia o que muitos chamam de Idade das Trevas, com a maior parte do mundo cristão mergulhado em pobreza e atraso científico, Córdoba, a província islâmica na Europa, era próspera e sofisticada. Possuía palácios, livrarias, hospitais, mesquitas, etc. A influência muçulmana na arquitetura gótica¹⁴ Européia foi marcante, principalmente no sul do continente (Itália) onde ficam evidentes que algumas tendências estéticas foram inspiradas naquelas do Magreb e do Oriente Médio islâmicos (PICCINI, 2009).

Tecidos da mais alta qualidade também provinham de terras muçulmanas. Não é raro encontrar quadros renascentistas com a Virgem Maria vestindo roupas sofisticadas com detalhes em ouro de versos em árabe e, de forma impensável, às vezes do próprio Corão, pois entre as melhores roupas consumidas pela Europa estavam aquelas produzidas em seda provenientes do mundo islâmico, que tinha a indústria têxtil como parte importante de sua economia (figura 6).

Finalmente, uma grande parte de todo este avançado conhecimento científico-filosófico, desenvolvido pelos muçulmanos durante o período, foi traduzido do árabe para o latim sendo, então, transferido para a Europa. Mesmo Platão e Aristóteles foram redescobertos pelos europeus medievais através de traduções de textos da filosofia árabe. O grande teólogo São Tomás de Aquino, que teve contato com os textos do filósofo muçulmano Averroes¹⁵, utilizou-se de suas idéias para justificar a separação entre fé e razão. Esta postura comum na civilização islâmica tornou-se a base do questionamento científico europeu. Estas traduções e influências criaram

¹³ A cidade de Wasi, em 751, (no leste da Pérsia) foi conquistada pelas tropas abássidas. – Em julho, na Ásia Central, na cidade de Talas (próximo de Samarcanda) ocorreu a chamada Batalha de Talas (ou de Athlach, ao sul do Lago Baikal, próximo de Samarcanda), em que os árabes (sob o comando do general Ziyad ibn Salih) venceram os chineses: partir daí os árabes dominaram a região em torno de Tashkent. Nesta batalha os árabes capturaram artesãos chineses que lhes ensinaram o segredo da produção de papel. O papel começou a substituir, progressivamente, o papiro e o pergaminho (na Europa foi a partir da Espanha, desde o século XII).

¹⁴ Refere-se à chamada arquitetura gótica apenas do sul da Europa.

¹⁵ Averroes aparece na pintura clássica renascentista de Rafael sobre os grandes pensadores ocidentais. Ele aparece ao lado de Platão e Aristóteles. “como uma vívida lembrança do que o mundo deve ao Islã” – Islam Empire of Faith

um novo fluxo de idéias que, somado a outros fatores, viriam a desencadear uma série de eventos que seriam reconhecidos posteriormente sob o nome de Renascimento (figura 8).

Figura 6. Duccio, A virgem e a criança com St. Dominic e anjos.
<http://www.studyblue.com/notes/note/n/ah-visual-analysis-i/deck/127494>

Figura 7. Duccio, A virgem e a criança com St. Dominic e anjos. – finas sedas eram produzidas em terras islâmicas. Detalhe mostra o manto da virgem cristã com inscrições em árabe.
<http://www.studyblue.com/notes/note/n/ah-visual-analysis-i/deck/127494>

Figura 8 - A escola de Atenas, de Rafael. Famosa pintura renascentista de 1510. Averróes em destaque. http://espalhandoarte.blogspot.com.br/2010_11_01_archive.html

2.3. Influências militares externas

Inovações na forma de combater e nos equipamentos utilizados para tal fim, freqüentemente são desenvolvidos em função de uma necessidade específica ou transmitidos pelo contato entre as civilizações. Seja de forma pacífica, pelo fluxo de informações, de pessoas ou pelo comércio, seja pelo confronto armado onde cada lado procura subjugar o oponente utilizando suas próprias estratégias, táticas, técnicas e equipamentos. A introdução do sabre no Império Islâmico faz parte de um conjunto de influências estrangeiras sofridas por ele ao longo da Idade Média.

Acredita-se que o sabre, espada curva com gume no lado convexo, tenha sido introduzido¹⁶ no mundo muçulmano por volta do séc. IX d.C ou mesmo no séc. VIII, em decorrência da influência dos povos nômades do norte. O sabre, arma de cavalaria tipicamente asiática, era utilizado na época por diversos povos nômades das estepes asiáticas, mas não pelos muçulmanos, que utilizavam a espada reta, da mesma forma que os europeus. A partir do séc. VIII, estes povos nômades de origem turcomana começam a entrar no Império de forma sistemática. Este novo componente étnico-cultural passa a ser incorporado ao Império Islâmico trazendo consigo sua cultura militar, tradições e equipamentos, como o sabre, conhecido como *Kilij*¹⁷. Outra influência que claramente pode ser atribuída aos povos turcomanos nômades é o uso do estribo¹⁸ metálico e o uso extensivo da armadura lamelar¹⁹. Este último embora já fosse conhecido, torna-se popular em decorrência da influência da Ásia Central.

¹⁶ É provável que o sabre tenha sido introduzido no mundo islâmico durante o governo abássida de al Mutasim, por volta de 840 d.C.” (ALEXANDER, 2001). O mais antigo sabre muçulmano foi desenterrado em Nishapur, Iran e revela claramente que o sabre já era usado em terras islâmicas no séc. IX. Este sabre provavelmente pertenceu a um escravo-soldado turco da dinastia Samânida.

¹⁷ Os sabres são conhecidos dos povos nômades da Ásia Central deste a época dos Xiong-nu (ÇORUHLU, 1998) Outros autores afirmam que os povos nômades teriam transferido o conceito do sabre da China, o Dao, para as civilizações a oeste dela, como os muçulmanos e, posteriormente, a Europa católica.

¹⁸ O estribo confere grande estabilidade ao cavaleiro e permite um uso mais eficaz do cavalo em combate. O equipamento representou um grande avanço militar que, entre outras coisas, permitiu o uso mais eficiente da espada sobre o cavalo. O estribo parece ter sido uma invenção chinesa da Dinastia Jin (séc. III ao V d.C) que teria sido transferida aos nômades Heftalitas que, por sua vez, podem ter levado a invenção para os persas sassânidas durante as guerras contra estes por volta do séc. V d.C. Os muçulmanos começam a utilizar o equipamento após a conquista da Pérsia (FARROKH, 2007).

¹⁹ A Idade Média conhecia basicamente três tipos de armadura. A com escamas, a cota de malha e a lamelar. Esta última era composta de uma série de placas metálicas ou de couro mantidas justapostas por meio de um fio ou linha. Esta armadura confere maior nível de proteção que a cota de malha, principalmente contra flechas, embora seja menos flexível (TSURTSUMIA; BULLOCK, 1947; ALEXANDER, 1983).

De forma geral a região do Egito, norte da África e Espanha estiveram sob maior influência militar européia. Por outro lado, os exércitos islâmicos das regiões asiáticas do Império foram influenciados de forma mais acentuada pelos bizantinos, persas e turcos.

O Império Bizantino exerceu maior influência sobre os exércitos islâmicos no primeiro momento da expansão, entretanto seu prestígio foi diminuindo ao mesmo tempo em que as tradições militares persas e da Ásia Central (turcos) passaram a predominar. Desde o princípio das conquistas, as tropas islâmicas foram engrossadas por significativos contingentes inimigos, em particular de divisões de elite sassânidas, os Savaran²⁰. As invasões no Egito, a oeste, também parecem ter contado com o apoio de desertores persas e gregos bizantinos. Embora pouco citados em fontes árabes, a presença destes grupos nas fileiras invasoras acabaram influenciando a forma de combater.

2.3.1. A cavalaria e o sabre

No princípio da expansão, as forças muçulmanas apoiaram-se quase que exclusivamente na tradicional infantaria, não só por ser a forma tradicional dos exércitos árabes combaterem, mas também devido à escassez de cavalos. Os cavalos, nessa época inicial eram tão valiosos que frequentemente eram levados ao campo de batalha e apenas montados no momento do combate. Assim, copiar táticas de cavalaria dos bizantinos ou dos sassânidas não era possível naquele momento. Entretanto, na medida em que o Império se expandia, regiões com tradição na criação e no uso de cavalos foram anexadas e passaram a fornecer um número considerável de animais ao exército como tributo ou mesmo como espólios de guerra. A introdução do cavalo na máquina de guerra muçulmana por influência bizantina, num princípio, e turco-sassânida, mais tarde, trouxe consigo outras mudanças na forma de combater. Por exemplo, os primeiros arqueiros muçulmanos combatiam a pé e parecem ter sofrido forte influência dos bizantinos, posteriormente passaram a adotar formas de combater a cavalo típicas dos povos da Ásia Central. Ao final do séc.

²⁰Compunham a unidade de elite dos persas sassânidas. Eram uma divisão de cavalaria cujas unidades variavam desde cavalaria leve de arqueiros até os conhecidos catafractos, cavalaria pesada com cavalo e cavaleiro fortemente protegidos com armaduras de escamas e cota de malha, armados normalmente com lanças, espadas e maças. Eram destinados ao choque direto com o oponente (FARROKH, 2007)

VII e começo do VIII, a cavalaria já se tornava uma força significativa dentro dos exércitos islâmicos sobrepondo-se à infantaria. A cavalaria pesada persa e posteriormente arqueiros montados ao estilo dos nômades da Ásia Central, foram duas inovações adotadas dentro do Islã durante os séculos VIII e IX, tornando a cavalaria a partir de então, a peça mais importante dos exércitos dos conquistadores. (NICOLLE, 1999, 2007)

Aliás, os equipamentos defensivos revelam de forma bem evidente as diferenças de enfoque entre a tradição militar ocidental e oriental medieval ficando assim mais fácil identificar a influência predominante que agia sobre o exército muçulmano da época. De forma geral, a espada reta utilizada na Europa visa à perfuração do tronco do oponente, assim, a armadura européia da época normalmente confere mais proteção ao peito e ao ventre, dando aos membros menor atenção. Por outro lado, na Ásia, onde se fez uso milenar do par sabre-cavalo como instrumento indispensável de guerra, desenvolveram-se equipamentos que fornecem maior nível de proteção aos braços, principais alvos das armas de corte tais como o sabre. O escudo pequeno e redondo é o escolhido pelos nômades asiáticos enquanto na Europa este é substituído por um maior e alongado. Em geral, a proteção destinada aos cavalos de combate segue o mesmo princípio. A tradição militar ocidental volta sua atenção principalmente para proteger o peito do cavalo. No oriente há maior preocupação em proteger a cabeça, pescoço e suas pernas (MAZAHARI, 1958)]. Estas tendências de tradição asiática trazidas pelos persas e povos da Ásia Central passam a predominar na cultura militar islâmica medieval.

Finalmente, entre a grande diversidade de armas utilizadas no Império muçulmano ao longo da Idade Média, a espada tinha lugar especial. Com relação à origem, no princípio da era islâmica, podiam ser produzidas dentro da península arábica ou mesmo importadas, sendo as indianas, aparentemente, uma das mais estimadas. Eram retas desde a época de Maomé e assim continuaram até meados do séc. IX quando aparecem os primeiros sabres levemente curvos em Khorasan, região oriental do Império. Estes sabres eram a arma comum dos povos turcomanos nômades da época e continuavam sendo usados nas mãos dos ghilman, prisioneiros de guerra turcos que, uma vez capturados nas fronteiras nordeste do Islã eram utilizados como guerreiros dentro das fileiras das forças muçulmanas. Na medida em que os povos turcomanos começam a penetrar no Império Islâmico, primeiro como sol-

dados escravos e posteriormente por meio de invasão armada, sua influência cultural e militar sobre o Império aumentou, expressando-se de diversas formas, como na armadura do tipo lamelar, cavalaria com arco, técnicas de batalha e nas armas de combate, tais como a espada curva conhecida como sabre²¹.

2.3.2. Sabre contra a Espada reta

Em determinadas situações, como num combate individual a pé (figura 9), a técnica de estocar é mais eficaz quando comparada ao corte. Aquele que ataca com corte deve executar um movimento amplo para atingir seu adversário, sua espada, assim, percorre uma grande distância. Já no caso da técnica utilizada para perfurar, a espada tem trajeto muito mais curto e direto, atingindo o oponente antes deste.

Figura 9 - Combatente a esquerda ataca para estocar, o da direita para cortar.(BURTON,1987)

Por outro lado, para aqueles que lançam ataque a partir de cavalos, como os guerreiros nômades das estepes da Ásia Central, ou mesmo carros de guerra ou

²¹Importante notar que o sabre é uma arma cuja origem está intimamente relacionada com os povos asiáticos. Até meados da alta Idade Média era incomum o uso do sabre na Europa. Na Europa, até mesmo a cavalaria usava espada reta de estoque, ao mesmo tempo em que na Ásia, o guerreiro, mesmo a pé, com freqüência usava o sabre. Os primeiros relatos sobre o uso mais generalizado do sabre na Europa ocorrem apenas após a da invasão dos Hunos no séc. IV d.C, povo nômade asiático que sabidamente utilizava o sabre como arma de combate próximo (MAZAHERI, 1958).

carruagens, a espada de lâmina curva é adequada. A espada reta, projetada para perfurar, perde sua precisão sobre a instável montaria de um cavalo, além disso, nesta situação, tem que cobrir uma grande distância até o oponente, não representando nenhuma vantagem ao seu portador. O sabre, por sua vez, tendo *centro de percussão*²² na região de maior curvatura, funciona de forma semelhante a um machado, golpeando o adversário com o gume, além de ser consideravelmente mais fácil de manusear a partir do lombo do animal em movimento. A maior eficácia deste design para quem executa ataque montado a cavalo foi rapidamente constatado pelos povos nômades das estepes desde antes da era cristã. Estes povos guerreiros das planícies asiáticas, tais como os turcomanos, os mongóis e citas, que eram extremamente dependentes do cavalo para suas atividades, e, em particular, para a guerra, parecem ter sido os pioneiros na utilização extensiva do sabre. Interessante notar que historicamente mesmo divisões que combatiam a pé, às vezes fizeram uso do sabre, sendo que para aqueles que lutam a cavalo, o uso da espada reta de perfuração é muito menos comum. (MAZAHERI, 1958)

A vantagem da espada curva quando utilizada para cortar pode ser verificada sem muita dificuldade. Considerando o movimento circular que se realiza para efetuar o corte, a lâmina de uma espada reta atinge e transpassa o alvo em uma seção transversal da espada perpendicular ao seu comprimento. Ao contrário, um sabre, ao atingir um alvo, atravessa-o com uma seção da espada oblíqua em relação ao

²² Centro de percussão de uma espada é o ponto de maior poder de corte ao longo da lâmina. Neste local da lâmina o impacto do golpe circular de corte provoca a menor oscilação em sua empunhadura. Esta reação pode ferir a mão ou o pulso de quem desfere o golpe, além de representar uma dissipação de parte da energia do impacto na forma de vibração. Por outro lado, um golpe efetuado exatamente sobre o centro de percussão da lâmina, transfere toda a energia para o alvo, infligindo o maior dano possível ao adversário.

Aproximando a lâmina de uma espada a uma barra chata de largura muito pequena em relação ao seu comprimento, podemos realizar o cálculo de seu Centro de Percussão da seguinte forma:

$$b = \frac{I}{AM} \quad \text{sendo} \quad I \cong \frac{ML^2}{12}$$

onde **b** é a distância entre o centro de gravidade (CG) da lâmina e o centro de percussão (CP), **I** é o momento de inércia da lâmina em relação ao CG e **A** a distância entre o eixo de rotação e o CG.

comprimento da lâmina. As figuras 10 e 11 abaixo revelam como o alvo de uma espada curva é atravessado por uma “cunha” muito mais aguda, favorecendo o corte.

Figura 10. Seções vistas pelo alvo cortado por espada reta e curva.
http://www.auktionshaus-stahl.de/tl_files/images/kataloge/310/73418-0-grosses-osmanisches-schwert-shamshir-mit-nashorn-griff.jpg <http://www.medieval-weaponry.co.uk/acatalog/S5728M-1000.jpg>. Adaptado.

Figura 11. A figura representa um trecho de uma espada vista de perfil. Duas seções de uma espada. ABC é a seção que atravessa um alvo no caso de um corte efetuado com uma espada reta. ADE é a seção de uma espada curva que atravessa um objeto durante o corte.

Assim como a aplicação da espada influencia enormemente seu formato geral, também a grande variedade de desenhos para sua seção transversal é determi-

nada pelo seu uso. A região em que as duas faces da lâmina se encontram forma o fio ou gume. Seu ângulo é, portanto, definido pela inclinação relativa de um lado da lâmina e o outro. Para manter a integridade do conjunto, este ângulo deve ser tanto maior quanto mais resistente for o material a ser cortado. Assim, uma faca comum de cozinha, por exemplo, deve ter fio com ângulo entre 10° e 20° , uma vez que se destina a cortar substâncias relativamente moles. Por outro lado, em uma ferramenta projetada para cortar madeira deveríamos encontrar entre 25° e 35° . Finalmente, no caso de uma espada, concebida para ser capaz de cortar não apenas tecidos como também ossos, o ângulo deve ser de cerca de 40° (figura 12A) (BURTON, 1987). Se menor, pode não resistir ao impacto com o material duro que compõe o osso sem sofrer algum tipo de deformação, se maior, compromete o peso total da lâmina.

Figura 12. Diferentes seções transversais de espadas.

A figura A mostra o ângulo adequado para o gume de uma espada. Entretanto, tal seção transversal implica em peso excessivo. Este problema é mitigado com a solução apresentada na figura B, esta seção bi-convexa de base plana alivia significativamente o peso sem perda de resistência para o corte transversal. É típica da Espada de Damasco. Na figura C temos ainda mais eliminação de peso, no entanto, há prejuízo na resistência à *flambagem*²³, a lâmina tende a fletir quando submetida a

²³ Fenômeno físico que ocorre em corpos que apresentam uma das dimensões muito maior que as outras duas. Estes elementos delgados tendem a sofrer flexão quando submetidos a esforços de compressão axial superiores a um valor crítico. Podemos calcular a resistência à flambagem de uma espada, aproximando-a ao caso de uma haste bi-articulada submetida a esforço axial. A carga crítica é a maior força que a lâmina resiste sem fletir e revela, portanto, a resistência à flambagem, a qual se

esforços longitudinais. O desenho D introduz o conceito de canaleta o que além de reduzir ainda mais o peso da lâmina, tenta resolver o problema da flambagem de C, gerando, em contrapartida, outro, a presença de um “pescoço” fino de baixa resistência entre as duas canaletas. O caso E apresenta uma solução interessante, pois continua resistente à flexão, mas desloca o pescoço frágil para a base, região da lâmina menos solicitada mecanicamente.

2.4. Espadas. Conceito e classificação.

A palavra “sword”, que não possui a mesma etimologia de seu equivalente em francês, estaria associada a uma origem germânica. O termo em sueco é Svärd, em dinamarquês, sværd, em anglo-saxão, sweord, em alemão antigo, svert, hoje, schwert e em inglês antigo, swerd. Estes termos seriam derivados do egípcio, Sayf, safe ou Sfet. Já o termo “sabre” pode ter derivado também do egípcio por meio do assírio Sibirru e do acadiano, Sibir ou Sapara. O termo sabre utilizado atualmente no ocidente seria derivado diretamente do Sayf árabe. O termo “*espada*”, assim como outros termos neolatinos como epeeé, spada ou espé vem de Spatha ou Spata, que por sua vez pode ter derivado do egípcio Sfet através do celta. (BURTON, 1987)

A espada é composta normalmente de duas partes.

Lâmina. A região cortante longitudinal, chama-se fio ou gume e sua extremidade perfurante é a *ponta*.

Empunhadura ou punho. Ela pode ser simples ou complexa, podendo ser composta de várias partes (figura 13):

relaciona ao Módulo de Young (E), Momento de Inércia (I) e comprimento de flambagem (L_f) da seguinte forma:

$$P_{cr} = \frac{\pi EI}{L_f^2}$$

Espiga. É a extensão da folha para dentro da empunhadura. É recoberta com materiais adequados, tais como madeira, couro, metais, osso, etc, para proporcionar atrito e firmeza na empunhadura (grip).

Pomo. A espiga termina normalmente com o pomo, na extremidade oposta da ponta da espada. Fixado por meio de parafusos ou rebites, esta parte da espada tem a função de servir de contrapeso à lâmina. Normalmente, devido à natureza de sua utilização (corte), os sabres não possuem tal componente.

