1. Introdução

O presente trabalho enquadra-se na área de otimização e simulação de sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Nestes sistemas, a otimização dos trocadores de calor pode produzir um impacto significativo no seu desempenho global. Dois temas, ainda pouco abordados pela literatura especializada, com aplicação direta na indústria, foram desenvolvidos no presente trabalho: (1) Uma nova proposta, baseada em algoritmos genéticos (AG), para a otimização simultânea dos circuitos de refrigerante do evaporador e do condensador, em trocadores de calor de tipo tubo-aletado (TCTA's), de um sistema de refrigeração; e (2) Mostrar a influência que dos parâmetros geométricos que definem o circuito do refrigerante sobre o desempenho de um condensador de microcanais (CDMC), para o qual, desenvolveu-se um modelo de simulação utilizando análise local.

O desenvolvimento de modelos de simulação de sistemas de refrigeração e condicionamento de ar tem crescido rapidamente nos últimos anos. Este aumento se deve à procura por sistemas otimizados de bom desempenho, compactos e de baixo custo. Ainda mais se for levada em conta a atual tendência de se buscar baixos custos energéticos e menores impactos ambientais.

Modelos de simulação, utilizados como ferramentas de apoio na otimização de projetos, permitem predizer o desempenho do sistema a partir de condições de operação e de parâmetros geométricos prescritos. A realização de uma série de simulações com parâmetros geométricos modificados permite reduzir significativamente o número de protótipos a serem desenvolvidos e o número de testes de desempenho a serem realizados, fatores estes que incrementam o tempo de desenvolvimento e custo dos projetos.

A otimização de sistemas de refrigeração pode ser obtida de diversas maneiras. Uma forma simples e econômica, porém de grande impacto no desempenho do sistema, especialmente em sistemas de refrigeração de média

temperatura, é a procura por circuitos do refrigerante com configurações ótimas, no evaporador e no condensador, objeto de estudo do presente trabalho.

Entretanto, em sistemas de refrigeração e de condicionamento de ar com TCTA's (trocador de calor mais habitual nos sistemas atualmente existentes), a procura por estas configurações ótimas não é trivial. Tal é devido ao grande número de combinações possíveis para os circuitos do refrigerante (com ordem de 10^{60} possibilidades, por exemplo) e à sua representação complexa. Estes fatores têm gerado grandes impedimentos para os métodos de otimização existentes, inclusive para as metodologias de otimização baseadas em técnicas de inteligência artificial. As propostas de Kaufman e Michalski (2004) e de Wu et al. (2008), baseadas em AG, ainda mostram a falta de uma abordagem adequada para obter processos de busca eficientes.

Motivo pelo qual, no presente trabalho, propõe-se uma nova metodologia para tratar a otimização dos circuitos do refrigerante, nos TCTA's. Nesta nova abordagem, filtra-se o universo de busca, numa primeira etapa, por meio do uso das restrições aplicáveis às variáveis a serem otimizadas, para logo passar a utilizar um método por AG para a busca da solução. A esta nova metodologia denominou-se GAFIS (*Genetic algorithms applied in filtered spaces*).

Neste método, GAFIS, é utilizada uma nova maneira de representar os circuitos do refrigerante, que permite o uso de um AG sem necessidade de recorrer a métodos corretivos, e se passa a utilizar um domínio de busca reduzido, fatores que tornam o método eficiente. Isto permite, também, que seja possível a otimização simultânea dos circuitos do evaporador e condensador, tendo como função objetivo, por exemplo, o coeficiente de performance (COP) do sistema de refrigeração.

Por outro lado, em sistemas de refrigeração e de condicionamento de ar, há uma tendência tecnológica de passar a se utilizar trocadores de calor de microcanais, no lugar dos clássicos TCTA's, o que vem ocorrendo com mais intensidade nos últimos anos. O projeto do circuito neste tipo de trocadores de calor, de microcanais, não seria maior problema, pois o número de possíveis combinações é pequeno.

