

# 5

## CAPÍTULO

### CONCLUSÕES

A comparação dos dados obtidos através da caracterização experimental do fio comercial de NiTi investigado com os dados e as informações da literatura foram de fundamental importância para o sucesso no desenvolvimento do *billet* de NiTi por metalurgia do pó convencional.

O comportamento mecânico do fio comercial, expresso pelas curvas de tensão vs. deformação (figura 4.1), comprovou a propriedade de superelasticidade e demonstrou que o material encontrava-se preferencialmente no estado austenítico na temperatura ambiente de 25°C. Já as micrografias obtidas (figura 4.2, 4.3 e 4.5) apresentaram uma estrutura com aspecto de agulhas, o que é característico de uma estrutura martensítica. As análises de DSC (figura 4.6) comprovaram a propriedade de memória de forma e demonstraram que o fio, na temperatura ambiente de 25°C, encontrava-se no final da transformação da martensita para a austenita. A análise conjunta destes resultados (ensaio de tração, micrografias e DSC) demonstrou que o fio encontra-se preferencialmente na fase austenítica e que a deformação mecânica durante a preparação das amostras provavelmente induziu a transformação da microestrutura do fio para uma estrutura martensítica (figura 4.2, 4.3 e 4.5).

A análise semi-quantitativa dos dados fornecidos pela técnica de EDS do fio de NiTi (figura 4.4) fornece a informação de que a liga pode ser considerada equiatômica,

confirmando a afirmação do fornecedor (anexo I).

Houve a constatação de uma diferença significativa na temperatura final de transformação austenítica,  $A_f$ , que foi informada pelo fabricante como estando no intervalo de 5 a 18°C (anexo I) enquanto as análises de DSC (figura 4.6) demonstraram valor de aproximadamente 35°C.

A caracterização da liga desenvolvida neste trabalho, através da análise conjunta dos resultados das análises de difração de raios-X (composição de fases) (figura 4.13), microestrutura (figuras 4.12, 4.14 e 4.17), EDS (composição química) (figura 4.15), ensaios mecânicos (figura 4.16) e DSC (transformações cristalográficas) (figura 4.18), leva a conclusão de que a metalurgia do pó convencional mostrou-se viável para a produção da liga de NiTi aproximadamente equiatômica. As análises realizadas também indicaram que propriedades de memória de forma e superelasticidade foram alcançadas para os *billets* produzidos. Também é possível afirmar que a liga obtida encontra-se na transição da fase martensítica com a austenítica na temperatura ambiente de 25°C e que as micrografias (figuras 4.12, 4.14 e 4.17) e a difração de raios-X do *billet* sinterizado (figura 4.13) podem ter apresentado uma estrutura martensítica induzida pelo procedimento adotado para a preparação da amostras.

A porosidade média encontrada no *billet* sinterizado foi de 15,7% e é menor do que os 18,8% que Greiner et. al. reportam em NiTi obtido através de processo de compressão isostática à quente (figura 2.10). Isto significa que, com um método de obtenção de liga mais simples proposto neste trabalho, é possível obter resultados razoáveis em termos de porosidade.

A partir dos resultados obtidos com a da liga de NiTi através de metalurgia do pó e da literatura foi possível propor uma rota teórica de fabricação dos fios. O processamento é iniciado a partir da extrusão à quente dos *billets* compactados utilizando apenas uma redução  $_A = 2,3$ . O aquecimento da matriz à 500°C é realizado através da resistência envolta no inserto desta (figura 4.20). Já os *billets* devem ser aquecidos em forno auxiliar em temperaturas de até 900°C, sempre lembrando que o NiTi é muito reativo com o oxigênio. A trefilação à frio foi definida como sendo realizada em 46 passes de reduções iguais de  $_A = 0,15$  (tabela 4.2) intercalados por operações de recozimento à temperatura de 500°C por 1h [Schüller, 2004].