Guarda. Também conhecido como guarda-mão. Pode ser dividida em dois grandes grupos. A guarda que protege contra perfuração e a guarda contra corte. A primeira, originalmente, não era muito mais do que uma pequena placa ou chapa metálica, reproduzindo um pequeno escudo para a mão e que pode variar significativamente em função da região e época. A guarda projetada para proteger contra corte é conhecida como “*crossguard*”. Estas barras localizadas entre a lâmina e a espiga impedem que a lâmina do oponente atinja a mão de quem manipula a espada, fazendo a lâmina do adversário deslizar ou ricocheteiar.

Contra-guarda. É uma peça que conecta o pomo à guarda, formando um arco que protege às costas da mão contra corte.

Figura 13 - Partes de uma espada. Algumas informações na figura não foram citadas no texto.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Sword_parts_pt.svg 10-02-2013

Seguindo a classificação proposta por Burton (1884), as espadas são divididas em dois grandes grupos:

A. Espadas de lâmina curva

- a) Gume em ambos lados. Ex. Espada abissínia²⁴ (figura 14).
- b) Gume no lado côncavo. Ex. Kukri, Yataghan (figura 16), kopis grega (figura 18).
- c) Gume do lado convexo. Ex. Sabres comuns (figura 17), Flissa (figura 15).

B. Espadas de lâmina reta.

- a) Desenhadas para cortar e estocar. Ex. Claymore (figura 19c)
- b) Largas e sem ponta. Ex. Espada de execução (figura 19a)
- c) Estreita sem gume e com ponta. Ex. Florete (figura 19b)

Figura 14 – Espada abissínia. Curva de duplo gume.

http://www.antiques.com/vendor_item_images/ori_1910_1417653316_1133394_104suc_aaa_900x900.jpg 10-02-2013

²⁴ sinônimo de egípcia.

Indiana1

www.delcampe.net

Figura 15 - Flissa. Originária do Magreb do séc. XVI. Fio no lado convexo.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Flissa> 10-02-2013

www.oriental-arms.com

Figura 16 - Yataghan otomana do séc. XVI ao XIX. Curva com fio no lado côncavo.
<http://www.vikingsword.com/vb/attachment.php?attachmentid=35365&stc=1> 10-02-2013

Figura 17- Sabre persa. Lâmina curva com gume no lado convexo (FIEGEL, 1991).

Figura 18 - Kopis grega. Curva com gume do lado côncavo.
<http://www.swordhistory.info/wp-content/uploads/greek-kopis-sword.jpg> 10-02-2013

Figura 19 – Espadas retas. a - Espada de execução séc. XVI, b – Florete séc. XVII ao XVIII, c – Claymore séc. XV ao XVIII.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Ep%C3%A9_de_justice_IMG_3471.jpg

<http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/82/Rapier-Morges-2.jpg>

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Swords_img_1633.jpg 10-02-2013

2.5. A Espada de Damasco

Antes de abordarmos as características que identificam a lendária espada, faz-se necessário estabelecer o que é entendido por Espada de Damasco (figura 20) neste trabalho. Dada a falta de definição padronizada na literatura do que é esta arma histórica, vamos sugerir a seguinte definição:

“Espada de Damasco é um sabre produzido principalmente em terras muçulmanas durante a Idade Média até o século XIX, cuja lâmina, produzida a partir de um único lingote de aço de cadinho UHC²⁵, apresenta diferentes tons claros e escuros formando um padrão ondulado macroscópico visível, consequência de sua microestrutura.”

²⁵ Ultra High Carbon. Aços hipereutetóides de teor de carbono tipicamente entre 1,0 e 2,1%. (SHERBY, 1999).

Figura 20A. Espada de Damasco. Detalhe da empunhadura e do padrão. Shamshir persa. (FIGIEL,1991).

Figura 20B. Espada de Damasco. Detalhe da empunhadura. Shamshir persa. (FIGIEL, 1991).

Figura 20C. Espada de Damasco. Detalhe da empunhadura e do padrão. Shamshir persa. (FIGIEL, 1991).

2.5.1. Microestrutura característica da Espada de Damasco

A lâmina da espada de Damasco possui desenhos ondulados macroscópicos que alternam tons claros e escuros (figura 21) podendo apresentar uma grande vari-

idade de padrões. Seus desenhos sinuosos constituem o produto macroscópico da seguinte microestrutura²⁶:

- a) Regiões claras²⁷: Partículas de Cementita (Fe_3C) alinhadas.
- b) Regiões escuras: Esta matriz pode ser perlítica, bainítica ou martensítica. Entretanto é comumente perlítica.
- c) Embora a forma das partículas de cementita possam variar, são geralmente esféricas mais do que facetadas. Seu diâmetro fica na faixa de 3 a 20 μm .
- d) Distância entre as faixas de cementita varia entre 30 e 100 μm em seções transversais ou longitudinais.

Figura 21. Composição do padrão damasceno. Partículas de carboneto distribuídos regularmente em uma matriz ferrítica. (VERHOEVEN, 1998)

Durante toda a Idade Média e provavelmente desde a Antiguidade, diversos estudiosos dedicaram-se a estudar a grande variedade de lâminas de aço de Damasco, surgindo daí diversos sistemas de classificação. Cada classificação leva em consideração critérios que, embora diferentes, giram basicamente em torno de quatro características; cor, geometria dos padrões visíveis na superfície da lâmina, lugar de manufatura e processo de fabricação. As lâminas mais amplamente conhecidas

²⁶ Esta definição é inspirada em estudos de J. Verhoeven em seu artigo "What is Damascus Steel?" (VERHOEVEN; PETERSON, 1992)

²⁷ A cor revelada depende do produto utilizado no ataque químico. Devido à frequência com que é encontrada na literatura, foi convencionado, neste trabalho, associar a cementita à cor clara e a ferrita à cor escura.

são as Taban, Kara Taban, Khorassan, Kara Khorassan, Gundy, Konn Gundy, Neuris e Sham.

Segundo as cores e padrões, uma classificação aceita é:

a) Damascos negros e freqüentemente brilhantes. Exemplos: *Kara Khorassan* – negros de *Khorassan* e *Kara Taban* – que significa negros brilhantes.

b) Damascos cinzas – menos brilhantes que os negros. Entre eles encontramos as variedades chamadas *Sham*²⁸ (figura 25 e 28) e as valiosas *Kirk Narduban* (figura 22, 23 e 27), também conhecidas como *escada de Maomé* ou *escada do profeta*.

Figuras 22 e 23. Kirk narduban com escadas de Maomé .(KHORASANI, 2006, p.126).

Figura 24. Bidr ou Konn.(KHORASANI, 2006, p.124)

Figura 25. Damasco conhecido como Sham.(KHORASANI, 2006, p.124)

²⁸ Na Síria, a cidade de Damasco é conhecida como ash-Sham. Ver figura 11.

Figura 26. Damasco com padrão Jawhar indiano. (KHORASANI, 2006, 125)

Figura 27 e 28. Kirk Narduban dupla e Sham. (KHORASANI, 2006, p.126)

Há especialistas que avaliam as lâminas em função dessas cores e pelo contraste claro escuro dos padrões, assim como pelos próprios padrões. Seguindo esses critérios de valor, os *Khorassan*, *Kara Khorassan*, *Taban* e *Kara Taban* são os mais apreciados. Por outro lado, os menos estimados são os da variedade *Sham*.

Inscrições com passagens do Alcorão, versos de poemas, nome do ferreiro que a produziu, data e até mesmo desenhos que funcionam como *talismã*²⁹ são frequentemente encontrados impressos nas lâminas. (figuras 29, 30 e 31)

²⁹ Um desenho reconhecido como amuleto religioso era um quadrado dividido em quatro partes iguais encerrando as letras B, U, D e H, que correspondem aos números 2, 4, 6 e 8. É conhecido como *baduh*. Este era um símbolo que pretendia dar boa sorte ao dono do sabre (figura 29 e 30). Acreditava-se que números ímpares davam azar. (KHORASANI, 2006)

Figuras 29, 30 e 31. Cartucho com quadrado baduh. As inscrições em árabe dizem “O realizador de desejos” e “trabalho de Assadolah (KHORASANI, 2006, p. 148)

Outra classificação divide as espadas em cinco grupos baseados nos padrões de seus desenhos. No entanto, estas classificações baseadas em formato dos desenhos e cores ou tons, tornam-se pouco precisas quando os desenhos não se encaixam perfeitamente nos padrões adotados. Uma classificação cujo critério é o processo metalúrgico de fabricação é:

a) Damasco genuíno com desenho visível. Este tipo de aço apresenta os padrões visíveis em sua superfície. É produzido a partir de um único lingote e possui teor de carbono tipicamente entre 1 – 2%. As faixas, visíveis a olho nu, são resultado do contraste entre cementita (Fe_3C) e ferrita, que por sua vez surgem após longo e complexo processamento termomecânico³⁰.

b) Damasco genuíno sem desenhos visíveis³¹. Este tipo lâminas possui rota de processamento e propriedades mecânicas similares ao primeiro, quando não melhores. Sua microestrutura mais refinada não permite a formação de padrão macroscó-

³⁰ Um esclarecimento detalhado é feito adiante.

³¹ Esta não seria uma espada de Damasco, segundo a definição adotada no presente trabalho.

pico na superfície da espada. Estas lâminas não seriam espadas de Damasco segundo a convenção adotada no trabalho.

c) Falso Damasco ou damasco caldeado. Estas lâminas são produzidas a partir de sobreposição mecânica de placas ou arames de ferro com alto e baixo teores de carbono alternados. Obviamente não é produzido a partir de um único material, como no caso do primeiro, e apresenta processamento totalmente diferente. Sua aparência superficial pode ser muito semelhante ao autêntico. Devido às propriedades mecânicas excepcionais e renome do aço de Damasco genuíno, é possível que este tenha inspirado seu irmão, que é produzido por caldeamento, no intuito de replicar suas características. Entretanto, o damasco soldado acabou tendo seu desenvolvimento próprio e após séculos, uma rica variedade de tipos foi produzida, tendo seu processamento atingido alto grau de refinamento, principalmente na Europa.

2.5.2. Damasco caldeado

O padrão visual de damasco também pode ser obtido por meio da montagem e caldeamento de aços com diferentes teores de carbono. A técnica de se formar lâminas compostas era conhecida na Europa desde antes da era cristã e permitia obterem-se espadas de melhor desempenho. Uma lâmina podia, por exemplo, possuir alma de aço com baixo teor de carbono e a região do corte composta de outro aço com alto teor de carbono, conferindo à lâmina tenacidade na alma e dureza no fio, respectivamente. Desta, forma, inúmeras configurações podiam ser feitas de forma a adequar a lâmina da espada a sua forma de utilização e finalidade específica³² (figura 32). O desenvolvimento das técnicas de forjamento, habilitaram os ferreiros medievais a desenvolverem lâminas com padrão superficial cada vez mais complexo e semelhantes ao do padrão damasceno autêntico³³, principalmente à partir do

³² Segundo Herbert Maryon, a vitória romana na famosa batalha de Telamon, 225 a.C., Etrúria, entre os celtas e Roma, é atribuída, em grande medida, à melhor qualidade das curtas espadas romanas, em oposição às mais longas armas celtas. Nesta derrota celta, onde 40.000 de seus soldados morreram, relata-se que as espadas celtas se dobravam durante a batalha, forçando os combatentes a endireitarem-nas durante o calor do combate. Esta derrota acabou servindo de forte estímulo para o desenvolvimento das espadas de lâminas compostas (CHARRE, 2004).

³³ Por autêntico, entende-se padrão de damasco que se produz em decorrência da microestrutura do aço cuja matéria prima é um único lingote de aço UHC.

período merovíngio, possivelmente na tentativa de se replicar as espadas com padrão de damasco genuíno (CHARRE, 2004; SMITH, 1960).

Figura 32. Seção transversal de espadas revelando diferentes configurações para a montagem. As cores representam diferentes materiais.

A. aço baixo carbono, B. ferro com certo teor de fósforo, C. aço alto carbono.

vikingsword.com "The serpent in the sword: Pattern-welding in early medieval swords"

As técnicas europeias de forjamento de lâminas caldeadas continuaram se desenvolvendo ao ponto em que, durante os séculos XVIII e XIX, as reproduções caldeadas por forjamento atingiam tal grau de sofisticação e semelhança com as lâminas orientais, que se acreditou que o segredo da produção da espada de damasco havia sido descoberto. Acreditava-se, erroneamente, que os padrões ondulados observados nas lâminas islâmicas eram obtidos através de caldeamento e deformação mecânica de barras, lâminas ou ainda outros formatos de peças de aço de diferentes composições. Os exemplares produzidos por tais técnicas eram tão parecidos que se tornava difícil distinguir entre uma lâmina de damasco autêntica e sua imitação caldeada, mesmo para um especialista. Uma das formas de se reconhecer uma espada autêntica era por meio do som cristalino que esta produzia quando golpeada, diferente do som abafado produzido pela versão composta. Além disso, as lâminas de damasco provenientes de um único lingote UHC podem apresentar uma quantidade de padrões que, embora variado, é limitado. Por outro lado, um padrão de damasco produzido por caldeamento pode apresentar uma variedade de texturas tão grande quanto a criatividade do ferreiro permitir, devido à possibilidade de se

sobrepor lâminas de diferentes espessuras e composições, barras, pequenas placas, em combinações quase ilimitadas, assim como usar diversas técnicas de formação tais como torcer todo o conjunto ou mesmo dobrar.

A tenacidade e resistência mecânica destas espadas é superior à daquelas produzidas na Europa do séc. X (CHARRE, 2004). Isso ocorre devido à maior uniformidade do conjunto, que já não apresentava separação de materiais entre a alma e a região de corte. Entretanto, a estrutura metalúrgica destas espadas é totalmente diferente da encontrada em um aço de Damasco autêntico. Este último é produto de um único lingote e, portanto, seus padrões não proveem da sobreposição mecânica de diferentes materiais.

O **Kris** (figura 33), espada tradicional do sudeste asiático, Malásia e Indonésia, é um dos objetos mais interessantes produzidos por meio das técnicas de caldeamento por forja e dobra de diferentes metais. Em muitos exemplares é possível notar a influencia histórica cultural hindu sobre esta região do globo, em particular, nos temas usados para esculpir a empunhadura.

Figura 33. Kris da região insular do sudeste asiático.
<http://i80.photobucket.com/albums/j199/matteaston/For%20sale/DSCN0382.jpg>

A principal característica desta espada é seu formato ondulado. A lâmina, que é relativamente curta, apresenta padrões significativamente mais grosseiros que o damasco do oriente médio e são resultado da forja e dobramento de lâminas relativamente grossas de aços de diferentes composições ou, até mesmo, diferentes metais.

Finalmente chegamos a aquela que é reconhecida por muitos como verdadeiro objeto de arte, tanto do ponto de vista estético como metalúrgico. A espada japonesa ou **nihonto** (figura 34). Sua produção envolve perícia e controle extremos em

suas diversas etapas, incluindo forja, tratamentos termomecânicos, acabamento superficial, etc. Cada uma destas etapas requeria alto grau de especialização.

As primeiras técnicas de produção de espadas do Japão vieram provavelmente da China³⁴ (SMITH, 1960) por volta do séc. IV ou V. A técnica, trazida do continente, consistia em aquecer, forjar, caldear e dobrar repetidas vezes pilhas de camadas alternadas de ferro puro e ferro fundido, de maneira a se obter um material de composição intermediária entre os dois. A região de corte da lâmina era endurecida por tratamento térmico local. Ao longo dos séculos, os japoneses desenvolveram e refinaram uma técnica própria, que atingiu seu zênite no séc. XVII. Esta, em linhas gerais, consiste em montar a espada com diferentes materiais, em função da região da lâmina. A alma da lâmina era comumente feita de material dútil, aço baixo carbono, conhecido como *shingane*. A superfície da lâmina e a região do corte que envolvem o centro dútil é chamado de *kawagane* (figura 35). O primeiro, podia ser feito forjando, dobrando, caldeando e voltando a forjar repetidas vezes até que o material estivesse praticamente homogêneo em decorrência da quantidade de dobramentos consecutivos e com baixo teor de carbono. O segundo, que compõe a região externa, também é produzido por sucessivos ciclos de forjamento e dobra, entretanto, o número de repetições é menor para minimizar sua descarbonetação. Este menor número de dobras gera camadas mais grossas com composição alternada, o que produz padrões visuais sob ataque químico adequado. (CHARRE, 2004; SMITH, 1960)

³⁴ O império mongol de Kublai Khan empreendeu duas grandes tentativas de invasão do Japão, em 1274 e 1281, que foram repelidas, marcando o limite leste da expansão territorial mongol. Embora tenham vencido a guerra contra os mongóis, os guerreiros japoneses enfrentaram dificuldades no combate contra o invasor estrangeiro. Utilizando armaduras incomuns para os locais e uma das maiores inovações militares da época, as bombas explosivas, os mongóis surpreenderam as forças de defesa japonesas, que, em diversas situações, viu-se na necessidade de lançar ataques corpo a corpo nos espaços confinados das embarcações invasoras. Nesta situação, as longas e finas espadas japonesas, tendiam a quebrar, revelando-se pouco adequada a esse tipo de combate. Assim, a guerra contra os mongóis acabou impulsionando o desenvolvimento da tecnologia japonesa de produção de espadas. Interessante notar que a vitória japonesa contra os invasores mongóis se deve, em grande medida, à ocorrência de um tufão de grandes proporções que atingiu a enorme frota mongol, afundando e aniquilando grande parte das embarcações invasoras. Este oportuno evento meteorológico ficou conhecido como “vento divino” ou, *kamikaze*.

Figura 34. Espada japonesa *nihonto*. (MORIMOTO, 2004)

Uma estrutura martensítica compõe a região do corte (figura 36). Para produzi-la, uma argila refratária é utilizada para recobrir as regiões da superfície da lâmina onde não se deseja endurecer, mantendo o fio e as regiões adjacentes descobertos. Em seguida, a lâmina é austenitizada e temperada. Os locais descobertos sofrem transformação martensítica, endurecendo drasticamente a região de corte da espada.

Figura 35 e 36. Figura 35. Shingane e kawane. Figura 36. Região temperada.(MORIMOTO, 2004).

2.6. Breve história da metalurgia.

2.6.1. O princípio da metalurgia do ferro

Os mais antigos registros de uso do ferro pelo homem datam de aproximadamente 5000 a.C. em Samarra, Iraque. Entretanto, acredita-se que o uso do cobre anteceda em milênios o do ferro. Isto decorre da natureza das fontes de cobre. Diferente do ferro, o cobre é encontrado com frequência em seu estado nativo, isto é, no estado metálico. Assim, sem a necessidade de qualquer processo de redução, era possível produzir os mais diversos utensílios. As evidências mais antigas de redução de cobre datam de aproximadamente 3800 a.C. na região do Oriente Próximo (TYLECOTE, 2002).

A invenção do bronze ³⁵é freqüentemente considerada uma das maiores revoluções tecnológicas da humanidade. Adicionando estanho ao cobre, na proporção de cerca de 10% em massa, sua resistência sofre um incremento drástico (figura 37), estendendo enormemente sua aplicação.

É possível que esta descoberta tenha ocorrido de forma acidental. Embora extremamente raro, há depósitos de estanho associados a minério de cobre, por exemplo, na Cornualha e Saxônia.

Embora exista controvérsia ³⁶a respeito do começo da Idade do Ferro, podemos afirmar com relativa segurança que seu uso para a produção de armas popularizou-se por volta do séc. XI a.C. A transição da Idade do Bronze para a Idade do Ferro ocorreu de forma relativamente lenta e, durante séculos, o uso concomitante de utensílios de bronze e de ferro (com variados teores de carbono) ocorreu nas sociedades humanas.

³⁵ Bronzes com Arsênico eram comuns no começo da Era do Bronze, diminuindo até o final do período.

³⁶ É difícil datar com precisão o início da produção de ferro por redução, uma vez que praticamente nenhum objeto de ferro sobrevive aos efeitos da oxidação durante milênios. Sabe-se de minas de minério de ferro, que datam de cerca de 33.000 a.C., de onde quantidades enormes de óxido foram extraídas. O volume retirado é incompatível com a escala de utilização normalmente atribuída a ele, deixando um indício de uso do minério para produção de ferro. SHERBY (2001).

Figura 37. Comparação entre a dureza do cobre, do bronze ocasional, do bronze-estanho e do aço de Damasco. (SHERBY, 1999).