Portanto, modelos adequados para a simulação de trocadores de calor de microcanais recentemente vêm sendo desenvolvidos, os quais ainda têm sido pouco aproveitados. Isto devido a que, só recentemente, nas últimas décadas, tem-se conseguido obter um melhor entendimento dos fenômenos de transferência de calor em trocadores de calor de microcanais.

Por estes motivos, no presente trabalho, esforços também foram direcionados ao desenvolvimento de um modelo de simulação para CDMC's, utilizando uma análise local, que permita definir o circuito para o percurso do refrigerante, o qual foi validado com dados experimentais disponíveis para R134a, Fluid-H e 1234yf. Este modelo de simulação foi utilizado para a busca do circuito ótimo, considerando maximizar seu desempenho, de maneira isolada, para este tipo de trocador de calor.

1.1. Motivação

No que diz respeito a sistemas de refrigeração, dois fatores que definitivamente têm se mostrado relevantes são a eficiência energética e seu impacto sobre o meio ambiente. Nesta busca por melhor desempenho energético e ambiental e de se tentar aproveitar as tecnologias emergentes, o uso de modelos de simulação e otimização como ferramentas de apoio tem sido de grande ajuda.

Diversos aspectos, que são comentados a seguir, mostraram-se focos de motivação para o desenvolvimento do presente trabalho.

1.1.1. Redução do impacto ambiental

A problemática do clima tem impulsionado a procura por sistemas eficientes e de menor impacto ambiental. Isto porque a maioria das principais tecnologias utilizadas na atualidade, necessárias à produção de energia e de frio, apresentam um impacto negativo sobre o meio ambiente. O problema do aquecimento global aponta para um futuro não muito promissor para o planeta, caso não se tomem as medidas necessárias.

Com o intuito de se mitigar o problema, acordos internacionais para a diminuição das emissões dos gases de efeito estufa (que originam a retenção de

calor no planeta), tais como o Protocolo de Kyoto (ONU, 1997) e a Diretiva 2004/101/CE (UE, 2004), vêm sendo assinados. Ações têm sido tomadas de maneira similar, no passado recente, com a limitação de uso dos clorofluorcarbonetos e os hidroclorofluorcarbonetos (CFC's e HCFC's) como refrigerantes, considerados substâncias nocivas para a camada de ozônio (Molina e Rowland, 1974), o que resultou no Protocolo de Montreal (UNEP, 1987).

1.1.2. Otimização energética em sistemas de refrigeração

Por outro lado, cada vez mais países preocupam-se com os altos custos da energia elétrica e com o impacto de sua produção sobre o meio ambiente. O consumo de energia decorrente da refrigeração e do condicionamento de ar tem apontado para a importância de se incrementar os parâmetros de eficiência destas unidades ou de se procurar soluções alternativas.

Neste sentido, pode-se, por exemplo: aumentar a eficiência dos sistemas existentes, diminuir a carga de refrigerante (re-estruturação de projetos), aproveitar novas tecnologias (trocadores de microcanais, compressores centrífugos de alta velocidade, ou compressores tipo “scroll”, etc.), ou adotar novos fluidos refrigerantes.

1.1.3. Falta de um método eficiente de otimização para o circuito do refrigerante em trocadores de calor de tipo tubo-aletado

Atualmente, não existe uma metodologia adequada para a otimização dos circuitos de refrigerante em TCTA's. As técnicas atuais baseadas em AG (Kaufman e Michalski, 2000; Wu et al. 2008) mostraram resultados positivos, porém ainda deficientes para tratar o problema de maneira adequada.

1.1.4. Tendência ao uso de trocadores de calor de microcanais

O uso de trocadores de calor de microcanais vem ocorrendo com mais força nos últimos tempos. Motivo pelo qual, muita pesquisa tem-se direcionado à adequada compreensão dos fenômenos de transferência de calor e de queda de pressão no escoamento ao longo de microcanais. Este tipo de trocador de calor vem sendo utilizado em diversas áreas, como em sistemas de condicionamento de ar automotivos, pelo que modelos adequados para sua simulação levará a seu uso num maior número de projetos.