Uma expansão mais rápida deste novo material pode ter sido limitada, entre outros motivos, por não representar uma melhoria incontestável com relação ao bronze. O ferro forjado³⁷, produzido a partir do ferro esponja, produto da redução do minério de ferro no estado sólido³⁸, não apresentava resistência mecânica de tal forma superior que justificasse, por si só, a substituição do bronze (figura 37). Este ferro forjado era colocado juntamente com alguma fonte de carbono, como o carvão vegetal em fornos a altas temperaturas. Mantido pelo tempo necessário, o carbono difunde para o interior do ferro aumentando acentuadamente sua resistência.

O bronze só seria suplantado definitivamente por volta de 900 a.C. (TYLECOTE, 2002) com o desenvolvimento da têmpera e revenimento. Estas duas técnicas permitiram a produção de objetos, tais como espadas, de dureza superficial duas vezes maior que o bronze.

³⁷ O ferro forjado é produzido por martelamento do ferro esponja. O procedimento tem por finalidade expulsar as impurezas da massa esponjosa de ferro. O produto é uma massa de ferro praticamente puro.

³⁸ Técnica para a redução do minério de ferro disponível na época.

2.6.2. O Ferro

As três principais fontes de ferro são: *meteoritos*, ocorrência na forma metálica na natureza, conhecido como ferro *nativo* ou na forma de *óxidos* (magnetita- Fe_3O_4 , hematita- Fe_2O_3 e limonita-óxidos de ferro hidratado), podendo ocorrer em outras formas, tais como carbonatos e sulfetos.

O *ferro meteorítico* é utilizado pelo homem há milênios. Era freqüentemente vinculado a uma origem sagrada pelos povos antigos de diversas regiões. Podia ser extremamente valioso e tinha seu uso geralmente associado com artefatos para fins ritualísticos e religiosos. Pode conter variados teores de níquel. Assim, é possível inferir se um objeto pré-histórico não foi produzido com ferro de tal origem caso não contenha níquel.

O *ferro nativo* é muito raro, sendo ainda mais incomum que o ferro meteorítico. Frequentemente contém grandes quantidades de níquel, até 70%, e também tem sido identificado em objetos antigos (CHARRE, 2004).

Naturalmente estas duas fontes de ferro, na medida em que não demandam qualquer processo de redução, foram as mais comumente utilizadas pelo homem durante o período neolítico, embora com aplicação e alcance limitados.

A terceira forma de obter ferro é através de redução³⁹ de seus óxidos. O domínio deste processo permitiu a produção de ferro independentemente de sua limitada ocorrência na forma nativa ou meteorítica.

Os primeiros registros⁴⁰ de ferro produzido por redução do minério datam de aproximadamente 2500 – 2000 a.C. Entretanto, seu uso em escala parece não ter começado antes do século XII ou XI a.C., na região do Oriente Próximo (TYLECO-TE, 2002).

Muito tem se especulado sobre as razões pelas quais seu uso extensivo tenha ocorrido de forma relativamente recente. O ferro é o segundo metal mais abundante na crosta terrestre. Contudo, o produto das primeiras técnicas de redução era uma massa de ferro praticamente puro, no estado sólido e de aspecto esponjoso. Este material é excessivamente dútil para ser utilizado na fabricação de utensílios

³⁹ O ferro obtido desta forma não costuma conter níquel como no caso das duas outras fontes.

⁴⁰ O nascimento da metalurgia do ferro é comumente localizado na região do crescente fértil que inclui áreas dos atuais Egito, Israel, Jordânia, Síria, Turquia, Iraque e Irã. A abundância de minério de qualidade na região deve ter contribuído para torná-la pioneira na produção de ferro.

que requeiram resistência mecânica, como armas, por exemplo. Esta limitação prática inicial, somada ao grande *know how* até então desenvolvido com o bronze, pode ter adiado a substituição deste como material mais importante na fabricação de armas e ferramentas.

Os primeiros processos de fabricação de ferro consistiam em uma série de passos. Primeiro, o minério de ferro era selecionado, lavado e moído. A seguir era levado a um forno primitivo, que consistia basicamente em um buraco no chão revestido com argila. Uma vez preenchido com carvão e minério, era parcialmente coberto com argila. Pequenas aberturas eram mantidas para entrada de oxigênio. A temperatura atingida no interior destes fornos primitivos não era alta o suficiente⁴¹ para fundir o ferro metálico produzido⁴². O resultado do processo era uma massa de ferro descontínua chamada *ferro esponja*. Este produto era martelado para que a escória líquida, resultante do processo, fosse expulsa de seu interior. Este ferro forjado era a matéria prima para a fabricação de utensílios. Se a temperatura fosse alta o suficiente e/ou o ferro produzido fosse mantido por muito tempo no interior do forno junto com carvão, parte do material poderia fundir. Entretanto, provavelmente este era considerado um subproduto indesejável do processo, uma vez que era quebradiço e não se podia forjar.

O ferro praticamente puro obtido tinha aplicação restrita devido à sua alta ductilidade e baixa dureza. A utilidade do novo material só foi ampliada com o desenvolvimento de técnicas que melhoraram sua resistência mecânica. Colocando a peça de ferro forjado junto com carvão a alta temperatura, a progressiva carburação da peça tende a ocorrer por difusão do carbono da superfície para seu interior⁴³, transformando-o em um novo material: o aço. O carbono, introduzido no ferro dessa forma, promove um excepcional aumento de dureza. Embora a dureza estivesse restrita às camadas superficiais do objeto em decorrência da difusão do carbono no estado sólido, foi particularmente relevante para a produção de ferramentas de corte, tal como espadas.

Quando este material, carburado a alta temperatura, era resfriado bruscamente, no entanto, ocorria uma transformação em sua microestrutura transformando-o

⁴¹ Entre 1000 e 1200°C.

⁴² O ferro puro funde a 1538°C ao passo que o cobre tem ponto de fusão de 1085°C.

⁴³ Este processo recebe o nome de cementação.

em martensita⁴⁴, um material extremamente duro, mas frágil. Esta técnica foi dominada apenas por volta do séc. XII ou XIII a.C, (CHARRE, 2004). Percebeu-se que a fragilidade, que torna o material quebradiço, poderia ser reduzida reaquecendo-se a peça a temperaturas relativamente baixas durante algum tempo. Este procedimento diminuía as tensões internas introduzidas pela transformação martensítica responsáveis pela sua fragilidade. Este último procedimento é conhecido como revenido, o primeiro, como têmpera.

2.6.3. A difusão da produção de ferro

A partir do Oriente Próximo, a tecnologia da produção do ferro parece ter-se disseminado às regiões vizinhas, num primeiro momento, e a regiões mais distantes, em seguida. Por volta de 1100 a.C a região sudeste da Europa começa a produzir ferro, em particular, a região da Grécia e Chipre. Por volta de 900 a.C, o ferro alcança a Europa Central, onde se localizava a civilização Hallstatt⁴⁵ e, posteriormente os celtas da cultura La Tène⁴⁶, que os sucedeu.

Por volta do ano 600 a.C., o ferro alcança a Itália etrusca e norte da Espanha. Entre 500 a.C. e a época romana, a nova tecnologia havia se espalhado por praticamente toda a Europa. Por volta do ano 100 a.C., os celtas da cultura La Tène desenvolvem a técnica de aumentar a resistência do ferro, unindo ripas ou barras de alto e baixo carbono por forjamento a quente.

A África passou por um desenvolvimento tecnológico bastante peculiar. Ela parece ter passado diretamente de práticas neolíticas à Idade do Ferro, sem Idade do Bronze. Achados apontam que ferro produzido por redução já existia no séc. VII a.C., sendo, portanto, bem antigo.

⁴⁴ Submetido a um resfriamento suficientemente brusco, este material sofre uma transformação em sua estrutura cristalina, convertendo a austenita (estrutura cúbica de faces centradas) em martensita (tetragonal de corpo centrado). Este novo arranjo microestrutural é o responsável pela altíssima dureza relacionada à martensita.

⁴⁵ Esta civilização habitava uma extensa área na Europa Central e existiu aproximadamente entre 1200 e 500 a.C. sendo sucedida pela cultura La Tène. A Idade do Ferro da Europa Central teve início durante sua existência.

⁴⁶ Esta cultura da Idade do Ferro existiu de 500 a.C até a conquista romana no séc. I a.C.

2.6.4. Os Hititas

A difusão em larga escala do uso do ferro é comumente associada à civilização Hitita. Este povo, de origem incerta, que falava uma língua não semítica (RAYMOND, 1986), estabeleceu-se na Anatólia, construindo sua capital, Hattusa, a cerca de 200 km de Ankara, capital da atual Turquia. Em seu apogeu, este império conquistou os povos da Babilônia e Assíria e entrou em conflito com outra importante civilização expansionista da antiguidade, os egípcios. As vitórias nas guerras, que aumentaram enormemente o território do Império e marcaram sua hegemonia na região (figura 38), são frequentemente atribuídas à sua suposta superioridade bélica, expressa no uso de armas de ferro. O monopólio na produção do ferro responderia pelo seu sucesso no campo de batalha e, em particular, pelo bom desempenho dos hititas na famosa batalha de Kadesh contra os egípcios. O resultado teria ocorrido em decorrência das armas de ferro dos hititas, superiores às de bronze utilizadas pelos egípcios⁴⁷.

Os textos antigos revelam que o avançado conhecimento hitita do trabalho com ferro parece ter provindo de uma de suas tribos, os cálibes, renomados por dominar as técnicas do trabalho com o novo material (RAYMOND, 1986; MUHLY, 1985).

Em princípio, o puro fato de conhecer as técnicas de redução para se obter ferro metálico, não confere a seu detentor nenhuma vantagem em relação ao bronze. A revolução advém do domínio dos três processos de tratamento do ferro, citados anteriormente, que o tornam incomparável, em termos mecânicos, a qualquer outro material até então conhecido. Os processos são: a cementação, que é a introdução do carbono ao aço, a têmpera, que promove uma transformação na estrutura do material e aumenta drasticamente sua dureza embora aumente também sua fragilidade e, finalmente, o revenimento, que reduz a fragilidade introduzida no processo anterior. A disseminação destas três técnicas em um intervalo de tempo relativamente curto após 1200 a.C. pode ter ocorrido, por um lado, devido à invasão da Ásia Menor por povos belicosos oriundos da Europa, nessa mesma época e consequente

⁴⁷ É importante notar que esta interpretação da história está fundamentada mais em textos da época do que em evidências arqueológicas das próprias armas, gerando assim controvérsias sobre sua veracidade. Há estudos que defendem que, na ausência de evidências físicas conclusivas, embora se possa atribuir aos hititas alguma preponderância nas técnicas de redução do ferro e na produção alguns artefatos, nada se pode afirmar sobre seu suposto monopólio na produção do ferro, nem mesmo sobre seu papel como o povo pioneiro no uso do ferro (MUHLY, 1985).

destruição do Império Hitita. Este evento acabou espalhando os ferreiros locais por toda a região junto com seu valioso conhecimento. Esta hipótese é corroborada pelas evidências arqueológicas que identificaram o uso do ferro em diversas regiões logo após a queda do Império hitita (RAYMOND,1986; MUHLY,1985). Por outro lado, a maior disponibilidade natural de matéria prima, o minério de ferro, em comparação ao escasso estanho, utilizado na produção do bronze. Somado a isso, as mesmas invasões das tribos europeias que decretaram o fim da civilização hitita, espalharam a devastação e o medo em toda a região, destruindo as rotas comerciais tradicionais que transportavam o cobre e o estanho provocando uma grande escassez dessas matérias primas. Estes fatores somados podem ter sido decisivos para o fim da era do bronze.

Figura 38. Império Hitita. <http://teachers.saschina.org/lkyle/page/12/>

2.6.5. China

Na China, o ferro oriundo de redução direta de minério parece ter se tornado comum⁴⁸ por volta do ano 900 a.C. e, independentemente ou por influência externa⁴⁹ (NEEDHAM, 2008). Entretanto, enquanto a redução direta de ferro na China parece ter ocorrido graças à influência do Oriente Próximo, a obtenção de *ferro por fundição* parece ter sido um autêntico desenvolvimento tecnológico chinês. Evidências arqueológicas localizam a utilização do ferro fundido⁵⁰ por volta do ano 600 a.C., no sul da China.

Esta invenção difundiu-se para o Oeste de forma relativamente lenta, alcançando a Europa apenas no séc. XIV. É importante destacar o papel desempenhado pelos povos nômades turcomanos da Ásia Central na transferência da tecnologia da fundição para o Oeste. Uma evidência de que a fundição se desenvolveu na China, e que teria sido difundida pelos nômades turcomanos, é que na Europa Ocidental não há palavra nativa para fundição, as línguas dessa região parecem ter se apropriado do termo turco *tchouiun*, que por sua vez pode ter derivado do termo chinês para fundição: *chu*. (MAZAHARI, 1958; MOLINA, 2001).

Ferro quase puro também podia ser obtido por um outro processo que não a redução direta. Primeiro, produzia-se ferro fundido com alto teor de carbono, em seguida, este material era levado a outro forno onde era reaquecido até a fusão em atmosfera oxidante. O carbono dissolvido no ferro era oxidado em consequência desta atmosfera, resultando na retirada do excesso de carbono do ferro líquido. Na medida em que o carbono contido no ferro líquido é consumido pela oxidação, a liga tende a solidificar. O produto final é ferro quase isento⁵¹ de carbono. Embora os produtos deste processo e da redução direta no estado sólido sejam muito parecidos, o

⁴⁸ As evidências existentes até poucos anos atrás apontavam que o ferro fundido teria precedido o ferro obtido por redução direta. Entretanto, o mais provável, de acordo com as descobertas, é de que a redução direta surgiu primeiro na China na região próxima à sua fronteira oeste e o ferro fundido teria se desenvolvido ao sul do país logo depois, talvez um ou dois séculos mais tarde. (NEEDHAM, 2008)

⁴⁹ A técnica pode ter sido transferida do Oriente Próximo por intermédio dos citas nômades das estepes asiáticas. Muito menos incerto parece ter sido a introdução das técnicas de redução na península coreana por intermédio dos citas, por volta do ano 800 a.C. (NEEDHAM, 2008)

⁵⁰ Ferro fundido é uma liga de ferro e carbono, com teor deste último entre 2,11% a 6,67%. Mesmo quando o ferro fundido já era amplamente utilizado na China, o ferro proveniente de redução direta era reservado para a fabricação de espadas.

⁵¹ O processo podia ser interrompido antes da total descarburização do ferro, nesse caso, uma liga com teor intermediário era obtida. Era possível produzir por este método um aço com 2% de carbono, basicamente igual ao wootz indiano.

segundo gera ganho em economia de escala. Obtido por fundição seguida de um processo de refino, este produto parece ter sido criado na China por volta do ano 100 a.C., segundo apontam os achados arqueológicos.

Uma das mais importantes invenções chinesas no campo da tecnologia metalúrgica é a criação do que hoje conhecemos como *ferro fundido maleável*. Acredita-se que este material já era utilizado por volta do séc. III a.C. Aquecendo-se uma peça de ferro fundido⁵² a altas temperaturas (da ordem de 900°C), por um período de alguns dias, mudanças⁵³ microestruturais e de composição melhoram drasticamente suas propriedades mecânicas, tornando-o mais tenaz, ampliando significativamente seu leque de aplicações. Na Europa, este processo só foi descoberto no séc. XVII d.C., quase 2000 anos depois.

O desenvolvimento deste conjunto de tecnologias para produção de ferro teve um importante impacto na economia, no modo de vida e na própria sobrevivência da civilização chinesa da antiguidade. A agricultura e a tecnologia das armas se beneficiaram diretamente da expansão da indústria do ferro nos séc. III e II a.C. Há evidências de que a unificação da China durante a Dinastia Qin (221 a 206 a.C.) tenha sido impulsionada devido à utilização de armamentos de ferro⁵⁴.

As técnicas de têmpera parecem ter sido dominadas antes mesmo de 300 a.C. de acordo com evidências arqueológicas. É interessante notar a diferença de visão de mundo das mentes ocidental e chinesa antigas, expressada nas diferentes

⁵² Podemos classificar o ferro fundido em branco e cinzento. Esta denominação é decorrência da cor da superfície de fratura desses dois materiais. O ferro fundido branco é uma liga com alto teor de carbono, da ordem de 4%. Neste material, o carbono se encontra combinado com ferro na forma de carboneto de ferro, conhecido como cementita (Fe_3C), extremamente dura e frágil. Por outro lado, no ferro fundido cinzento, o carbono se encontra na forma de placas microscópicas de grafita. Razão pela qual a superfície de fratura parece cinzenta. Estas placas de carbono grafite (de baixíssima resistência mecânica) atuam como descontinuidades dentro do material. Estas pequenas lamelas agem como trincas internas que, sob tensão, tendem a desencadear fratura no material. Daí decorre sua fragilidade.

⁵³ Estas mudanças ocorrem devido à descarburização e grafitação. O primeiro é a retirada de carbono do material. Durante o aquecimento em forno o carbono da superfície reage com os gases da atmosfera levemente oxidante do forno, sendo assim retirado do metal. Durante o longo período deste tratamento térmico, o carbono contido no material continua difundindo do interior do corpo para a superfície, sendo consumido ao chegar à superfície. Este processo reduz significativamente o teor de carbono do material a níveis comparáveis aos do aço. A grafitação, por outro lado, ocorre da seguinte forma: durante a exposição do ferro fundido branco a tais temperaturas, a cementita (Fe_3C) se decompõe em ferro e grafita segundo a reação $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$. Esta grafita precipita na forma de nódulos tornando o material ainda mais tenaz que o ferro fundido cinzento.

⁵⁴ A maior conquista da Dinastia Qin foi o Estado Chu, ao sul. A vitória dos Qin parece estar associada à superioridade tecnológica destes sobre os reinos vizinhos. As armas de bronze utilizadas no Estado de Chu não puderam fazer frente aos equipamentos bélicos de ferro dos Qin (NEEDHAM, 2008).

interpretações do fenômeno da têmpera. Enquanto os ferreiros ocidentais atribuíam o endurecimento do metal, obtido no procedimento de aquecimento e resfriamento brusco, a uma *purificação* deste, na China antiga, atribuíam-se o fenômeno ao equilíbrio obtido na combinação das proporções corretas de *fogo* e *água*.

Finalmente, mas não menos importante, antes⁵⁵ do século VI d.C., desenvolveu-se um novo processo para a produção de aço a partir de ferro forjado (produto da redução direta) e ferro fundido. O processo consistia em misturar ferro forjado e ferro fundido em proporções variáveis para se obter um material de composição intermediária. Este processo poderia ser conduzido a baixas ou altas temperaturas.

No primeiro caso, todo o processo ocorre a temperaturas da ordem de 950°C. Sendo a temperatura insuficiente para fundir a carga, tudo ocorre no estado sólido. O carbono em excesso contido no ferro fundido (tipicamente com cerca de 4% de carbono), é transferido⁵⁶ do ferro fundido para o ferro esponja por difusão no estado sólido ou através dos gases presentes no cadinho.

No segundo caso, a altas temperaturas (da ordem de 1250°C), havia fusão da carga⁵⁷, mesmo que parcial. Esta técnica promovia uma homogeneização mais rápida que a primeira. Este processo que mistura ferro forjado e ferro fundido é conhecido como *co-fusão*⁵⁸. Este processo aparece na Ásia Central e oeste do Irã por volta do séc. X d.C. e é um dos processos a partir dos quais o aço de cadinho UHC, matéria prima da espada de Damasco, podia ser produzido.

Interessante notar que há registros de importação de um tipo muito apreciado de aço para a China, chamado *bin*, por volta do séc. VI d.C. oriundos da Pérsia e Afeganistão. Há indícios de que se trate de um aço de cadinho UHC, como o próprio wootz. Entretanto, o aço *bin* desaparece⁵⁹ dos registros chineses por séculos até reaparecer por volta do século X d.C. Sabe-se que o wootz já era produzido na Índia

⁵⁵ Segundo apontam evidências escritas. Entretanto, cadinhos datando da época Han (por volta de 200 a.C) foram achados em Henan, região central da China, que podem ter sido usados para co-fusão.

⁵⁶ Isto ocorre devido às reações $C + CO_2 \rightarrow 2CO$, na superfície do ferro fundido e $2CO \rightarrow C + CO_2$, na superfície do ferro esponja. Neste último caso, o carbono é incorporado ao ferro puro pela superfície e migra para o interior do material por difusão. No primeiro caso, o carbono é retirado pela superfície, gerando o gradiente de concentração responsável pela difusão do carbono do interior para a superfície.

⁵⁷ Conteúdo do cadinho.

⁵⁸ Este nome de ampla aceitação foi inventado por Joseph Needham. (NEEDHAM, 2008)

⁵⁹ É possível que o desaparecimento do aço *bin* tenha ocorrido devido à conquista islâmica da Pérsia, apenas reaparecendo com a retomada do comércio intensivo com a China, no séc. X. d.C. (NEEDHAM, 2008)

e Sri Lanka, assim, uma hipótese é de que o *bin* não fosse produzido na Pérsia e Afeganistão, mas sim levado da Índia para a China por mercadores persas e/ou afgãos.

2.7. Aço de Damasco

Podemos dizer que o aço de Damasco⁶⁰ merece um capítulo separado na História da metalurgia. A data exata de sua invenção ainda provoca discussões calorosas entre os acadêmicos. Entretanto, há indícios de que este material já existisse na época de Alexandre o grande, por volta de 320 a.C. Embora as evidências arqueológicas mais antigas de lâminas de Damasco (genuíno) datem dos primeiros séculos da era cristã. Nessa ocasião foram encontrados fragmentos de espada produzidas com este aço em Taxila, cidade localizada no atual Paquistão. (FEUERBACH)

Embora um grande número de artigos sobre o assunto tenha sido publicado, parece não haver certeza com relação à origem do termo *aço de Damasco*. Um grande número de trabalhos afirma que este nome deve-se não ao lugar de origem das espadas, mas sim ao lugar onde, por primeira vez foi vista pelos europeus. Damasco, na atual Síria, de fato era um grande centro comercial (de espadas, inclusive) da Idade Média. (KHORASANI, 2006)

Este aço foi produzido em grandes quantidades em terras islâmicas partir de lingotes procedentes principalmente da Índia e Ásia Central. O aço de Damasco é uma liga de ferro com alto teor de carbono, tipicamente entre 1,2% e 2% fundida em cadinhos e posteriormente submetida a uma série complexa de procedimentos termomecânicos. Este delicado processo acaba produzindo uma microestrutura particular, que, em última análise, é a responsável pelas excepcionais propriedades deste material.

Este aço é facilmente reconhecido devido aos belos padrões ondulados visíveis na sua superfície (figura 39). Estes desenhos são a expressão macroscópica de sua estrutura microscópica interna.

⁶⁰ Também é conhecido com Bulat ou Poulat, na Rússia e Pérsia, respectivamente.

Figura 39. Padrão damasceno em lâmina de espada.
<http://i243.photobucket.com/albums/ff97/selfbuilt/Damascus-steel.jpg>

Há muito tempo sabia-se que, de forma geral, ferro com elevado teor de carbono era frágil, embora duro. Por outro lado, ferro com baixo teor de carbono é mais dúctil, entretanto, é “mole”. O aço de Damasco consegue conciliar as duas qualidades, alta dureza e boa tenacidade. Esta particularidade, os impressionantes desenhos em sua superfície, o fato de ter sido a matéria prima de uma das mais famosas espadas já produzidas e o grande número de lendas a elas associadas, tornaram este aço um objeto de estudo no Ocidente nos últimos séculos. Este material é surpreendentemente duro e ao mesmo tempo tenaz. Estas excelentes propriedades mecânicas⁶¹ (VERHOEVEN, 2009) colocaram aço de Damasco num lugar especial dentro da história da metalurgia.

2.7.1. Estudos históricos.

“O rei Ricardo empunhava uma “broadsword”, espada manejada a duas mãos, grande e pesada. Saladino, por outro lado, utilizava um sabre fino e leve, cuja lâmina parecia ter “dez milhões de linhas” e uma cor azulada opaca. Era a espada de Damasco. Com a intenção de mostrar a superioridade da espada européia, o rei Ricardo, vendo uma maça de aço com o cabo de cerca de 1 polegada e meia também em aço, golpeia-a com a espada quebrando-a em dois. Saladino, por sua vez, coloca um leve lenço dobrado ao meio sobre o fio de seu sabre e após alguns instantes puxa-o rapidamente cortando o lenço em dois em pleno ar.” (SCOTT, 2009)

⁶¹ Ver tabela de propriedades mecânicas de alguns exemplares de espadas de Damasco no anexo.

Extraída da obra de Walter Scott, *O Talismã*⁶², de 1825, esta passagem descreve o encontro do rei Ricardo Coração de Leão com o sultão Saladino durante a terceira cruzada, ocorrida no ano 1190 d.C. Embora se trate de uma ficção, a narrativa explora bem a reputação da lendária Espada de Damasco.

Há várias versões para a origem do termo “aço de Damasco”. Vamos aqui discutir três delas.

A primeira e mais conhecida refere-se ao lugar, cidade de Damasco, onde, pela primeira vez, os cruzados europeus teriam encontrado espadas com este aço. Embora não existam provas que confirmem esta hipótese, é a mais amplamente difundida.

A segunda é de que o nome Damasco teria se originado do nome de um grande ferreiro islâmico medieval chamado “Damasqui”⁶³ (FEURBACH, 2006).

A terceira hipótese, e talvez a mais interessante, é de que ele tenha se originado do termo antigo árabe para água, *damas* (FEURBACH, 2006). De fato, outro nome comum do aço de Damasco é *watered steel*. Além disso, *água* para a civilização islâmica e, em particular, para os árabes, povo do deserto, tem um significado muito particular. O desenho ondulado das lâminas é freqüentemente associado às “águas do paraíso” (ALEXANDER, 1983).

Durante séculos os grandes ferreiros europeus consagraram enormes esforços para replicar este estimado aço, mas sem sucesso.

Um dos primeiros textos citando o aço de Damasco aparecem ainda no séc. IX com al Kindi, um dos maiores filósofos/cientistas islâmicos medievais. No séc. X, al Biruni retoma o assunto fazendo observações sobre o processo que dá origem aos desenhos nas lâminas (KHORASANI, 2006; MOLINA, 2001). Os primeiros estudos científicos (em termos de ciência moderna) do aço de Damasco começaram com George Pearson na Inglaterra em 1795, que em seu trabalho sobre o aço indiano “wootz” concluiu que este se tratava mais de um aço do que de ferro, como se acreditava. Em 1804 Mushet concluiu que o wootz continha alto teor de carbono e que isso podia ter relação com a formação do padrão de damasco das espadas. Em 1820, instigado pelos trabalhos de Mushet, o cientista britânico Michael Faraday, que era filho de ferreiro e que ficaria mais conhecido por seus trabalhos em eletro-

⁶² É a segunda estória da obra de ficção “Contos das Cruzadas”, de 1825.

⁶³ Esta poderia ser a origem do nome Damasco segundo al Biruni (séc. X d.C.).

magnetismo, também consagrou esforços para entender o wootz (CHARRE, 2004; SHERBY, 1980). Embora não tenha feito progressos significativos na compreensão deste aço, seus trabalhos tiveram repercussão na França napoleônica. O contexto de conflitos armados nos quais a França se encontrava na época, acabou promovendo o investimento do estado em estudos relacionados ao aço, matéria prima para armas de guerra. Assim, liderando um grupo de cientistas, o francês Jean Robert Breant, após estudo minucioso do aço em questão, chegou a conclusão parecida à de Mushet, que o wootz se tratava de um aço com alto teor de carbono, e que isto era um fator importante na formação do padrão damasceno. Em seu trabalho, divulgado em 1823, Breant conclui que a estrutura damascena era formada de regiões com “aço puro” (aço de composição aproximadamente eutetóide) e outras de aço com alto teor de carbono (regiões formadas basicamente de cementita). Assim, é normalmente atribuído a Breant o feito de ter sido o primeiro a entender o que é o aço de Damasco (SHERBY, 1980).

Os trabalhos de Faraday e Breant também inspiraram a investigação na Rússia. O Major-General e Engenheiro de Minas, P. Anossoff liderou uma série de estudos sobre o aço de Damasco em 1841. Reproduzindo as experiências de seus antecessores, Anossoff teria também tido êxito na reprodução de lâminas de aço de Damasco. Após anos de desinteresse sobre as espadas de Damasco, devido à expansão da utilização das armas de fogo, apenas em 1868, o professor D. K. Tchernoff retomou os trabalhos de Anossoff. Finalmente, Belaiew, inspirado pelo próprio Tchernoff aprofundou a compreensão do aço de Damasco, publicando em 1906 o famoso texto “On the Bulat” (BELAIEW, 1906) e, em 1918, uma descrição detalhada da estrutura do aço de Damasco. Reconhecendo tratar-se de carboneto proeutetóide em uma matriz de composição eutetóide, atribuiu, corretamente, a maleabilidade deste aço à morfologia particular em que se encontrava a cementita. A cementita era esferoidizada por ação do forjamento entre 700 e 800°C.

Em 1924, em Solingen na Alemanha, Von K. Harnecker obteve êxito em reproduzir lâminas de Damasco seguindo o método proposto por Belaiew. No mesmo ano, B. Zschokke também se dedicou a estudar a estrutura do aço de Damasco. Foi apenas no séc. XX que, por meio da microscopia óptica, que se associou o padrão de Damasco à presença alternada e alinhada de cementita fragmentada (SHERBY, 1980).

O interesse no aço de Damasco seria retomado apenas na década de 60, em decorrência de artigos publicados pelo célebre metalurgista Cyril Stanley Smith. Atualmente vasta literatura sobre os mais diversos aspectos da metalurgia da espada de Damasco relacionando-a com a história da ciência pode ser encontrada e alguns textos muito detalhados (CHARRE, 2007; FIGIEL, 1991; SACHSE, 2008).

Os mecanismos de surgimento das faixas de partículas de cementita, características do aço de Damasco, só foram compreendidos, à luz do moderno conhecimento científico, no final do século XX (CHARRE, 2004). Uma hipótese para a formação do padrão foi proposta por Smith (SMITH, 1960) ainda na década de 1960. Segundo o pesquisador, as partículas de carboneto seriam oriundas da cementita primária formada *durante* a solidificação. Com a publicação de trabalhos de C. Stanley Smith o interesse no assunto parece ter renascido.

2.7.2. O aço de Damasco e a Metalografia

À diferença do que ocorreu com outras ciências puras, ao longo da história, a metalurgia tem se beneficiado e desenvolvido da valiosa interação entre teoria e o conhecimento empírico. Nesta área do saber, é muito evidente como a observação prática e sua aplicação, frequentemente, precederam o conhecimento científico. A cristalinidade dos metais foi constatada não como produto de uma previsão teórica, mas sim por meio da observação direta com microscópio. Interessante notar que isto ocorreu cerca de dois séculos depois que a biologia os utilizasse para seus estudos (SMITH, 1960). Isto se deu, principalmente, porque as superfícies do metal a ser observado deviam sofrer um tratamento adequado para, então, poderem ser observadas ao microscópio, fato que não era óbvio. Neste caso, não foi o conceito que levou à descoberta, mas sim a própria observação empírica. Os metais são constituídos de pequenos cristais, chamados hoje de grãos. Embora este fato só tenha sido plenamente compreendido pela ciência ao final do século XIX, já era utilizado havia muito pelo ferreiro e o artesão. Ataque químico seletivo era utilizado por estes, desde, pelo menos, o século II d.C. (SMITH, 1960), tanto com fim decorativo como na forma de prova da qualidade de uma arma. No Oriente, as técnicas que revelam a estrutura do material possuem longa tradição e já eram utilizadas na mesma época

que na Europa. Entretanto, no Oriente, as técnicas, que atingiram um alto nível de refinamento, parecem ter se pautado mais por um propósito artístico do que prático. Uma ótima ilustração do domínio oriental das técnicas de ataque executadas para revelar a estrutura do metal é a própria espada de Damasco.

A qualidade da própria espada de Damasco, assim como a da espada japonesa, pode ser vista como uma consequência da capacidade do ferreiro medieval de relacionar a confiabilidade de um determinado implemento com certas texturas visíveis e, assim, desenvolver meios de manufatura que as produzissem. Mais tarde, as tentativas de se entender e reproduzir os aços orientais, como o aço de Damasco, conduziram a importantes descobertas científicas. O trabalho de Tchernoff sobre transformações em aço, por exemplo, foi inspirado por seus antecessores, que também tentaram reproduzir o aço de Damasco.

As espadas de Damasco (tal como a definimos no trabalho) parecem ter sido precedidas pelas espadas merovíngias compostas (caldeadas). Entretanto, lâminas produzidas com o aço de Damasco⁶⁴ podem ser mais antigas que lâminas caldeadas europeias. Na realidade, podemos desenhar três hipóteses sobre o assunto. A primeira seria de que as lâminas de Damasco genuínas teriam sido inspiradas pelas espadas europeias compostas ou caldeadas, técnica esta que data da época celta (primeiros séculos antes de Cristo) e se desenvolveu a partir de então ao longo do período merovíngio, carolíngio e viking. A segunda hipótese é de que as lâminas de Damasco genuíno teriam inspirado o desenvolvimento das técnicas de manufatura de suas irmãs compostas europeias. Esta possibilidade repousa sobre o fato de termos indícios de produção de aço de cadinho UHC já na época de Alexandre, o grande, assim como fragmentos de lâminas de Damasco datando dos primeiros séculos de nossa era. A terceira hipótese é de um desenvolvimento independente na Europa e na Ásia.

A severa deformação mecânica necessária para a manufatura de uma lâmina composta de placas de diferentes composições por forjamento e caldeamento produz uma lâmina com propriedades mecânicas superiores, de forma geral, a aquela produzida pela forja de uma peça única de ferro esponja. Assim, técnicas de ataque químico que revelassem o processo prévio de caldeamento de diferentes materiais

⁶⁴ Uma espada reta mesmo que fabricada com o aço de Damasco não é uma *espada de Damasco*, de acordo com a definição adotada no trabalho. As espadas produzidas com aço de Damasco genuíno são muito mais antigas que as *espadas de Damasco*.

devem ter se desenvolvido posteriormente ao domínio das técnicas de produção de lâminas compostas, na tentativa de constituir-se em um meio de verificar a qualidade da espada. Este fato pode também ter influenciado o desenvolvimento deliberado dos padrões verificado durante o período merovíngio. O aumento da complexidade dos padrões das espadas neste período também pode ser visto como uma evidência de que já existia na Europa, nessa época, conhecimento de técnicas que revelassem a estrutura dos metais por meio da distinção entre regiões da superfície da lâmina de diferentes composições, o que, na realidade, constitui o fundamento da metalografia. Para tal fim, o artesão da antiguidade, podia lançar mão de técnicas que envolvessem a utilização de soluções minerais corrosivas, ácidos, sucos de frutas, etc., que acabam produzindo contraste entre o aço e o ferro, por exemplo.

O conhecimento empírico dos ferreiros a respeito das formas de se revelar a estrutura dos metais, desde a antiguidade, seja em nome da arte ou para fim prático, pode ser valioso para a história da ciência, na medida em que revela, de forma dramática, como o conhecimento pode ser impulsionado pelo senso estético e pela intuição, mesmo antes de ser induzido por qualquer sistema teórico.

2.7.3. *Fabricação*

Uma lâmina de aço de Damasco pode ser produzida a partir de diferentes rotas, não havendo, assim, uma maneira única de produzi-la. Entretanto, podemos distinguir claramente duas etapas em seu processamento. O primeiro passo é a produção do aço de ultra alto carbono em cadinhos, com teor de carbono acima de 1,0 até 2,1% (figura 40).

Figura 40. Diagrama Fe-C. Classificação em função da faixa de teor de carbono. W. D. Callister. Materials Science and Engineering: An Introduction. Adaptado.

A segunda etapa consiste nos tratamentos termomecânicos que conferem o formato e as propriedades finais do aço, no caso, as lâminas das espadas de Damasco⁶⁵. Partindo do lingote UHC obtido em cadinhos, o produto final desta segunda etapa é o aço de Damasco⁶⁶.

Aço wootz

O aço wootz é um aço de cadinho de alto teor de carbono, tipicamente entre 1,0 e 2,1%, produzido na forma de lingotes fundidos.

Embora existam indícios de que a produção do wootz remonte a mais de dois mil anos atrás, o termo wootz parece ter surgido como uma corrupção em inglês da palavra canarês, *ukko*, ou ainda, da palavra em telugu, *hookoo* (FEUERBACH,

⁶⁵ O aço de Damasco era utilizado para a produção de uma série de outros implementos, tais como armaduras, punhais, escudos, etc.

⁶⁶ Conhecido na Rússia como aço Bulat e na Pérsia como aço Poulad Janherder.

2006). Estas palavras designam o aço de cadinho que era produzido na região sul e central da Índia (figura 41). Assim, wootz, originalmente referia-se ao aço de cadinho de alto teor de carbono, exclusivo dessas regiões (FEUERBACH, 2006). Descobertas arqueológicas recentes revelam que aço de cadinho com alto teor de carbono também foi produzido em outras áreas fora da Índia, como no Uzbequistão, na Ásia Central (FEUERBACH). Atualmente o termo wootz tem sido utilizado indiscriminadamente para denominar todo aço de cadinho de alto teor de carbono utilizado como matéria prima para as lâminas de Damasco, independentemente da região de produção.

Figura 41. Canarês e telugu. Línguas faladas no sul-centro da Índia.
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Karnataka> (adaptado)

O minério de ferro utilizado na produção do wootz podia ser oriundo de diferentes partes da Índia, como Hyderabad e Misore ou ainda do exterior, como da região de Sofala (atual Moçambique), na África (MOLINA, 2001).

A seqüência de eventos da produção da espada de Damasco pode ser resumida da seguinte forma:

Figura 42. Fabricação do aço de cadinho UHC. Possíveis rotas. Do minério ao lingote.

Figura 43. Damascenação. Tratamentos termomecânicos do aço de cadinho UHC até a espada de Damasco.

Neste ponto faz-se relevante fazer uma observação relativa aos termos utilizados no presente trabalho. Na literatura, termos como aço de Damasco, wootz e bulat tem sido usados sem antes estabelecer uma definição, o que pode ser causa de alguma confusão, uma vez que os termos se referem a materiais que apresentam propriedades e processos de produção diferentes. Assim, com a intenção de mitigar o problema, devemos explicitar as seguintes definições:

1° **Wootz**: Lingote de aço de cadinho UHC produzido exclusivamente na Índia (figura 42).

2° **Aço de cadinho UHC**: Conhecido como *crucible steel* na literatura. Este termo genérico refere-se, neste trabalho, a todo aço de cadinho UHC que serve de matéria prima para a produção do aço de Damasco, englobando, portanto, tanto o wootz indiano como os aços de cadinho UHC da Ásia central.

3° Aço de Damasco: Aço produzido a partir do aço UHC de cadinho. Durante seu processo de fabricação a matéria prima é submetida a uma série complexa de tratamentos termomecânicos com o objetivo principal de modificar a morfologia da cementita tornando o material tenaz e resistente. O característico desenho em padrão ondulado é visível em sua superfície após ataque químico. As lâminas da espada de Damasco são produzidas com este aço.

Além disso, na ausência de um termo específico na literatura para o processo de produção do aço de Damasco a partir do wootz, propomos o termo *damascenação*⁶⁷, cuja definição é a seguinte:

4° Damascenação: Processo de fabricação do aço de Damasco a partir do aço de cadinho UHC. Este processo envolve todos os tratamentos termomecânicos aos quais o lingote é submetido até a obtenção do aço de Damasco, de acordo com a figura 43.

Rota 1

Uma das possíveis⁶⁸ formas de fabricar o aço de cadinho UHC era partir de minério de ferro. O minério inicialmente era selecionado, moído e lavado. Este procedimento inicial retirava grande parte das impurezas associadas ao minério. Uma vez seco, o minério era colocado em cadinhos junto com carvão vegetal e certas plantas consideradas sagradas. Estes cadinhos eram de tamanho reduzido devido às limitações de temperatura dos fornos antigos. Assim, o cadinho era fechado hermeticamente com argila e colocado para aquecer a temperaturas entre 1000°C e 1200°C junto com vários outros cadinhos em um forno desenhado para tal finalidade. Após um ou dois dias inteiros mantido naquela temperatura, o cadinho resfriava lentamente. Duas situações poderiam ocorrer em função da temperatura de aquecimento:

1) Se a temperatura alcançada não fosse alta o suficiente, podia ocorrer fusão apenas parcial. Primeiro o minério é reduzido formando ferro esponja. Em seguida, o

⁶⁷ O termo “damascening” e a expressão “Damascene Process” é utilizado por Herbert Maryon no texto “Pattern-welding and Damascening of Sword-blades Part 2. The Damascene Process”. Entretanto, não possui a mesma definição adotada no presente trabalho. (MARYON, 1960).