1.1.5. Falta de um método de busca do circuito ótimo em um trocador de calor de microcanais

Na literatura, trabalhos mostram a importância de se definir adequadamente o circuito do refrigerante num CDMC e o impacto que tem no seu desempenho (devido à forte dependência entre a capacidade térmica e a queda de pressão com o fluxo mássico neste tipo de dispositivo). Porém, até o momento (2009), não se encontraram registros de propostas formais para procurar o circuito ótimo em trocadores de calor de microcanais.

1.1.6. Potencial de uso com a chegada de novos refrigerantes

Novos fluidos refrigerantes, como o 1234yf de GWP (Global Warming Potencial) muito baixo (Spatz, 2007), considerado possível substituto do R134a na indústria de condicionamento de ar automotivo, vêm aparecendo no cenário mundial. Ferramentas de simulação e otimização em sistemas de refrigeração, certamente, serão utilizadas para otimizar o uso destes novos fluidos em diversos projetos.

1.2. Revisão Bibliográfica

1.2.1. Simulação de sistemas de refrigeração

No início da década dos 80, pesquisadores como Dhar e Soedel (1979) e Chi e Didion (1982), começaram a desenvolver modelos para simulação de sistemas de refrigeração e de condicionamento de ar, como ferramentas de apoio para seu projeto e otimização. Estudos sobre estes temas se seguiram (MacArthur, 1984; Murphy e Goldschmidt, 1984, 1985 e 1986; Parise, 1986; Rajendran e Pate, 1986; Janssen et al. 1988; Melo e Pereira, 1988; Parise e Cartwright, 1988; MacArthur e Grald, 1989). Muitos destes estudos foram aplicados para prever o desempenho de sistemas de refrigeração, no processo de substituição dos CFCs (Sami e Duong, 1991; Jung e Radermacher, 1991; Domanski e McLinden, 1992; Herbas et al. 1993; Sami e Dahmani, 1996; De Monte et al. 1999; Zhao et al. 2003).

Recentemente, métodos de inteligência artificial (Diaz et al. 1999; Ding et al. 2000; Pacheco-Vega et al. 2001; Ding et al. 2002) e da Teoria de Grafos (Liu et al. 2004) têm sido introduzidos nas aplicações de simulação de sistemas de refrigeração e condicionamento de ar, o que tem enriquecido o desenvolvimento de métodos de simulação. No capítulo 3, ver-se-á em maior detalhe a evolução dos métodos de simulação para sistemas de refrigeração por compressão de vapor.

1.2.2. Simulação de trocadores de calor de tipo tubo-aletado

Estudos e modelos computacionais referentes à TCTA's, que constituem o tipo predominante de trocador de calor utilizado em sistemas de refrigeração comum, têm sido foco de desenvolvimento desde os anos 80 (Jiang, 2003). Evoluindo de modelos que consideravam enfoque multi-zonas (como Kempiak e Crawford, 1992, por exemplo), para enfoques do tipo quase-local, que consideram os tubos como elemento básico de análise (Bensafi et al. 1997; por exemplo).

Desde então diversos modelos generalizados têm sido desenvolvidos, os quais incluem distribuições não uniformes no load do ar e do refrigerante, considerações para a definição do circuito para o refrigerante, suporte para diferentes tipos de aletamento, considerações de transição entre regimes bifásicos de escoamento, entre outras características (Domanski, 2001; Tuztas e Nilufer, 2002; Jiang, 2003; Aprea e Maiorino, 2007; entre outros).

1.2.3. Otimização de trocadores de calor tipo tubo-aletado

Uma das opções para se melhorar o desempenho de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor é procurar pela maior eficiência de seus componentes. No caso do projeto do evaporador ou condensador, certamente o dimensionamento adequado determina, em grande medida, o seu desempenho, como visto por Yun e Lee (2000), quando estudaram sistematicamente a influência de certos parâmetros dimensionais. Entretanto, o projeto destes trocadores vê-se limitado por restrições provenientes de se poder utilizar um número finito de componentes para conformá-los ou porque suas dimensões não podem exceder de certas medidas, de modo a permitir sua instalação, entre outras.

Por este motivo, dentre as possíveis opções de otimização (Fowler et al. 1997; Matos et al. 2004; entre outros), a procura de um circuito para o refrigerante (através da junção apropriada de seus tubos) que maximize o desempenho global do sistema mostra-se vantajosa, pois, além de ser uma maneira prática e econômica, pode prover um aumento significativo na capacidade do trocador de calor e, conseqüentemente, uma melhora no desempenho global do sistema de refrigeração, sem necessidade de mudar drasticamente o processo de construção dos trocadores de calor. Tal fato foi constatado experimentalmente por certos estudos em evaporadores, por Chwalowski et al. (1989) e Liang et al. (2001).

A otimização de maneira experimental destes circuitos se vê limitada pelo número possível de testes em laboratório, devido às limitações naturais de tempo e custo, motivo pelo qual, métodos computacionais são necessários (Kaufman e Michalski, 2004).

Granryd e Palm (2003) mencionaram a possibilidade de definir um número ótimo de ramais nos circuitos, como ajuda ao projeto dos circuitos. Propuseram correlações para encontrar este valor de ramais ótimo, baseados na minimização da queda de pressão para uma determinada condição de temperaturas de entrada e de capacidade térmica, em evaporadores. Utilizaram uma série de simplificações e idealizações.

Atualmente, a otimização dos circuitos para o refrigerante, em sistemas de refrigeração que utilizam TCTA's, com ajuda de modelos computacionais, vem sendo realizada componente a componente, isto é, de maneira seqüencial. Tal procedimento ocorre devido à complexidade de se otimizar cada um deles. Maximizam-se as taxas de transferência de calor separadamente, nos trocadores de calor, para então determinar a influência destas mudanças sobre o COP do sistema (Domanski et al. 2005). Tal metodologia é aqui denominada de otimização seqüencial.

O projeto otimizado do circuito para o refrigerante num TCTA é particularmente difícil, mais ainda se a distribuição do ar não for uniforme sobre a superfície do trocador. Igualmente, a experiência ganha para certo refrigerante, em particular, não pode ser automaticamente estendida para outros refrigerantes de propriedades termo-físicas diferentes (Groll, 2008).

Devido à natureza do problema (domínio de representação não contínuo, grande espaço de busca, desconhecimento da dinâmica do modelo, natureza altamente multimodal, múltiplas variáveis e múltiplas restrições), certamente uma abordagem baseada em AG seria a mais adequada.

O método dos AG é considerado uma técnica “inteligente”, devido ao fato de imitar as capacidades de inferência e raciocínio humano, mostrando-se mais eficiente em problemas complexos quando comparados aos métodos clássicos de otimização (por exemplo, os métodos de gradiente, ou de programação matemática, entre outros). Esta técnica de programação baseia-se na teoria da evolução natural e é uma técnica bem conhecida (Goldberg, 1989; Yang, 1997; Rasheed, 1998; entre outros) desde a década de 70 (Holland, 1975). Esta metodologia, aqui adotada como base, será abordada em maior detalhe no capítulo 2.

Seguindo esta metodologia, Kaufman e Michalski (2000) desenvolveram um algoritmo híbrido, o ISHED1 (*Intelligent System for Heat Exchanger Design*), para resolver o problema de otimização do circuito em um TCTA tendo como objetivo maximizar a transferência de calor destes dispositivos. Para tal, foi utilizado, como simulador externo para o processo físico, o programa EVAP-COND (Domanski, 2001), de domínio público.