⁶⁸ A literatura descreve várias maneiras de se produzir o aço wootz. As descrições variam levemente com relação às faixas de temperatura e tempos de aquecimento e resfriamento.

carbono proveniente do carvão/madeira e das folhas difunde a partir das camadas superficiais do ferro esponja carburando a massa de ferro. Se a temperatura fosse superior a 1148°C, parte do ferro carburado fundiria formando ferro fundido líquido nas camadas mais externas. Este ferro fundido líquido fica em equilíbrio com a austenita saturada em carbono. O carbono dissolvido na austenita diminui das camadas mais externas às mais internas, de forma que, o interior podia ser, ainda, de ferro praticamente puro.

Com o lento resfriamento do sistema, seria possível obter-se uma região central de ferro praticamente puro (ferro esponja) envolvido por aço de alto teor de carbono que, por sua vez, estaria dentro de uma rede de ferro fundido branco.

2) Se a temperatura fosse alta o suficiente para fundir toda a carga, obteríamos um liga líquida de alto teor de carbono, da ordem de 2%. Consideremos, a título de exemplo, uma liga com teor de carbono de 1,8% (figura 44) a 1400°C. A esta temperatura, a liga estaria no estado líquido. Entretanto, na medida em que a temperatura decresce em um lento resfriamento, ela continuará líquida até chegarmos à temperatura de 1380°C. A partir de então, o material começará a solidificar na forma de austenita⁶⁹. A solidificação continuará até completar-se na temperatura de 1190°C. Neste momento, todo o aço estará no estado sólido e terá estrutura austenítica. O resfriamento prossegue sem mudanças até atingirmos a temperatura de 1065°C. Neste momento, começa a precipitação de cementita⁷⁰ pró-eutetóide⁷¹ nos contornos dos grandes grãos austeníticos. Esta formação de cementita ocorre às custas do empobrecimento em carbono da austenita, de tal forma que, um instante antes de atingir-se a temperatura de 727°C, os grãos de austenita terão composição razoavelmente uniforme (devido ao lento resfriamento) de 0,76% de carbono envolvidos por uma rede de cementita pro-eutetóide. O resfriamento continua e, quando a temperatura é inferior a 727°C toda a austenita restante é transformada em perlita⁷².

⁶⁹ É uma fase sólida do ferro. Nesta fase, os átomos de ferro estão ordenados numa estrutura conhecida como CFC (cúbica de faces centradas).

⁷⁰ Composto químico de fórmula Fe_3C . Carboneto de ferro. Caracteriza-se, entre outras coisas, por ser extremamente duro e frágil.

⁷¹ Cementita que, durante o resfriamento, forma-se a temperaturas superiores a 727°C, temperatura do patamar eutetóide.

⁷² Perlita é uma estrutura de duas fases, ferrita e cementita, que dispõem em lamelas alternadas. Devido ao resfriamento lento a austenita é transformada completamente em perlita.

Figura 44. Diagrama Fe-C. Resfriamento de liga com 1,8% de carbono. W. D. Callister. Materials Science and Engineering: An Introduction. Adaptado.

Rota 2

Neste método chamado de co-fusão por Needham, pedaços de ferro esponja forjados eram introduzidos num cadinho cerâmico junto com pedaços de ferro fundido. O cadinho era então colocado em um forno a temperaturas entre 1200°C e 1400°C (NEEDHAM, 2008).

Consideremos um conteúdo de ferro fundido com 4% de carbono e ferro esponja com aproximadamente 0% de carbono. Na medida em que a temperatura aumenta e excede 1200°C, todo o ferro fundido passa para estado líquido, permanecendo apenas os pedaços de ferro puro no estado sólido. Mantendo-se a temperatura a 1350°C, carbono oriundo do ferro fundido líquido enriquece a superfície do ferro puro que, ao atingir 1% de carbono, funde e se incorpora ao líquido. O sólido vai, dessa forma, sendo consumido e a proporção da fase líquida vai gradualmente aumentando até que todo metal esteja no estado líquido. Então, o cadinho é deixado para resfriar muito lentamente. O processo de resfriamento podia durar vários dias.

Quando a temperatura era superior à do patamar eutético, mas não alta o suficiente para fundir todo o metal, uma sequência de eventos um pouco diferente ocorria.

Os eventos poderiam ocorrer assim: colocava-se num cadinho, a uma temperatura de 1250°C, pedaços de ferro esponja e de ferro fundido (com cerca de 4% de carbono), na proporção de uns 60% e 40%, respectivamente. Após algum tempo a tal temperatura, o ferro fundido torna-se líquido, enquanto o ferro esponja, tendo maior ponto de fusão, permanece sólido. Nesta situação, carbono proveniente do banho difunde para a superfície do ferro puro sólido até atingir o teor de 1,5%. O ferro, dessa forma enriquecido, funde e se incorpora ao ferro fundido líquido. Isto ocorre até que o banho atinja o teor de carbono de 3,5%. O carbono na superfície do sólido difunde para o interior às custas do carbono disponível no líquido, que, por sua vez, passa a solidificar com 1,5% de carbono na superfície do sólido. Isto ocorrerá até que todo o líquido se esgote. O produto será uma massa sólida e heterogênea de aço cuja composição variará entre 0% e 1,5% de carbono, do centro para a superfície da massa sólida. Este produto poderia ainda passar algumas horas no forno para ser homogeneizado.

É interessante notar que, modernamente, pesquisadores (GOLDENSTEIN, 1998; LANGFORD, 1978) desenvolveram processos cujos princípios são similares a processo milenar de co-fusão.

Rota 3

Ferro fundido com alto teor de carbono, da ordem de 4%, é carregado no cadinho e colocado no forno. Quando a temperatura excede 1200°C, todo metal funde. Então, a descarburização ocorre mediante a oxidação superficial da liga. O oxigênio reage com o carbono dissolvido no líquido, sendo assim, retirado deste na forma de CO_2 . Na medida em que o carbono contido na liga é queimado, o material tende a solidificar em decorrência do aumento de seu ponto de fusão. O processo termina com a liga já no estado sólido. A massa sólida, com o teor de carbono adequado, era deixado resfriar muito lentamente para que a homogeneização se completasse.

Este processo também podia ser conduzido todo no estado sólido. Nesse caso, o ferro fundido era aquecido a temperaturas inferiores ao seu ponto de fusão, a

cerca de 1000°C, tipicamente, e mantido a tal temperatura por um longo período. Uma casca de óxido se forma e deve ser retirada em intervalos regulares, para não impedir a acesso do oxigênio até a superfície do metal.

A Damascenação

Esta etapa engloba todos os processos de forja e tratamentos térmicos que tem por finalidade produzir o aço de Damasco. Esta é, provavelmente, a etapa mais crítica na produção da espada de Damasco, uma vez que o processo é complexo e ao mesmo tempo delicado. Esta combinação de atributos requeria grande destreza e experiência por parte do ferreiro. Devido ao alto teor de carbono do aço de cadinho, uma rede de cementita proeutetóide circunda os grãos austeníticos, deixando todo o material frágil. O forjamento é realizado com a intenção de fragmentar essa rede continua de carboneto, diminuindo, assim, a fragilidade do aço. Entretanto, este procedimento não pode ser realizado a qualquer temperatura. A temperatura de trabalho devia situar-se, aproximadamente, entre 650°C e 850°C, o que deveria ser extremamente difícil de controlar tendo como única referência⁷³ a cor do metal. Se excessivamente baixa, o material poderia romper devido à fragilidade decorrente da rede continua de cementita. Por outro lado, se a temperatura fosse excessivamente alta⁷⁴, poderia haver fusão nos contornos de grão devido à presença de carboneto nessas regiões. A consequência também seria a ruptura do material. Assim, forjando o lingote entre os limites de temperatura recomendados, a rede de cementita proeutetóide que envolve os grãos é quebrada em partículas relativamente pequenas de formato globular ao longo da matriz.

Finalmente, a lâmina podia ser imersa⁷⁵ em água o que lhe conferia alta dureza devido à formação de martensita, embora este último procedimento fosse relativamente incomum.

⁷³ O processo de forjamento era realizado frequentemente em lugar escuro. Com isso, o ferreiro podia discriminar mais facilmente as cores do metal quente, diminuindo a probabilidade de erro no procedimento.

⁷⁴ É possível que este tivesse sido um dos motivos pelos quais os ferreiros europeus não tiveram sucesso em reproduzir o aço de Damasco. Acostumados a forjar aços de alto carbono a temperaturas da ordem de 1200°C, podem ter tentado forjar lâminas de wootz, um aço UHC, à mesma temperatura, o que provocaria seu rompimento durante o martelamento.

⁷⁵ A lâmina podia ser resfriada em diversos líquidos diferentes, ou mesmo ao ar. Assim, as estruturas resultantes podiam variar entre martensita, perlita e bainita.

2.7.4. O. Sherby

Wootz e a superplasticidade

Embora o wootz, um aço de cadinho UHC, já fosse conhecido na Ásia há dois milênios, o estudo sistemático dos aços UHC começou apenas na década de 1970, nos EUA, durante pesquisas sobre superplasticidade dos aços com alto teor de carbono (SHERBY, 1997) lideradas por Oleg Sherby⁷⁶. A superplasticidade é uma propriedade interessante e, ao mesmo tempo, surpreendente, uma vez que se caracteriza pela manifestação de grande ductilidade (numa certa faixa de temperaturas) em aços que, devido ao seu alto teor de carbono, são normalmente associados à fragilidade. Durante estas pesquisas sobre comportamento superplástico de aços UHC, verificou-se que estes apresentavam composição semelhante às das renomadas espadas de Damasco medievais (SHERBY, 1997). Assim, esta propriedade foi, provavelmente, um dos fatores que permitiu o forjamento destas armas antigas.

No começo dos anos 80, a equipe de Oleg D. Sherby e Jeffrey Wadsworth, da Universidade de Stanford, conseguiu desenvolver um método que, aparentemente, conduz a microestruturas e padrão macroscópico muito similar ao genuíno aço de Damasco. O método e o mecanismo que levam à formação de tal microestrutura são descritos (figura 45) a seguir.

Primeiro, o aço de cadinho é aquecido a 1100°C para homogeneizar o lingote, distribuindo o carbono uniformemente na austenita. Em seguida, o lingote podia ser submetido à deformação a quente.

O segundo passo é reaquecer e manter o lingote a 1100°C por 48 horas. Este segundo passo promove o crescimento do grão austenítico. Um lento resfriamento abaixo da curva A_{cm} (figura 44) segue-se a fim de permitir a formação de uma rede contínua de cementita proeutetóide nos contornos de grão.

No terceiro passo o material é reaquecido a uma faixa de temperatura entre 650°C e 750°C e deformado mecanicamente. Esta faixa de temperatura redissolve o

⁷⁶ Na década de 70, quando Sherby apresentava os resultados de seus estudos sobre superplasticidade em aços hipereutetóides, uma pessoa da audiência comentou que a composição química dos aços estudados pelo cientista era muito parecida à do aço de Damasco. Este evento produziu grande interesse por parte de Sherby, levando-o a dedicar anos ao estudo deste material. (SRINIVASAN, 2004)

carboneto eutetóide, mas mantém o proeutetóide como rede contínua. Esta cementita forma, então, uma rede contínua que encerra os grãos austeníticos. Esta rede de carboneto que produz o padrão de Damasco é extremamente dura e é responsável pela fragilidade do material, uma vez que permite que trincas produzidas nesta fase frágil se propaguem ao longo da rede (SHERBY, 1985). Este problema podia ser superado por um cuidadoso forjamento inicial ou mesmo por um tratamento prévio de descarburização superficial que tinha como propósito produzir um fino envelope dútil de ferro baixo carbono no lingote a ser forjado. O trabalho mecânico quebra essas redes de Fe_3C em pequenas partículas que assumem em aspecto esferóide e permanecem alinhados em bandas.

Finalmente o material é submetido a resfriamento e, quando a temperatura é inferior à do patamar eutetóide, a austenita transforma-se em uma estrutura que é parcialmente perlítica e parcialmente esferoidizada. Após o forjamento a quente, mas abaixo da temperatura A_1 (figura 44), a estrutura torna-se totalmente esferoidizada. A estrutura final é composta de bandas de cementita esferoidizada em uma matriz ferrítica. Uma informação adicional é que a forja, nessa faixa de temperaturas, é favorecida pelo fenômeno da superplasticidade, manifestado por aços com tal teor de carbono.

O aço de Damasco apresenta propriedades mecânicas muito boas⁷⁷ (VERHOEVEN, 2002), entretanto, o padrão damasceno requer a presença de uma estrutura metalúrgica relativamente grosseira, com partículas de carboneto tão grandes e localizadas ao ponto de formar bandas macroscópicas. Sherby observou que esta estrutura, embora bela, dificilmente é a melhor do ponto de vista mecânico. Uma estrutura formada de partículas de cementita tão finas quanto possível, uniformemente distribuídas dentro de grãos muito pequenos produziria melhores propriedades mecânicas. É improvável que ferreiros antigos não conhecessem este produto levando em consideração sua vasta experiência prática. Este fato deixou Sherby intrigado. Poderiam os ferreiros islâmicos medievais ter escolhido priorizar o padrão visual em detrimento a um aço mais resistente? A resposta pode estar em um critério cultural.

⁷⁷ Segundo Verhoeven, pode apresentar Limite de Escoamento da ordem de 900 MPa e Limite de Resistência de 1100 MPa.

Figura 45. Método desenvolvido por Wadsworth-Sherby. (SHERBY, 1999).

2.7.5. John D. Verhoeven

Posteriormente, John D. Verhoeven, da Universidade de Iowa, após exaustivo estudo sobre a literatura existente, realizou uma série de experimentos em parceria com o ferreiro Pendray e, finalmente, também apresentou uma explicação do mecanismo de formação do padrão de damasco. De acordo com Verhoeven, as faixas de partículas de cementita são produzidas em regiões interdendríticas (CHARRE, 2004). Estas regiões, por apresentarem maior concentração de elementos tais como Vanádio, devido à segregação ocorrida durante a solidificação, seriam os locais preferenciais de nucleação das partículas de carboneto que constituem as faixas (figura 47) (VERHOEVEN, 1996). A nucleação e crescimento de tais partículas ocorreria devido aos ciclos térmicos empregados durante o forjamento (VERHOEVEN; PENDRAY; BERGE, 1993).

Este deve ocorrer, então, a temperaturas inferiores à determinada pela linha A_{cm} .

Figuras 46 e 47. Figura 46. Bandas de partículas de cementita (região escura) dentro de uma matriz ferrítica (região clara da figura). Figura 47. Segregação. Solute (impurezas) fica retido entre dendritas durante a solidificação. (VERHOEVEN, 2001). (VERHOEVEN; PENDRAY, 1998)

Ao debruçar-se sobre o tema do aço de Damasco, Verhoeven observou um interessante paralelo entre o padrão damasceno das espadas e um fenômeno comum em aços hipoeutetóides, conhecido como bandeamento. O bandeamento é a formação alternada de regiões ferríticas e perlíticas que pode surgir em decorrência da microsegregação de certos elementos de liga nos espaços interdendríticos (KRAUSS, 2003) de aços hipoeutetóides. Durante o processo de solidificação do aço, a interface sólido/líquido avança no sentido do último. Elementos de liga presentes tendem a ser rejeitados para a porção líquida remanescente, devido à maior solubilidade destes elementos no líquido do que no sólido. Assim, a proporção de líquido vai diminuindo durante a solidificação, enquanto sua concentração em tais elementos aumenta, concentrando-se, finalmente, nas últimas regiões a solidificar, os espaços interdendríticos. Consideremos um caso típico de um aço com cerca de 1%Mn e baixo S. O Mn tem efeito estabilizador para a austenita, abaixando a posição da linha A_3 do diagrama de fases Fe-C (figura 44). Durante o resfriamento, ao se transpor a linha A_3 , as regiões centrais das dendritas, com menor teor de Mn serão as primeiras a sofrer transformação, produzindo ferrita, expulsando carbono para as regiões interdendríticas que, por sua vez, formarão perlita em um momento posterior. Assim, o material apresentaria faixas perlíticas e ferríticas alternadas, revelando a localização dos espaços interdendríticos e o centro das dendritas, respectivamente. Caso a liga apresente teores consideráveis de S, o mecanismo de bandeamento é

diferente, e dependerá da formação de MnS nas regiões interdendríticas, a qual favorecerá a nucleação da ferrita (VERHOEVEN, 2002; KRAUSS, 2003).

Com o propósito de verificar sua hipótese, Verhoeven realizou uma sequência de experimentos. Em um primeiro momento, o pesquisador acreditou ser P o principal responsável pelo surgimento de cementita interdendrítica. Esta poderia formar-se durante a solidificação, mesmo com teores de carbono abaixo da solubilidade máxima deste na austenita à temperatura eutética, como já foi sugerido (SMITH, 1960). Isso poderia ocorrer devido à ação do P, que acima de certos teores pode promover condições de não-equilíbrio durante o resfriamento (VERHOEVEN, 2002).

Posteriormente, novos experimentos revelaram que o padrão damasceno também podia surgir a partir de lingotes com baixíssimos níveis de P, excluindo este elemento como o principal responsável pela produção das águas. Observou-se que, austenitizando (por tempos relativamente curtos) amostras que já apresentavam o padrão, eliminava-se totalmente as ondulações visíveis. Entretanto, uma subsequente aplicação de ciclos térmicos de aquecimento entre 500°C e cerca de 80°C abaixo da linha A_{cm} (figura 48), o padrão damasceno retornava gradualmente, na medida em que os ciclos se repetiam. Estes experimentos foram cruciais para estabelecer que as partículas de cementita podiam ser formadas mesmo sem deformação mecânica, o que constitui uma das principais diferenças com relação à hipótese lançada pela equipe de Sherby.

Um novo panorama surgiu quando o pesquisador e sua equipe passou a utilizar ferro Sorel como parte da carga. Diferente das outras fontes utilizadas nas experiências anteriores, esta matéria prima contém impurezas, tais como V e Cr. As experiências distinguiram claramente que as lâminas que, após todo o processo termomecânico, acabaram exibindo o padrão, haviam sido produzidas com ferro Sorel. Este fato levantou a suspeita de que, embora em quantidades extremamente pequenas, esses elementos formadores de carboneto acabassem sendo os principais responsáveis pela formação das bandas. Tal fato foi corroborado por nova sequência de experiências nas quais se adicionaram, separadamente, vários elementos, entre eles, os formadores de carboneto V, Cr e Ti, verificando seus efeitos.

Figura 48. Exemplo de ciclos térmicos que podem conduzir ao surgimento do padrão de Damasco no aço UHC. (VERHOEVEN; PENDRAY; GIBSON, 1996, p.14)

Os estudos de Verhoeven mostram evidências de que a formação das faixas ocorre durante e, devido, à realização dos ciclos térmicos. A cada ciclo, as partículas de cementita, nucleadas nas regiões interdendríticas, engrossam à custa das menores pelo mecanismo de *Ostwald ripening*. Além disso, devido à segregação de certos elementos nas regiões interdendríticas, o crescimento e diminuição das partículas de carboneto nestas regiões é retardado devido à diminuição da mobilidade da interface austenita/cementita (VERHOEVEN, 1996). Assim, durante os ciclos térmicos, o aumento da temperatura promove a dissolução total das pequenas partículas de cementita, principalmente nas regiões dendríticas, pobres em elementos segregados, enquanto nas regiões interdendríticas, maior proporção de partículas sobreviverá. O resfriamento subsequente permitirá o crescimento das partículas que não foram dissolvidas nas regiões segregadas, mas não a reconstituição das partículas que foram totalmente dissolvidas nas regiões dendríticas, uma vez que isso exigiria nova nucleação, o que é energeticamente desfavorável. O resultado final será uma série de partículas de cementita agrupadas em faixas cuja distância corresponde ao espaçamento esperado entre as dendritas após a deformação imposta pelo forjamento.

A proposta de Verhoeven sobre a origem das faixas de partículas de cementita o fez formular uma hipótese que explicasse o aparente fim da produção da espada de Damasco, ainda em meados do século XIX. Segundo ele, a produção das lâ-

minas pode ter cessado como consequência do esgotamento das jazidas de minério que continham as impurezas relacionadas à formação do padrão (VERHOEVEN, 1998).