O método ISHED1 (Kaufman e Michalski, 2000) certamente conseguiu soluções tecnicamente superiores às que poderia obter um especialista humano (Cervone et al. 2000), e tem sido utilizado com relativo êxito na otimização de evaporadores (Kaufman e Michalski, 2004) e condensadores (Domanski e Yashar, 2007a) do tipo tubo-aletado, para os refrigerantes R600a, R134a, R290, R22, R410A e R32, reportando ganhos na ordem de até 2,0% no COP dos sistemas de refrigeração.

Entretanto, a falta de operadores genéticos adequados faz com que a aplicação do método dos AG não seja do todo eficiente para a resolução do problema do circuito ótimo para o refrigerante. Por este motivo, para suprir parte desta deficiência, empregaram a técnica denominada *Learnable Evolution Model* (LEM), a qual consegue acelerar a velocidade do processo de evolução (Michalski, 1998; Cervone et al. 2000) ao levar em consideração o histórico da

população (Saleem e Reynolds, 2000; Vervoce et al. 2003). Este tipo de artifício, porém, certamente não é o mais adequado, visto que somente consegue acelerar a convergência do método, mas não garante qualidade das soluções.

Outra metodologia semelhante, apresentada por Wu et al. (2008), propõe o uso de operadores genéticos específicos para a otimização dos circuitos do refrigerante e métodos de correção para as soluções que não sejam viáveis. Empregaram a mesma representação de vetores-linha, já utilizada por outros pesquisadores (Kaufman e Michalski, 2004; Domanski e Yashar, 2007b), para representar os circuitos, onde uma cadeia de números representa a seqüência e os tubos que conformam cada ramal de um circuito do refrigerante nos trocadores de calor. Wu et al. (2008) também acusaram a falta de operadores genéticos adequados, à época da publicação daquele trabalho, para tratar deste tipo de problema.

O uso de um evaporador com circuito otimizado certamente imprime uma melhora no desempenho do sistema de refrigeração (Domanski et al. 2005). Porém, uma revisão da viabilidade das soluções otimizadas se faz necessária, pois otimizações isoladas dos componentes podem levar, por exemplo, a casos com queda significativa na temperatura de saturação do refrigerante, a qual pode se tornar relevante, e prejudicial, para a performance global do sistema (Granryd e Palm, 2003). Isto poderia ser evitado se a otimização do trocador de calor fosse realizada por meio de um modelo de simulação completo para o sistema de refrigeração, visando o aumento do desempenho global do sistema.

Até o momento, 2009, não se tem registro na literatura sobre otimização simultânea dos dois circuitos para o refrigerante, presentes no sistema de refrigeração, utilizando um modelo de simulação completo para o sistema. Isto, porque otimizar o circuito de um único TCTA, de maneira isolada, já requer um trabalho considerável, com o uso das metodologias de otimização existentes à presente data.

Acredita-se que, ao realizar a otimização simultânea dos dois circuitos para o refrigerante, presentes no sistema de refrigeração (isto é, o evaporador e o condensador), seria possível explorar os efeitos combinados que as otimizações em cada componente possam ter sobre o desempenho do sistema, os quais eventualmente não podem ser detectados pelo método de otimização seqüencial. A otimização simultânea do evaporador e condensador precisará de

um modelo de simulação completo do sistema que avalie a função objetivo para cada mudança proposta em qualquer dos circuitos dos trocadores de calor.

A extensão das atuais metodologias de otimização por AG (Kaufman e Michalski, 2000 e 2004; Domanski e Yashar, 2007a; Wu et al. 2008) ao problema de otimização simultânea levaria a problemas de tempo para convergência, o qual inviabiliza a utilização dos métodos existentes. As limitações seriam notórias, pois o universo de possíveis soluções num processo de otimização simultânea pode facilmente ser algo em torno de 10^{80} vezes maior que o número de possíveis soluções num processo de otimização seqüencial (por exemplo, seja dois trocadores de calor, cada um com 10^{80} possibilidades de circuitos de refrigerante; logo a razão entre os tamanhos dos espaços de busca para a otimização simultânea e seqüencial, esta última realizada em duas etapas, será de $10^{80} \times 10^{80} / 2 \times 10^{80} = 5 \times 10^{79}$). Em uma primeira avaliação, a eficiência do método de otimização deverá ser melhorada, se pretendido realizar uma otimização simultânea dos dois circuitos para o refrigerante.

No presente trabalho propõe-se o uso de um método de AG em um espaço de busca reduzido, conseguido ao utilizar as restrições do problema como uma espécie de filtro. Para isto desenvolveu-se o GAFIS e um AG específico para seu uso com o GAFIS, ambos em linguagem de programação FORTRAN. Esta nova proposta mostrou-se mais eficiente que as metodologias existentes de otimização para circuitos de refrigerante em TCTA's, conseguindo encontrar soluções satisfatórias de maneira mais rápida, quando comparadas às outras metodologias de otimização tradicionais, o que viabiliza o problema de otimização simultânea. Esta nova metodologia foi utilizada, no presente trabalho, para realizar a otimização simultânea dos dois trocadores de calor em sistemas reais comerciais, de refrigeração e condicionamento de ar, com o que se conseguiu aumentos no COP para o sistema da ordem de até 15%. Permitiu, também, encontrar sistemas que mantenham a mesma capacidade de resfriamento e similar COP, porém utilizando menor número de tubos em seus trocadores de calor, o qual gerou uma redução na ordem de US\$15/unidade de refrigeração produzida. Um estudo com respeito à influência do uso de tubos de menor diâmetro na conformação de trocadores otimizados também foi realizado, assim como um caso de otimização com trocadores de calor com distribuição de ar não uniforme.

1.2.4. Trocadores de calor de microcanais

Trocadores de calor de microcanais têm encontrado crescente aplicação por suas características de alto desempenho e alta compactidade. Por outro lado, observa-se que modelos adequados para a simulação deste tipo de trocadores de calor são pouco difundidos e explorados, mesmo que, na prática, este tipo de trocador de calor venha sendo utilizado com frequência em diversas áreas (células de combustível estacionárias, resfriamento eletrônico, condensadores de sistemas de condicionamento de ar automotivo, entre outros). Tal é devido ao fato de que somente nas duas últimas décadas foi possível obter uma adequada compreensão dos mecanismos de transferência de calor em microcanais. Esforços foram direcionados ao estudo sobre microcanais, devido à tendência de miniaturização de componentes na indústria.

Uma revisão bibliográfica e tópicos referentes ao tema de microcanais serão apresentados no capítulo 6, por se considerar mais adequado à compreensão do texto.

No presente trabalho desenvolveu-se um modelo de simulação de CDMC's (em FORTRAN) utilizando método de análise local (modelo que permite definir o circuito para o refrigerante em função do número de passes e número de tubos por passe), sendo validado com dados experimentais cedidos pela Honeywell Inc. (EUA). Mostram-se os resultados encontrados no processo de busca exaustiva pelo circuito ótimo, visando melhorar o desempenho do CDMC.

1.3. Objetivos e Contribuições

1.3.1. Nova metodologia de otimização

A preocupação com a eficiência (rapidez, precisão, soluções satisfatórias em períodos razoáveis de tempo) do método de otimização levou, no presente trabalho, ao desenvolvimento de um novo método híbrido de otimização, baseado numa filtragem do universo de soluções e do uso de um método de AG, ao qual se denominou GAFIS. Esta metodologia propõe o uso de uma nova representação para os circuitos do refrigerante e espaço de busca reduzido em combinação com um método de AG. Ela mostrou-se eficiente, tornando possível a otimização simultânea dos dois TCTA's.