A principal diferença entre este método e o de Sherby, reside no fato da cementita alinhada visível na superfície da lâmina ser de origem diferente daquela obtida por Sherby. Segundo este, as carreiras de partículas de cementita tem origem proeutetóide, formando-se nos contornos de grão, já para Verhoeven, os carbonetos se originam durante os ciclos térmicos, mas não são formados pela deformação mecânica do forjamento. Verhoeven argumenta que o espaçamento entre as bandas de partículas de carboneto obtidas pelo método de Sherby não são os mesmos observados em lâminas de aço de Damasco genuínas.

Baseado em longo estudo e na observação minuciosa de vários exemplares genuínos de espadas de Damasco, Verhoeven propõe sete características próprias do aço de uma espada de Damasco.

- 1) A matriz é normalmente perlítica. Entretanto pode ainda ser martensítica (revenida) ou bainítica em função do tratamento térmico final ao qual a lâmina foi submetida.
- 2) As partículas de cementita são arredondadas (e não facetadas ou angulares) e tem raio na faixa de 3 a 20 μm . A distância entre as bandas é maior que 30 e menor 100 μm (figura 46).
- 3) As bandas de cementita constituem um corte transversal de regiões planares que concentram as partículas de cementita. Estes planos possuem pouca interconexão
- 4) Não há diferenças significativas na distribuição, tamanho ou formato das partículas de cementita entre cortes transversais e longitudinais.
- 5) Sendo n o número de partículas médio contidas na espessura de uma banda (ver figura 46). O valor de n é sempre maior que 1 e está entre 4 e 6 em média.
- 6) A composição que caracteriza o aço de Damasco é dada na tabela 1, abaixo.
- 7) A parte oposta ou gume da lâmina possui frequentemente uma costura cujas superfícies apresentam-se descarburadas.

Tabela 1. Composição do aço de Damasco proposta por Verhoeven.

Chemical Composition of Steels Studied								
Steel	C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr	Ni
Range genuine Damascus	1.34–1.87	0.005–0.14	0.005–0.11	0.007–0.038	0.05–0.206	0.04–0.06	Trace	0.008–0.016

(VERHOEVEN; PETERSON, 1992)

Figura 49. Seção transversal de amostra de uma espada de Damasco (VERHOEVEN; PENDRAY, 1998)

2.8. Aspectos culturais. Padrão Damasceno ou ondulado.

Na sociedade atual nós tendemos a ver a produção de armas desde um ponto de vista científico, político e econômico. Embora esses aspectos sejam importantes nas culturas antigas, cosmologia é um fator significativo a ser considerado, em particular quando se pretende entender as armas no contexto de outras culturas, do passado e do presente⁷⁸ (FEUERBACH, 1996, p.54)

Um assunto que intrigou Sherby durante seus estudos sobre o aço de Damasco é o fato de os ferreiros islâmicos medievais aparentemente terem preferido o

⁷⁸ In today's society we tend to view arms production from scientific, political and economic viewpoints. While these aspects are also important in past cultures, cosmology is a significant, yet elusive, factor to consider, particularly when trying to understand weapons in the context of other cultures, past and present (FEUERBACH, 1996, p.54).

aço de Damasco com seus belos padrões desenhados pela sua microestrutura, a um aço de estrutura mais refinada, com melhores propriedades mecânicas, mas sem os desenhos superficiais.

Não é fácil entender a razão que levaria os antigos a preferirem o aço de Damasco tradicional se não considerarmos fatores de ordem cultural e religiosa.

Há indícios de que o evidente padrão damasceno na superfície das lâminas não tenha sido particularmente apreciado no sul da Índia⁷⁹ (figura 50). Os hindus, historicamente, parecem ter revelado pouco interesse pelo aço com padrão superficial ondulado⁸⁰ que é particularmente uma arte persa (ELGOOD, 2004) (figura 51). Por outro lado, espadas com o famoso desenho eram muito estimadas no mundo islâmico medieval, razão pela qual foram sistematicamente produzidas nas regiões muçulmanas da Ásia Central, Oriente Médio e Pérsia, principalmente pelos artesãos persas que alçaram a prática, à categoria de arte.

Figura 50. Indian Jawhar. Padrões pouco intensos. (KHORASANI, 2006, p.124)

Diferente do que ocorre na Índia, em terras muçulmanas, o aspecto superficial do aço de Damasco assume conotação religiosa. Os desenhos ondulados do padrão damasceno são frequentemente comparados à água fluindo. Isso conduz naturalmente a uma associação dos desenhos das lâminas com as *águas do Paraíso*, além da vida. Água, no islã, está associada à vida. Entretanto, água de uma lâmina possui outra conotação, beber a água de uma lâmina é *morrer*. Em persa, a palavra *ab*

⁷⁹ Exceção deve ser feita a Hyderabad, onde persas estavam envolvidos no processo (FEUERBACH, 1996).

⁸⁰ Sinônimo de aço de Damasco. *Watered steel*.

significa água, mas também pode assumir a conotação de *água da lâmina*. Uma série de poetas islâmicos persas e otomanos da Idade Média utilizavam essa ambigüidade natural da palavra *ab* para compor versos que se utilizavam dos dois sentidos, da morte e da vida, que frequentemente iam gravados nas espadas de Damasco. Um grande número de espadas possui inscrições com versos que fazem referencia às águas do Paraíso (ALEXANDER, 1993; FEUERBACH, 1996).

Figura 51. Shamshir Persa. Forte padrão damasceno.(KHORASANI, 2006, p. 126)

2.9. Linha do Tempo.

500 - 600 d.C. Desenvolvimento das técnicas de co-fusão na China. Importação do aço “bin” da Pérsia e Afeganistão para a China.

700 a 800 d.C. Cavalaria torna-se unidade essencial nos exércitos muçulmanos. **705 d.C.** Império islâmico invade a península Ibérica.

840 d.C. Data do sabre mais antigo descoberto no mundo islâmico.

453 d.C. Os Hunos liderados por Átila chegam à região da Gália (atual França). Uso do sabre teria se difundido na Europa a partir de então (MAZAHERI, 1958).

570 d.C. Nascimento de Maomé

622 d.C. Começo do calendário muçulmano.

656 d.C. Conquista do Império persa Sassânida pelos árabes. **661 d.C.** Início da Dinastia Omíada.

750 d.C. Início da Dinastia Abássida.

751 d.C. Fim do período Merovíngio e início do período Carolíngio na Europa.

987 d.C. Fim do período Carolíngio na Europa.

1050 d.C. Turcos seljúcidas tomam Bagdá.

1190 d.C. Encontro entre Saladino e Ricardo Coração de Leão, da novela “O Talismã”, de Walter Scott.

1258 d.C. Mongóis, liderados por Hulegu Khan, neto de Gêngis Khan, destroem Bagdá, colocando fim com a Dinastia Abássida.

1821 d.C. Breant, estimulado pelo trabalho de Faraday reproduz o aço de Damasco.

1990 d.C. J. Verhoeven atribui a formação do padrão de Damasco à presença de certas impurezas na liga, tais como Vanádio, afirmando que o efeito é produzido em decorrência dos ciclos térmicos.

1771 d.C. Perret percebe que as lâminas de Damasco não são produzidas por caldeamento.

1795 d.C. George Person conclui que o wootz se trata-va mais de um aço do que de ferro .

1819 d.C. Faraday estuda o wootz sem atingir conclusões importantes. Faz uma série de experiências com liqas.

1841 d.C. Anossoff teria obtido êxito na reprodução do aço de Damasco.

1868 d.C. Tchernoff teria obtido êxito na reprodução do aço de Damasco.

1906 d.C. Belaiew publica "on the bulat". Faz uma descrição detalhada do aço de Damasco.

1960 d.C. Cyril Stanley Smith publica "A History of Metallography".

1980 d.C. Oleg Sherby atribui a formação do padrão de Damasco à fragmentação da cementita proeutetóide, propondo um método para reproduzi-la.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para aprofundar o conhecimento sobre o aço de Damasco, uma série de experiências para reproduzi-lo foi conduzida nos laboratórios do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade de São Paulo.

3.1.Experiência 1

O primeiro passo foi selecionar um cadinho de alumina, por este ser um material estável e que não reage com o aço no estado líquido às temperaturas esperadas para a experiência. Assim, o cadinho de alumina foi carregado com 1340g de ferro ARMCO de alta pureza, 25g de carbono grafite pulverizado com 99% de pureza e vidro comum triturado para produzir escória e proteger o metal líquido da oxidação, uma vez que a experiência foi realizada sem atmosfera controlada. As matérias primas foram adicionadas em quantidades tais para que tivéssemos como produto, um lingote de aço hipereutetóide com teor de carbono entre 1,3 e 2,0%, isento de quantidades significativas de qualquer outro elemento de liga ou impureza.

O cadinho carregado foi aquecido até cerca de 1500°C em um forno de indução e a temperatura foi controlada por meio de um pirômetro óptico. Uma vez que toda a carga fundiu, o forno foi desligado e o conjunto foi deixado a resfriar, sendo retirado apenas no dia seguinte.

A figura 52 abaixo representa, de forma esquemática, o arranjo da carga dentro do cadinho de alumina.

Figura 52 . Disposição da carga no interior do cadinho.

3.2.Experiência 2

A segunda experiência foi inspirada na Rota 1, assim como em informações e vídeos veiculados na internet de experientes ferreiros tais como Ric Furrer e Niels Provos. Novamente utilizamos um cadinho de alumina pelos mesmos motivos da primeira experiência. Em seguida, carregou-se o cadinho com ferro com teor de carbono próximo a zero (tabela 3) fornecido pela Brasmetal, cobrindo tudo com vidro comum triturado (figura 53). Devido à fragilidade do cadinho de alumina, que podia quebrar durante o aquecimento (ou resfriamento), decidiu-se coloca-lo dentro de outro cadinho para impedir que, em caso de rompimento, o metal líquido se espalhasse pela soleira do forno, danificando-o.

A intenção desta experiência era permitir a carburação do ferro até sua total fusão a 1380°C (a fusão a essa temperatura ocorre a teores próximos a $1,8\%\text{C}$), segundo o diagrama de fases abaixo. Assim, o conjunto foi colocado para aquecer a 1380°C por 6h e deixado para resfriar por mais 10h no interior do forno.

Figura 53. Montagem do cadinho.

Tabela 3. Composição química do aço baixo carbono.

Aço	C	Mn	P	S
Brasmetal	0,030	0,256	0,006	0,008

Fornecido pela Brasmetal.

3.3.Experiência 3

Baseados na rota 1 e em uma detalhada descrição encontrada na literatura (MOLINA, 2001; SANCHEZ, 2011)

planejou-se nova experiência, desta vez, no estado sólido. O objetivo era introduzir carbono por difusão no estado sólido em uma pequena barra de aço baixo carbono até se atingir a composição desejada entre 1,5 – 2,0%C.

Carregou-se um cadinho de carbetto de silício com um pedaço de aço com cerca de 0,6%C de pequenas dimensões (um cilindro de 3,7 cm de diâmetro e 5 cm de altura), carvão vegetal triturado em partículas de cerca de 2 cm de diâmetro até

completar $\frac{3}{4}$ do volume do cadinho e, finalmente, cobriu-se tudo com areia comum (figura 55).

O material foi levado a um forno elétrico aquecido por resistências a 1340°C, sem atmosfera controlada por um período de 12 horas. Seguido de resfriamento no próprio forno (SANCHEZ, 2011).

Figura 55. Montagem no interior do cadinho.

Tabela 4. Composição química aço 1060.

Aço	C	Mn	P	S
1060	0,55-0,65	0,6-0,9	<0,04	<0,05

Dados fornecidos pela Brasmetal.

3.4.Experiência 4

Carregou-se um cadinho de alumina de pequenas dimensões (figura 56) com 350g de Fe de alta pureza (figura 57), 7,35g e carbono grafite de 99% de pureza. O

conjunto foi então colocado dentro de um cadinho de grafita para funcionar como indutor e, finalmente, grafite pulverizado foi colocado entre ambos cadinhos para estabilizar o cadinho de alumina e favorecer a transmissão de calor do cadinho externo para o interno (figuras 58).

O conjunto foi colocado no mesmo forno de indução da experiência 1, entretanto, com atmosfera inerte (figura 59) cujo propósito principal foi de impedir a oxidação do metal. O aquecimento foi lento e controlado por meio de pirômetro óptico, levando cerca ando 1 hora para atingir perto de 1400°C . Uma vez que o metal fundiu, o forno foi desligado e o lingote foi deixado em seu interior para resfriar e solidificar, sendo retirado apenas no dia seguinte, após 24 horas.

Figuras 56 e 57. Figura 56. Cadinho de alumina de pequenas dimensões dentro de um cadinho de grafita. Figura 57. Fe de alta pureza.

Figura 58. Esquema do arranjo do conjunto.

Figura 59. Forno de indução com atmosfera inerte.

Uma vez obtido o lingote de aço hipereutetóide, deu-se sequência à segunda etapa da produção do aço de Damasco, os tratamentos termomecânicos.

O primeiro passo foi realizar um tratamento de austenitização do material a 1150°C por 5 horas e deixado resfriar no próprio forno elétrico tubular a resistência com atmosfera inerte (figura 60). Este tratamento térmico tem por finalidade homo-

geneizar o lingote e dissolver totalmente a cementita, para que esta possa precipitar novamente, desta vez, exclusivamente no contorno de grão austeníticos.

O tratamento seguinte consiste em um recozimento a 800°C durante 3 horas sem atmosfera controlada (figura 61). Este procedimento visa produzir uma pequena camada descarburada na superfície do lingote, assim como uma leve esferoidização da cementita pro-eutetóide, facilitando, desta forma, o forjamento posterior. A fina camada descarburada impede que trincas produzidas na rede contínua de cementita durante a forja se propaguem até a superfície do material, o que provocaria seu rompimento durante a deformação mecânica.

Após os tratamentos de austenitização e recozimento o lingote está pronto para ser forjado. O forjamento ocorreu com o auxílio do experiente ferreiro Remo Nogueira. O procedimento consistiu em forjar o lingote numa estreita faixa de temperatura, entre 650 e 750°C. Nesta faixa de temperatura a cementita proeutetóide é fragmentada e o material apresenta comportamento superplástico, o que favorece amplamente a grande deformação plástica sofrida pelo material. A temperatura de todo o processo foi controlada por meio de um pirômetro óptico.

A preparação das amostras para observação em microscopia óptica consistiu em lixamento com lixas 100, 220, 320, 400, 600 e 1200 e polimento em pasta de diamante com 3µm e 1µm. O ataque utilizado foi Nital 2% para revelar os carbonetos na matriz ferrítica para as micrografias.

As imagens microscopia óptica foram capturadas com uma câmera Micrometrics SE acoplada a um microscópio Olympus.

Foram tomadas imagens em Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV - Marca Philips, modelo XL30 com Analisador EDS. Análise através de EDS (Energy Dispersive x-ray Spectrometer) foi realizada para determinar o teor de silício das amostras dos lingotes contaminados.

Figura 60 e 61. Figura 60. Forno onde se realizou a austenitização a 1150°C com atmosfera inerte. Figura 61. Forno onde se realizou o recozimento a 800°C sem controle de atmosfera.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experiência 1

Após 24h de resfriamento, retirou-se o lingote (figura 62) e observou-se por meio de micrografias sua contaminação com silício (figuras 64 e 65) que foram confirmadas pela análise por EDS. Esta análise apontou teor de silício médio de 2,7%. A análise de carbono indicou também um teor excessivo de carbono de 4,7%. O produto foi ferro fundido cinzento. O excesso de carbono pode ter se originado em erro na balança utilizada para medir a massa de ferro ARMCO, levando a um erro na quantidade de carbono pulverizado necessário para se atingir um produto com teor de carbono entre 1,5 e 2%. A temperatura da carga dentro do forno a indução é de difícil controle, assim, é provável que a temperatura do cadinho tenha excedido amplamente o valor planejado (inferior a 1500°C), promovendo a redução do silício contido no vidro comum na forma SiO_2 . O silício deve ter sido, desta forma, incorporado ao metal líquido. O diagrama de Ellingham (figura 63) nos proporciona uma referência com relação à temperatura em que pode ocorrer a redução do silício, embora, nas condições da experiência, a atividade do silício possa ser diferente daquela considerada pelo diagrama e o processo não seja realizado em condições de equilíbrio. Esta experiência produziu, acidentalmente, ferro fundido e nos conduz a especular sobre a possibilidade de que um evento similar possa ter ocorrido na antiguidade chinesa, acarretando a invenção do ferro fundido.

Figura 63. Diagrama de Ellingham. O cruzamento da linha que representa a reação de oxidação $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$ com a linha $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ ocorre a cerca de $1530^\circ C$. A alta temperatura atingida deve ter promovido a redução indesejada do silício. (RICHARDSON, 1948)

Figura 62. Lingote contaminado com silício produzido na 1ª experiência

Figuras 64 e 65. Imagens de MO. Lingote contaminado com silício. O produto é ferro fundido cinzento

4.2. Experiência 2

Ao que tudo indica, o experimento não foi bem sucedido devido à selagem inadequada do conjunto, oxigênio da atmosfera teve acesso à carga, promovendo sua total oxidação, constatado após a retirada do cadinho do forno. Além disso, verificou-se que o próprio cadinho de alumina foi severamente corroído durante o processo. A hipótese é de que sílica do vidro, óxido de ferro (produto da oxidação da carga), e alumina do cadinho acabaram produzindo um eutético $\text{FeO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, cujo ponto de fusão é inferior a 1100°C (ver diagrama ternário abaixo, figura 66).

Figura 66. Diagrama ternário FeO-SiO₂-Al₂O₃. Eutético é formada a menos de 1100°C.
http://www.springerimages.com/Images/RSS/1-10.1007_s11663-011-9512-7-8

4.3. Experiência 3

Após o longo resfriamento, com o forno já na temperatura ambiente, retiramos e quebramos o cadinho para revelar seu interior (figura 67). O produto encontrado foi um pequeno lingote cujo formato revela que o metal fundiu totalmente durante o processo. Um pouco do carvão vegetal também permaneceu.

Ficou evidente que a areia não selou hermeticamente o sistema, pois esta fundiu apenas parcialmente. Assim, o oxigênio mais uma vez teve acesso ao interior e acabou oxidando a maior parte do carvão vegetal. Entretanto, o que realmente arruinou o material foi o fato de o metal ter fundido e entrado em contato íntimo com a superfície interna do cadinho composto de carvão de silício que, sabidamente, contamina o banho com silício. Portanto, o lingote, embora integro, continha alto teor de

silício, confirmado pelo EDS em 1,2%, o que inviabilizou sua posterior utilização. Além disso, o tempo de tratamento parece ter sido excessivo, pois a análise de carbono apontou um teor de carbono de 3,8%. A fusão inesperada do metal pode ter ocorrido porque aqui, à diferença da experiência descrita na literatura (MOLINA, 2001) e que inspirou este procedimento, utilizamos como matéria prima um aço com 0,6%C, ao passo que na experiência original foi utilizado ferro ARMCO (MOLINA, 2001), praticamente isento de carbono. Assim, o tempo de forno adotado deve ter sido excessivo quando se parte de um material já com 0,6%C, pois acabou sendo introduzido carbono suficiente para promover a fusão da carga (à temperatura da experiência, superior a 2,1%C).

Figura 67. Cadinho de carbeto de silício após a experiência..

Figuras 68 e 69. Imagens de MO. Metal foi novamente contaminado com silício produzindo ferro fundido cinzento.

4.4. Experiência 4

Após uma série de experimentos, finalmente obteve-se sucesso na produção de um lingote UHC (figuras 70 e 71).

Este último experimento fundamentou-se, principalmente, em experiências detalhadas descritas por Laura Garcia Sanchez (SANCHEZ, 2011) e O. Sherby (SHERBY, 1980, 2001) e se assemelha à rota 1. Diferentemente da experiência 1, nesta, atmosfera inerte foi utilizada de forma a impedir a oxidação do metal, eliminando também qualquer função para o vidro triturado, o qual não foi adicionado na produção do lingote. Assim, a carga consistia apenas nas placas de ferro e carbono grafite.

Figuras 70 e 71. Lingote UHC produzido no forno de Indução.

Uma vez constatado a fusão da carga, o forno foi desligado. O lento resfriamento ao qual o material foi submetido, tinha por alvo produzir uma microestrutura de grandes grãos com presença maciça de cementita em seus contornos. Era esperada também, a presença de cementita de widmanstatten no interior dos grãos. As micrografias abaixo revelam que a microestrutura prevista foi obtida. Além disso, a análise química revelou o teor de carbono obtido foi de 1,64%, totalmente compatível com o encontrado nas lâminas de Damasco medievais.

Figuras 72 e 73. Micrografias obtidas por microscópio óptico. Cementita pro-eutetóide nos contornos de grão e de widmanstatten no interior.

Em seguida, o material foi submetido ao tratamento de austenitização a 1150°C por 5 horas seguido de lento resfriamento. O propósito era dissolver toda a cementita na austenita para, em seguida, permitir que precipitasse exclusivamente nos contornos de grão (figuras 74, 75, 76 e 77). Este tratamento é fundamental pois é exatamente esta cementita que, após a fragmentação imposta pelo forjamento, formará as bandas que produzem o padrão de damasco.

Figuras 74, 75, 76 e 77. Imagens obtidas por MO. Aço UHC após tratamento de austenitização a 1150°C. Praticamente toda a cementita se encontra no contorno de grão.

O último tratamento térmico anterior ao forjamento foi um recozimento a 800°C que produziu uma camada descarburada dútil no lingote.

Figuras 78 e 79. Micrografias obtidas por microscopia óptica. Camada descarburada produzida pelo recozimento a 800°C.

Finalmente prosseguimos com o forjamento executado com o auxílio do ferreiro Remo Nogueira.

Figura 80 e 81. Imagens obtidas por MO. Lingote UHC pronto para forjamento, após austenitização e recozimento. É possível notar a esferoidização da cementita perlítica produzida pelo recozimento.

Após uma série de ciclos de forjamento entre 650 e 750°C, obteve-se o padrão de damasco (figuras 83 a 90).

Figura 83. Início do forjamento. Aquecimento do lingote em um forno a gás GLP.

Figuras 84, 85, 86, 87, 88, 89 e 90. Forjamento se prolongou durante longo tempo. Nos passos finais do forjamento a peça se rompeu devido à presença de vazios no interior do lingote que não caldearam.

Figuras 91, 92 e 93. Micrografias obtidas pro microscopia óptica. Microestrutura obtida do padrão damasceno. Corte transversal à direção de deformação mecânica. Figura 93. Partículas de cementita pro-eutetóide são facilmente reconhecíveis por estarem alinhadas em faixas e serem consideravelmente maiores que as de origem perlítica.

Figura 94, 95, 96, 97 e 98. Micrografias obtidas por microscopia ótica. Corte longitudinal do padrão damasceno obtido, revelando o alinhamento imposto devido à deformação mecânica do forjamento. Partículas de cementita pro-eutetóide são facilmente reconhecíveis por estarem alinhadas em faixas. O achatamento dos grãos decorrente do forjamento é evidente. A figura 98 revela a presença de partículas de cementita esferoidizadas, tanto de origem pro-eutetóide como perlítica.

Figuras 99, 100 e 101. Macrografias obtidas por lupa. Padrão de damasco macroscópico foi produzido.

Figuras 102, 103 e 104. Imagens de MEV. Corte longitudinal do aço de Damasco. As grandes partículas de cementita pro-eutetóide formam faixas.

Figuras 105, 106, 107, 108 e 109. Imagens de MEV. Corte transversal do aço de Damasco. Nas imagens é possível distinguir claramente as grandes partículas de cementita pro-eutetóide, imersas numa matriz perlítica.

As experiências de Verhoeven mostram fortes evidências de que o padrão damasceno é produzido devido ao fenômeno de segregação de elementos tais como o Vanádio. Segundo esta hipótese, o padrão se forma pela precipitação de cementita nas regiões interdendríticas e independem da deformação do forjamento. Por outro lado, na hipótese de Sherby a deformação mecânica é fundamental para fragmentar a cementita proeutetóide formando as bandas características do padrão, o que foi sustentado por evidências experimentais. As experiências realizadas nos laboratórios do departamento revelaram que é possível produzir o padrão sem a presença considerável de impurezas. Isto não implica que a textura de certas lâminas medievais não possa ter sido produzida pelo mecanismo proposto por Verhoeven.

Na realidade, a bibliografia revisada revelou que não havia uma única maneira de se produzir o aço de cadinho, na realidade havia muitas, assim como muitas eram suas procedências. Além disso, o processo de produção final da lâmina era variado e realizado, provavelmente, em diversas regiões, mesmo que haja um certo consenso de que a região da Pérsia Islâmica tenha sido origem dos melhores exemplares. Finalmente, a diversidade de tipos diferentes de padrões de Damasco é enorme, o que impede que se defina algum particular como sendo o genuíno, sem correr o risco de ser arbitrário. Assim, é possível que ambas hipóteses estejam corretas e que, por meio dos métodos propostos por cada um para produzir o padrão, seja possível reproduzir o aço de Damasco, mesmo que os padrões resultantes sejam ligeiramente diferentes.

Tabela 5. Composição química obtida nas experiências 1, 3 e 4.

Experiência	%C	%Si
1	4,7	2,7
3	3,8	1,2
4	1,6	-

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a definição adotada no capítulo um, para o termo “espada de Damasco”, podemos afirmar que a espada de Damasco é um produto particular da civilização islâmica, na medida em que foi nesta civilização que as condições necessárias para produzi-la ocorreram.

A época de ouro do islã na Idade Média representou um momento de grande desenvolvimento econômico-científico-cultural para a civilização islâmica. Nesse contexto, a assimilação do estado da arte nos diversos campos do saber e seu posterior desenvolvimento tornou-se uma consequência natural. O mundo islâmico medieval, de certa forma, incorporou o que de melhor havia das grandes civilizações vizinhas, como a hindu, a chinesa, a grega e egípcia, e das próprias civilizações que conquistou e que, assim, passaram a fazer parte dela própria. O aço de cadinho UHC veio da Índia com o nome wootz. Descobertas recentes revelam que este aço também foi produzido na Ásia Central. O sabre, adequado à cavalaria a quem acompanha, foi influência dos povos nômades das estepes asiáticas. Quando os exércitos islâmicos se estruturaram sobre sua cavalaria, à moda persa e dos povos nômades da Ásia Central, o sabre tornou-se uma das principais armas. Esta foi introduzida em terras muçulmanas pelos povos turcomanos.

Canalizadas pelos ferreiros persas, a religião e cultura islâmicas influenciaram aspectos do design das espadas, desde inscrições com versos do alcorão, até mesmo a preferência pelo forte padrão damasceno nas superfícies das espadas. Assim, técnicas de produção do aço de cadinho e de tratamentos termomecânicos que produzissem intenso contraste no padrão damasceno das lâminas podem ter sido adotados ou desenvolvidos para atender uma necessidade de ordem cultural.

Por outro lado, a parte experimental do trabalho trouxe à tona a grande dificuldade de se produzir o aço de damasco, principalmente, considerando a época e os recursos que estavam disponíveis aos ferreiros medievais. Muito esforço, engenhosidade e observação consagradas ao seu desenvolvimento por gerações devem ter sido necessárias para se alcançar o produto que conhecemos como espada de Damasco. A falha da primeira experiência acabou produzindo, por acidente, ferro fundido devido à contaminação com silício. Este evento nos permite levantar a hipótese de que a própria invenção pioneira do ferro fundido pela China, ainda antes da

era cristã, poderia também ter sido fruto de um acidente na produção de aço em que uma eventual contaminação deste por silício poderia ter acarretado o desenvolvimento do ferro fundido.

A origem das bandas é diferente para Sherby e Verhoeven. O primeiro afirma que as faixas de cementita tem origem proeutetóide e são produzidas devido à fragmentação deflagrada pelo forjamento. O último propõe que a formação das águas independe de deformação plástica, pois se origina da precipitação de carboneto nas regiões interdendríticas.

A bibliografia aponta para uma variedade grande de métodos para a produção de aço de cadinho UHC. Havia, portanto, muitas maneiras de se produzir a matéria prima das espadas, assim como muitas eram suas origens. Além disso, a fase final de forja era realizada em varias regiões, utilizando, provavelmente, técnicas diversas. Este fato explica, em grande medida, a variedade de texturas de Damasco existente, assim como a diversidade de empunhaduras e decorações. Considerando tal variedade de matéria prima e de regiões onde a espada era produzida, é possível que ambas as hipóteses para formação do padrão de Damasco estejam corretas, mesmo que os padrões não sejam exatamente os mesmos.

Assim como muitas invenções ao longo da História, a espada de Damasco carrega em si o conhecimento e tradição de diversas gerações e culturas. O estudo nos revela que é especialmente difícil atribuir a espada a uma *única* civilização. Embora a espada de Damasco possa ser entendida como essa soma de influências e contribuições, foi a civilização islâmica quem criou as condições para sua produção em larga escala fazendo dela uma expressão de sua própria cultura.

6. CONCLUSÕES EXPERIMENTAIS

1. O lingote produzido na experiência 1 foi contaminado com silício. Tal fato ocorreu devido à alta temperatura atingida durante o processo.
2. A experiência 2 falhou devido à selagem imperfeita do cadinho. Isto permitiu o acesso de oxigênio ao seu interior, provocando a oxidação do ferro.
3. O produto final foi contaminado com silício do cadinho de carbetto de silício. Isto ocorreu devido à fusão do metal.
4. A experiência bem sucedida inspirada no método de Sherby e na rota 1 revelou que é possível produzir o padrão de damasco sem a presença de quantidades significativas de impurezas.

7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo revelou que há muitos estudos técnicos sobre a metalurgia de espadas e muitos outros sobre história e cultura, entretanto, poucos são os trabalhos que abordam o assunto de forma multidisciplinar, contextualizando, descobrindo e relacionando as informações das diversas áreas envolvidas. Uma possibilidade de estudo que parece particularmente interessante é a espada japonesa, ou *nihonto*, devido a sua complexa e sofisticada metalurgia e a íntima relação deste objeto com a civilização que a produziu. De que forma a história e os valores da cultura japonesa se refletem neste objeto símbolo dessa sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, D. Swords and Sabers During the Early Islamic Period. *Gladius*, Vol 21, p. 193-220, December, 2001.

_____, D. G. Two aspect of islamic arms and armour. *Metropolitam Museum of Art*, Vol. 18, 1983, pp. 97-109.

BELAIEW, N.T.: “On the Bulat”, Thesis, Michael Artillery Academy, St Petersburg, 1906.

BULLOCK, R. Oriental arms and armour. *The metropolitan museum of art bulletin*, New Series, Vol. 5, No. 6, 1947, pp.169-171.

BURTON, R. F. *The Book of The Sword*. 1 ed, New York: Dover publications, 1987, 297 p.

CHARRE, M. D. *Les aciers damassés: du fer primitif aux aciers modernes*. Paris Presses de l'école des Mines, 2007. 206 p.

CHARRE, M. D. *The microstructures of steels and cast irons*. New York: Springer, 2004. 404 p.

ÇORUHLU, Y. *Erken Devir Türk Sanatı. ABC*, Istanbul, 1998, p.74-75.

ELGOOD, R. *Hindu Arms and Ritual: Arms and Armour from India 1400-1865*. Eburon Publishers, Delft; 1st ed. Sep, 2004.

FARROKH, K. *Shadows in the desert: Ancient Persia at war*. Great Britain: Osprey publishing, 2007, 320 p.

FEURBACH, A. *Crucible Damascus Steel: A Fascination for Almost 2000 Years*. *JOM Journal of the Minerals*, Vol 58, n 5, p. 48-50, May, 2006.

_____, A. M. *Crucible steel in asia*. Tese (Doutorado) – University College London, 345p.

_____, A. Re-thinking “Damascus” steel. *American Society of Arms Collectors Bulletin* 96.

FIGIEL, L. S.; *On Damascus Steel*. New York: Atlantis Art Press. 1991.

GOLDENSTEIN, H.; YOSHIMURA, H. N.; BIANCHI, F. F. "Infiltration Diffusional Solidification: a New Route for Processing Metal Matrix Composites", *Materials Science and Technology*, September-October, 1998, Vol. 14, 887.

HUNTINGTON, S. P. O choque de civilizações e a recomposição da ordem mundial. Rio de Janeiro: Objetiva, 2010, 639 p.

KRAUSS, G.; Solidification, Segregation, and Banding in Carbon and Alloy Steels. Metallurgical and Materials Transactions B, December 2003, Volume 34, Issue 6, pp 781-792.

KHORASANI, M. M. Arms and Armour from Iran. The Bronze Age to the End of the Qajar Period. Legat Verlag, Germany, 2006. 700 p

LANGFORD, G.; CUNNINGHAM, R. E. "Steel Casting by Diffusion Solidification", Metallurgical Transactions B, March, 1978, Volume 9, Issue 1, pp 5-19.

LYONS, J. A casa da sabedoria. Como a valorização do conhecimento pelos árabes transformou a civilização ocidental. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 2011, 294 p.

MARYON, H. Pattern-welding and Damascening of Sword-blades Part 2 Studies in Conservation, Vol. 5, No. 2, pp. 52-60, May, 1960.

MAZAHERI, A. Le sabre contre l'Épée: ou l'origine chinoise de l' "Acier au creuset". *Annales. Historie, Sciences Sociales*, 13e Année, No. 4, Oct-Dec., 1958, pp.

MOLINA, R. C. Contribución al estudio de la fabricación de armas blancas com acero de Damasco. Tese (Doutorado) – Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2001, 376 p.

MORIMOTO, M. The forging of japanese katana. Colorado school of Mines. June 14th, 2004.

MUHLI, J. D. et al. Iron in Anatolia and the nature of the Hitite Iron industry. *Anatolian Studies*, Vol. 35, British Institute at Ankara, 1985, pp. 67-84.

NEEDHAM, J. Science and Civilization in China: Vol.5, Chemistry and Chemical Technology, Part 11, Ferrous Metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2008, 477 p.

NICOLLE, D. The Armies of Islam 7th – 11th Centuries. 22 ed, Great Britain: Osprey publishing, 2007, 40 p., Men-at-arms 125.

_____. Arms and Armour of the crusading era 1050-1350: Islam, Eastern and Asia. London: Greenhill books, 1999, 576 p.

PICCINI, A. Arquitetura do Oriente Médio ao Ocidente: A transferência através do Mediterrâneo até Florença. Annablume, 2009.

RAYMOND, R. Out of the fiery furnace: The impact of metals on the history of mankind, Pennsylvania State Univ Press, 1986, 274p

RICHARDSON, F. D.. J.H.E. Jeffes: Journal of Iron and Steel Institute, Vol. 60, No 261, 1948.

SACHSE, M. Damascus Steel : Myth, History, Technology, Applications. Stahleisen Communications, 3rd Ed. 2008.

SCOTT, W. O Talismã. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2009, 176 p.

SANCHEZ, L. G. Claves metalúrgicas de la fabricación de espadas con acero de Damasco (Al-hindi) según el taller persa medieval del shamshirsaz Assad Allâh de Isfahân. Tese (Doutorado) – Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2011.

SHERBY, O.; TALEFF, E. M.; BRAMFITT, B. L.; SYN, C. K.; LESUER, D. R.; WADSWORTH, J. Processing, structure, and properties of a rolled, ultrahigh-carbon steel plate exhibiting a damask pattern. Materials Characterization, vol. 46, n. 1, p. 11-18, January, 2001.

_____, O. D. Ultrahigh Carbon Steels, Damascus Steels and Ancient Blacksmiths, ISIJ International, Vol. 39, n. 7, p. 637-648, 1999.

_____, O. WADSWORTH, J. The History of Ultra High Carbon Steels. Lawrence Livermore National Laboratory, June, 1997.

_____, O. D.; WADSWORTH, J. "Damascus Steels", Scientific American, 252, n 2, p. 112-120, 1985.

_____, O. WADSWORTH, J. On The Bulat-Damascus Steels Revisited, Progress in Materials Science, Vol. 25, n. 1, p. 35-68, 1980.

SINOR, D. The Inner Asian Warrior. Journal of the American Oriental Society, Vol. 101, No. 2 (Apr. - Jun., 1981), pp. 133-144.

SMITH, C. S. A History Of Metallography: The Development Of Ideas On The Structure Of Metals Before 1890. Literary Licensing, LLC, 1960. 314p.

SMITH, H. As religiões do mundo. Nossas grandes tradições de sabedoria. 1ª edição.[S.I]. Cultrix. 2001. 368p.

SRINIVASAN, S.; RANGANATHAN, S. India's Legendary Wootz Steel: An Advanced Material of the Ancient World. Bangalore: National Institute of advanced studies, 2004. 146 p.

TSURTSUMIA, M. The evolution of splint armour in Georgia and Bizantium. Lamelar and scale armour in the 10th – 12th century.

TYLECOTE, R. F. A History of Metallurgy. 2nd ed. UK: Maney Publishing , 2002, 205 p.

VERHOEVEN, J. D. Genuine Damascus Steel: a type of banded microstructure in hypereutectoid steels. Steel Research Journal, Volume 73, n. 8, p. 356–365, 2002.

VERHOEVEN, J.; PENDRAY, DAUKSCH W. E.; The Key Role of Impurities in Ancient Damascus Steel Blades. JOM. September, 1998.

VERHOEVEN, J; PENDRAY A. The Mystery of the Damascus Sword, Muse, Volume 2, Number 2, pp. 35-43, April 1998.

VERHOEVEN, J.; PENDRAY, A. H.; GIBSON, E. D. Wootz Damascus steel blades. Materials Characterization, Volume 37, n. 1, p. 9 – 22, july, 1996.

VERHOEVEN, J.; PENDRAY, A. H.; BERGE, P. M. Studies of Damascus steel blades: Part I-Experiments on reconstructed Blades. Materials Characterization, Volume 30, n. 3, p. 175– 186, april, 1993.

VERHOEVEN, J.; PENDRAY, A. H.; BERGE, P. M. Studies of Damascus steel blades: Part II-Destruction and reformation of the patterns. Materials Characterization, Volume 30, n. 3, p. 187 – 200, april, 1993.

VERHOEVEN, J.; PETERSON, D. What is Damascus Steel. Materials Characterization, No. 29, pp. 335-341, 1992.

ANEXO

Propriedades Mecânicas

A tabela⁸¹ abaixo apresenta propriedades mecânicas de três exemplares de espadas de Damasco genuínas.

Tabela 6. Propriedades Mecânicas de espadas de Damasco.

Tensile Properties of Steel from a Damascus Steel Sword				
Sample No.	Y. S., MPa	T. S., MPa	El., %	R. A., %
1	731	1030	7.9	31
2	703	1025	9.6	32
3	786	1150	12.6	—
Hot rolled 1.0% carbon [5]	550	965	6	10

(VERHOEVEN; PETERSON; BAKER, 1990) Damascus Steel, Characterization of One Damascus Steel Sword

. A dureza⁸² superficial varia entre 62 e 67 R_A. A estrutura é perlítica fina.

Breve história dos povos nômades desde os Xiongnu.

Os primeiros registros dos povos turcomanos remontam ao séc. II a.C. pelos chineses durante a dinastia Han. Junto aos tungús e mongóis, constituem os chamados povos altaicos que teriam se originado na região das montanhas Altai, localizadas na Ásia Central, perto da fronteira entre as modernas Rússia, Mongólia, Cazaquistão e China (figura 110 e 111). Um grande número de acadêmicos acredita que mongóis, turcomanos e tungús são povos estreitamente relacionados, motivo pelo qual, tem suas línguas agrupadas na família das línguas altaicas⁸³.

⁸¹ Y. S. (Yield Strength) ou Limite de Escoamento. T. S. (Tensile Strength) ou Limite de Resistência a Tração.

⁸² Dureza de cerca de 83 R_A já foi obtida em amostras de aço de Damasco com matriz martensítica temperadas reproduzidas em laboratório.

⁸³ As línguas altaicas compreendem três grupos; línguas turcomanas (turco, azeri, cazaque, uzbeque, quirguiz, etc), línguas mongólicas e línguas tungúsicas. Embora ainda levante controvérsia, acredita-se que possuam origem comum e que sejam, portanto, relacionadas.

Figura 110. Localização dos montes Altai. <http://www.mapas-asia.com/mapas/mapa-fisico-asia.jpg> 13-02-2013

Figura 111. Montes Altai localização. Mapa atual. <http://www.guiageo.com/pictures/mapa-asia.jpg> 13-02-2013

Um dos primeiros registros escritos da presença de povos turcomanos, data da dinastia chinesa Han, por volta do séc. II a.C. Estes registros chineses são a principal fonte de informação sobre os *Xiongnu*⁸⁴. Embora sua identidade ainda levante dúvidas entre os especialistas, há fortes indícios de que esta confederação de tribos nômades tenha sido de origem turcomana e que, portanto, falasse uma língua proto-turca. Os Xiongnu foram os principais inimigos dos chineses na época, contra os quais estiveram em guerra por séculos, ainda antes da era cristã. Após seu auge, a famosa confederação se desintegraria no primeiro século depois de Cristo, primeiro dividindo-se em porção norte e sul e depois migrando (os Xiongnu do norte) ou sendo absorvida pelas civilizações adjacentes (Xiongnu do sul), principalmente a chinesa.

Figura 112. Confederação Xiongnu em 200 a.C http://en.wikipedia.org/wiki/File:Asia_200bc.jpg 10-02-2013

⁸⁴ Ou Hsiung-nu, foi um povo nômade que habitou a região da atual Mongólia, China e sudoeste da Rússia. Teve seu auge como Império por volta do séc II a.C. Sua relação com os chineses foi pautada por recorrentes conflitos armados. São freqüentemente reconhecidos como um povo turcomano, entretanto, este assunto ainda gera controvérsia, podendo ainda ter sido um povo de origem iraniana (aparentados aos citas-sakas), mongólica ou mesmo uma confederação multi-étnica. Seus constantes ataques sobre o território chinês levaram estes a desenvolver um sistema defensivo mais eficaz, conhecido posteriormente como a *grande muralha da China*. Há sérias evidências de que os Xiongnu, durante sua migração para o oeste (provocada, entre outros motivos, pela derrota frente aos chineses) teriam originado o povo que quatro séculos mais tarde invadiria a Europa. Os Hunos.

Após a queda do Império Xiongnu, os Xianbei⁸⁵, entre 93 d.C e 234 d.C lideraram uma aliança de tribos nômades que controlaram a região da Mongólia tomando o lugar dos Xiongnu no controle da região e nos conflitos contra a China.

No Hou Hanshu⁸⁶ há registros dos Xianbei de 177 d.C:

“Após a retirada dos Xiongnu, os Xianbei tem se tornado mais poderosos e populosos, tomando todas as terras que pertenciam aos Xiongnu e declarando possuírem um exército de 100.000 homens...Metais refinados e ferro puddlado (ou esponja) passaram para as posses dos rebeldes Xianbei...suas armas são mais afiadas e seus cavalos mais rápidos que os dos Xiongnu.” (informação do wikipedia)

Por volta do séc. III d.C, o Estado Xianbei se dividiu em uma grande número de pequenas dinastias independentes, entre elas os Juan Juan.

Os Juan Juan (figura 113) constituíram uma confederação de tribos mongólicas lideradas pelos próprios Xianbei remanescentes. Sucederam o canato Xianbei no controle da região entre 330 e 555 d.C. Conhecidos no ocidente como Hunos brancos, os Heftalitas⁸⁷ (figura 113), confederação de povos de origem iraniana, foram vassalos dos Juan Juan e entraram em confronto com a civilização Sassânida (figura 114) durante o começo da alta Idade Média.

⁸⁵ Consistia em um confederação de tribos mongólicas que sucederam os Xiongnu no controle da região ao norte da China. No século III, desintegrou-se em diversos reinos independentes entre os quais estão os Juan Juan e Khitan.

⁸⁶ Ou “Livro dos Han posterior” é um texto histórico oficial chinês que cobre a história da Dinastia Han entre os anos 6 e 189 d.C. Foi compilado por Fan Ye durante o séc. V d.C. Muitos de seus relatos podem ser interpretados como o ponto de vista dos chineses sobre os povos antigos que os orbitavam e são uma rica, quando não única, fonte de informação das sociedades e culturas da época.

⁸⁷ Em sua maior extensão englobava áreas do Afeganistão, Turcomenistão, Uzbequistão, Tadjiquistão, Quirguistão, Paquistão, Índia Cazaquistão e China. Parecem ter falado bactriano, língua iraniana (figura 116). Sua região mais importante era o norte do Afeganistão. Podem ter se auto-denominado hunos com a intenção de inspirar terror em seus inimigos. No ocidente, de fato, eram conhecidos como Hunos brancos.

Figura 113. Império Juan Juan e Heftalitas em 500 d.C.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Asia_500ad.jpg

Os Gokturks, povo vassalo dos Juan Juan rebelaram-se e passaram a controlar não só a rota da seda como estenderam seu controle por imensa região (figura 114). Formavam uma confederação de tribos turcomanas que governou entre 555 e 744 d.C.

Figura 114. Gokturks em 600 d.C. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/East-Hem_600ad.jpg 10-02-2013

Após conflitos internos relativos à sucessão da dinastia, os Gokturks se dividiram em Canato Oriental e Ocidental⁸⁸, este último desintegrou-se em reinos independentes tais como os Karluks⁸⁹, Oghuz, Cazares⁹⁰ e Búlgaros⁹¹, ainda no começo do séc. VII. O Canato Oriental ruiu em decorrência do penoso conflito com os chineses cedendo lugar para a dinastia Uigur, em meados do séc. VIII

Figura 115. Hemisfério oriental em 700 d.C. Localização da tribo Oghuz que deram origem aos Seljúcidas. http://worldhistorymaps.info/images/East-Hem_700ad.jpg 10-02-2013

Tukhara: Povo de origem iraniana, relacionados aos citas e sakas.

Kwarezm: Povo de origem iraniana, também conhecidos como sakas.

⁸⁸ O Império Gokturk Ocidental aliou-se aos Bizantinos do Imperador Heráclio no fim do séc. VI e começo do séc. VII d.C. para derrotar o inimigo comum, o antes poderoso Império Sassânida, desencadeando as chamadas Guerras perso-turcas.

⁸⁹ Povo turcomano estreitamente relacionado aos Uigurs e aos Karakhanidas.

⁹⁰ Apartir de 642 d.C., durante a expansão territorial islâmica, os árabes deparam-se com os khazares na região do Cáucaso, dando início a uma série e hostilidades que recebeu o nome de guerra árabe-khazar. Os Khazares, fizeram o papel de bloquear o avanço islâmico para a Europa.

⁹¹ Os búlgaros foram deslocados de sua região de origem pelos khazares por volta de 680 d.C. quando se dividiram em dois grupos, um deles estabeleceu-se na atual Bulgária e o outro, na porção norte do rio Volga. Este último grupo é a origem da população da atual região da Chuváchia, Rússia.

<http://3.bp.blogspot.com/LQrd4uF0flc/T05MVETfWNI/AAAAAAAAA7A/MWgoqdJdbSU/s1600/IndoEuropeanTree.png> 10-02-2013

As guerras de expansão

Após a morte de Maomé, as atenções da nascente sociedade islâmica se voltaram para fora da península arábica. Ao norte das terras unificadas pelo profeta encontravam-se duas das mais poderosas civilizações da Idade Média, o Império Bizantino e o Império Sassânida. Estas foram as civilizações com as quais os muçulmanos se chocaram em 636 d.C. Numa mesma onda de conquistas, bateram os bizantinos no Oriente Próximo ao norte e, a leste, conquistaram todo o território que, por mais de quatro séculos, pertenceu à grande civilização Sassânida. Em cerca de 100 anos os muçulmanos haviam se tornado os maiores rivais dos bizantinos tomando o lugar do Império Sassânida no Oriente Médio e na História.

Durante os quatro séculos da existência do Império Sassânida (séc. III – séc. VII), o ocidente asiático viveu sob um equilíbrio delicado de forças. Os sassânidas encontrava-se geograficamente entre duas grandes forças militares da Alta Idade Média, os povos nômades da Ásia Central, em particular os turcomanos e os Heftalitas⁹² a nordeste e Bizâncio, a oeste. Durante sua história, os persas sassânidas foram bem sucedidos na contenção dessas ameaças em todas suas fronteiras, mantendo sua integridade territorial. Entretanto, os longos períodos de guerra em duas frentes, a grande quantidade de recursos utilizados e, particularmente, o recrudescimento dos conflitos contra os bizantinos acabaram exaurindo não apenas os persas, como também o Império Bizantino. Além disso, à época que antecedeu a invasão islâmica, o Império Sassânida vivia um clima de insatisfação social devido, a uma série de motivos, entre eles, a desigualdade entre classes sociais. Enquanto a sociedade sofria as consequências econômicas das intermináveis guerras, a elite aristocrática que governava o Império não media esforços para manter e mesmo ampliar os privilégios e o luxo dos quais desfrutavam. O Zoroastrismo não mais parecia satisfazer as necessidades espirituais e de justiça social. Trazido pelos invasores, o Islã, com sua proposta de igualdade, surgia como uma interessante doutrina nesse contexto de insatisfação interna. Embora a situação fosse excepcionalmente favorável, a conquista não foi levada a cabo sem uma série de batalhas sangrentas

⁹²Também conhecidos como “hunos brancos”, formaram uma confederação de nômades poderosa entre aproximadamente 420 e 670 d.C. Há uma série de teorias sobre sua origem, destacando-se entre elas, aquelas que os apontam como povo turco-mongol e de origem iraniana. Ocuparam as terras entre a Índia e o Império Sassânida. Durante o séc. VI, saquearam e invadiram o norte da Índia Gupta. No séc. V infligiram duras derrotas aos persas sassânidas, desaparecendo da História no séc. VII.

e decisões estratégicas corretas.

Militarmente, as vitórias dos califas podem ser atribuídas entre outros motivos, à inspiração de natureza moral (religiosa) e à mobilidade superior das tropas muçulmanas em comparação com seus rivais. Embora fossem superados em tecnologia bélica⁹³ pelas duas civilizações vizinhas, o Império Bizantino e o Império Sassânida, utilizaram estratégia superior e, sendo originários da península arábica, possuíam profundo conhecimento do terreno desértico e semi-desértico, assim como seus oásis e rotas de fuga. Isso, somado ao uso extensivo do camelo, perfeitamente adaptado a esse terreno, permitiam aos árabes movimentar-se rapidamente e dar batalha onde suas guarnições extraíssem a maior vantagem possível, da mesma forma que podiam recuar rapidamente quando a situação assim o exigia. Mesmo a infantaria possuía excepcional mobilidade, utilizando camelos e cavalos para se locomover ao lugar de batalha, além da própria cavalaria.

Sinopse dos textos mais relevantes.

FEUERBACH, A. 2006. Crucible Damascus Steel: A Fascination of Almost 2000 years. JOM Journal of the Minerals, Vol 58, n 5, p. 48-50, May, 2006.

Artigo sobre a origem do termo espada de Damasco. Enfoca o tema por um prisma técnico-cultural.

MOLINA, R. C. Contribución al estudio de la fabricación de armas blancas con acero de Damasco. 2001, 376 p. Tese (Doutorado) – Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2001.

Um trabalho bastante extenso e detalhado sobre o aço de Damasco. Aborda a origem, processos, classificação de padrões.

⁹³É sabido que os muçulmanos eram amplamente superados por bizantinos e sassânidas em conhecimento e tecnologias de batalha de cerco.

NEEDHAM, J. Science and Civilization in China: Vol.5, Chemistry and Chemical Technology, Part 11, Ferrous Metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2008, 477p..

Este livro aborda a metalurgia do ferro na China desde tempos remotos até datas mais recentes. Discorre com profundidade sobre as implicações políticas, econômicas e sociais das tecnologias metalúrgicas do passado. Evidências arqueológicas são debatidas, assim como suas consequências sobre na reconstrução da história da metalurgia chinesa e mundial. Detalhes de vários processos antigos para obtenção do ferro e sobre sua evolução e transmissão dentro e fora da China, são descritos. A influência da Ásia Central em alguns processos é comentada. O surgimento pioneiro da fundição como principal processo de produção de artefatos é descrito com detalhes.

PERTTULA, J. Reproduced wootz Damascus Steel. Scandinavian Journal of Metallurgy, Volume 30, p. 65-68, 2001.

Trabalho experimental que utilize o método de Verhoeven e explica a formação da cementita pelo mecanismo do mesmo autor.

SHERBY, O. D. Ultrahight Carbon Steels, Damascus Steels and Ancient Blacksmiths. ISIJ International, Vol. 39, n. 7, p. 637-648, 1999.

Artigo discorre resumidamente sobre os aços UHC, suas propriedades mecânicas, superplasticidade a altas temperaturas e possíveis aplicações. Comenta que foram estes estudos sobre os aços UHC que levaram os pesquisadores a se interessar pela história do aço de Damasco, que também é um aço UHC. Propõe uma revisão da data que normalmente se atribui à Idade do Ferro.

_____.; WADSWORTH, J. On The Bulat-Damascus Steels Revisited, Progress in Materials Science, Vol. 25, n. 1, p. 35-68, 1980.

Artigo que resume a história da aço de Damasco como objeto de estudo científico no Ocidente e um provável mecanismo de formação das bandas de partículas de cementita. Descreve com clareza os fenômenos metalúrgicos que ocorrem durante a solidificação e tratamentos térmicos da produção deste aço.

_____. ; TALEFF, E. M.; BRAMFITT, B. L.; SYN, C. K.; LESUER, D. R.; WADSWORTH, J. Processing, structure, and properties of a rolled, ultrahigh-carbon steel plate exhibiting a damask pattern. *Materials Characterization*, vol. 46, n. 1, p. 11-18, January, 2001.

Artigo descreve procedimento experimental realizado pelo autor e equipe que reproduz o padrão damasceno aparentemente igual ao encontrado nas lâminas de Damasco genuínas. Microestrutura e testes para verificar as propriedades mecânicas do material produzido são descritos.

_____.; WADSWORTH, J. Ancient blacksmiths, the Iron Age, Damascus steels, and modern metallurgy. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 117, n. 3, p. 347–353, november, 2001.

O artigo refere-se ao aço de Damasco do ponto de vista de seu impacto histórico. Também procura compreender como pode ter sido o processo de produção das espadas a partir do ponto de vista dos ferreiros medievais e seu significado para aquela sociedade.

_____.; WADSWORTH, J. Coments on “Damascus Steel, Part III: The Wadsworth-Sherby Mechanism” by Verhoeven at al. *Materials Characterization*, Volume 28, n. 2, p. 165–172, March, 1992.

Artigo de Sherby respondendo a uma publicação de Verhoeven em que este último critica o método de Sherby, afirmando que as bandas produzidas não são compatíveis com o padrão das espadas de Damasco genuínas. Sherby comenta que essas conclusões de Verhoeven estão incorretas pois se baseiam em exemplares de lâminas atípicas.

TYLECOTE, R. F. A history of metallurgy. 2 ed., London: The Institute of Metals, 1992, 105 p..

Discorre sobre a História da Metalurgia desde a era Neolítica. Arqueologia, evolução dos processos de extração e produção de metais e eventualmente seus impactos na sociedade humana são abordados.

VERHOEVEN, J. D. Genuine Damascus Steel: a type of banded microstructure in hypereutectoid steels. Steel Research Journal, Volume 73, n. 8, p. 356–365, 2002.

Trata-se de uma revisão de artigos publicados anteriormente pelo autor. Apresenta caracterização de uma espada de Damasco genuína. Comenta sobre outras teorias da formação das bandas de cementita e a dele próprio.

_____.; PENDRAY, A. The Mystery of the Damascus Sword, Muse, Volume 2, n. 2, p. 35 – 43, april, 1998.

Resumo dos passos para produção do wootz.

_____. Damascus Steel, part I: Indian wootz steel. Metallography, Volume 20, n. 2, p. 145-151, may, 1987.

Discorre sobre o método de produção do wootz, se obtido por descarburização de um ferro fundido ou obtido diretamente com a composição de 1,6%C.

_____.; JONES, L. L. Damascus Steel, Part II: Origin of the Damask Pattern. Metallography, Volume 20, n. 2, p. 153-180, may, 1987.

Neste artigo, o autor comenta sobre o papel fundamental das impurezas na formação das bandas de cementita que formam o padrão damasceno das lâminas.

_____.; BAKER, H. H.; PETERSON, D. T.; CLARK, H. F.; YATER W. M. Damascus Steel, Part III: The Wadsworth-Sherby mechanism. *Materials Characterization*, Volume 24, p. 205-227, 1990.

O autor faz comentários sobre o método desenvolvido pela equipe de Sherby para reproduzir o padrão damasceno. Verhoeven afirma que de fato o método de Sherby produz bandas de cementita que, superficialmente se parecem com o padrão genuíno. Entretanto, do ponto microestrutural, são diferentes. Portanto, conclui o autor, não deve ter sido esse método o utilizado pelos ferreiros medievais.

_____.; PETERSON, D. T. What is damascus steel?. *Materials Characterization*, Volume 24, n. 4, p. 335-341, December, 1992.

O artigo faz referência a uma crítica recebida pelo autor vinda da equipe de Sherby. Uma definição do que Verhoeven entende por aço de Damasco é explicitada. Esta definição está relacionada à morfologia das partículas de carboneto das bandas, assim como o espaçamento destas. O autor fundamenta sua proposta em estudos realizados em uma série de exemplares genuínos.

_____.; PENDRAY, A. H.; BERGE, P. M. Studies of Damscus steel blades: Part I- Destruction and reformation of the patterns. *Materials Characterization*, Volume 30, n. 3, p. 175– 186, april, 1993.

Experimentos de austenitização seguida seguida de reprecipitação de cementita em regiões de segregação de elementos de liga constituem forte evidência, segundo o autor, de que as bandas são formadas segundo mecanismo descrito por ele.

_____.; PENDRAY, A. H.; BERGE, P. M. Studies of Damascus steel blades: Part II- Destruction and reformation of the patterns. *Materials Characterization*, Volume 30, n. 3, p. 187 – 200, april, 1993.

Experimentos de austenitização seguida seguida de reprecipitação de cementita em regiões de segregação de elementos de liga constituem forte evidência, segundo o autor, de que as bandas são formadas segundo mecanismo descrito por ele.

_____.; PENDRAY, A. H.; GIBSON, E. D. Wootz Damascus steel blades. *Materials Characterization*, Volume 37, n. 1, p. 9 – 22, july, 1996.

Explicação do possível mecanismo de formação das bandas de cementita, desde o lingote até os ciclos de tratamentos térmicos. Evidências experimentais.

História e sociedade islâmica e aspectos militares.

BURTON, R. F. *The Book of The Sword*. 1 ed, New York: Dover publications, 1987, 297 p..

O livro começa com origem das armas. Idade do bronze, do ferro, machados e finalmente espadas. Definição do que é uma espada. Classificação e tipos. Espadas, sua evolução em diferentes épocas e sociedades.

NICOLLE, D. *The Armies of Islam 7th – 11th Centuries*. 22 ed, Great Britain: Osprey publishing, 2007, 40 p., Men-at-arms 125.

Embora relativamente conciso, é bastante específico. Comenta sobre a evolução das técnicas e tecnologia militar no mundo islâmico entre os séculos VII e XI relacionado-a, frequentemente, com as mudanças políticas.

_____. *Arms and Armour of the crusading era 1050-1350: Islam, Eastern and Asia*. London: Greenhill books, 1999, 576 p.

Este livro trata basicamente de armamentos medievais utilizados por bizantinos, muçulmanos, chineses, indianos e outros povos asiáticos do período.

FARROKH, K. *Shadows in the desert: Ancient Persia at war*. Great Britain: Osprey publishing, 2007, 320 p.

Discorre com profundidade sobre a história militar e política persa, desde os aquemênidas até a invasão árabe do século VII d.C.

HUNTINGTON, S. P. *O choque de civilizações e a recomposição da ordem mundial*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2010, 639 p.

A nova ordem mundial pós guerra fria. O livro revela o ponto de vista do autor sobre as causas mais profundas dos conflitos humanos que nascem entre indivíduos e se expressam em conflitos de grupos até o nível político e civilizacional. As causas dos conflitos mundiais estariam mudando de ideológico – em tempos de guerra fria – a civilizacional ou cultural. Estes conflitos seriam causados por diferenças de visão de mundo, ou seja, diferenças culturais. Faz uma interessante revisão e análise do que é uma civilização.

LYONS, J. *A casa da sabedoria: Como a valorização do conhecimento pelos árabes transformou a civilização ocidental*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 2011, 294 p.

O assunto do livro é a casa da sabedoria e a época de ouro do Islã medieval.

LINDSAY, J. E. *Daily life in the medieval islamic world*. Indianapolis: Hackett Publishing Company, 2005, 299 p.

Aborda vários aspectos do mundo islâmico medieval, desde a questão das guerras e seu impacto na política e na vida das pessoas até aspectos culturais.