1.3.2. Otimização simultânea dos dois trocadores de calor de tipo tubo-aletado

Não foram encontrados, na literatura disponível, estudos que realizassem uma otimização “automática” e simultânea dos dois circuitos (para o evaporador e o condensador), fazendo uso de um modelo de simulação completo para o sistema de refrigeração.

Acredita-se que a otimização simultânea consegue, de maneira natural, estabelecer o ponto ótimo de operação do sistema para condições de operação prescritas, algo provavelmente não atingido pela otimização seqüencial. A relação entre o projeto do circuito e o desempenho do sistema é complexa e altamente não linear. Por este motivo, a superposição de soluções individuais provavelmente não seria a solução mais adequada.

1.3.3. Simulação e otimização de Condesadores de Microcanais

Desenvolveu-se um modelo de simulação de CDMC's, que leva em consideração a física local dos processos de transferência de calor e queda de pressão, o qual foi validado com dados experimentais disponíveis. Numa pesquisa numérica do circuito ótimo, com ajuda do modelo de simulação, encontrou-se certa relação entre os parâmetros que definem o circuito do refrigerante e o desempenho do CDMC. Isto serviu de base para o desenvolvimento de uma nova metodologia de otimização para o circuito do refrigerante neste tipo de trocadores de calor.

1.4. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é basicamente composto pelo desenvolvimento de dois temas de pesquisa: (1) A nova abordagem para a otimização de sistemas de refrigeração mediante os circuitos do refrigerante em trocadores de calor (condensador e evaporador) do tipo tubo-aletado, e (2) A simulação e otimização de CDMC's.

Os capítulos 2, 3, 4 e 5 correspondem ao tema principal do presente estudo, sobre a otimização de sistemas de refrigeração com condensador e evaporador a ar de tubos aletados, mediante alteração dos circuitos do refrigerante.

No capítulo 2 é realizada uma introdução ao tema de otimização, apresentando-se os conceitos gerais desta área, assim como uma classificação dos métodos existentes. Um tratamento especial é dado ao método de AG, por ser o método base considerado para o desenvolvimento da metodologia de otimização, proposta na presente pesquisa.

No capítulo 3, faz-se uma rápida revisão do que são os sistemas de refrigeração por compressão de vapor, seus componentes e as metodologias existentes para sua simulação. Descreve-se, então, de maneira detalhada, o pacote de simulação de sistemas de refrigeração, Genesym (utilizado para avaliar a função objetivo dentro do pacote de otimização GAFIS). São descritos detalhes referente à base teórica que fundamenta o simulador, às características dos sistemas que podem ser simulados, aos dados de entrada necessários para um processo de simulação, e aos resultados produzidos pelo simulador.

No capítulo 4, descreve-se a metodologia de otimização proposta (GAFIS), para a procura de circuitos ótimos para o refrigerante nos TCTA's. Mostra-se a representação dos circuitos, o filtro de restrições utilizado, a função objetivo, os operadores genéticos empregados e os parâmetros utilizados durante o processo de otimização. Em seguida, mostram-se resultados da validação numérica do método proposto e testes necessários para o ajuste dos parâmetros do método de otimização.

No capítulo 5, mostram-se os resultados para quatro estudos de casos de otimização utilizando o GAFIS, sobre equipamentos de condicionamento de ar reais de alto desempenho.

O capítulo 6 aborda o segundo tema de estudo realizado. Mostra-se a revisão bibliográfica referente à simulação e otimização de CDMC's. Descreve-se, em detalhe, a modelagem utilizada no desenvolvimento do pacote de simulação, assim como o processo de validação utilizando dados experimentais disponíveis. Seguidamente, apresentam-se os resultados obtidos na pesquisa numérica durante o processo de busca do circuito ótimo num CDMC, assim como as conclusões.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas do presente estudo, e no capítulo 8 as sugestões para trabalhos futuros.

Na parte final do texto, incluíram-se quatro apêndices. O apêndice (A) mostra os conceitos sobre uma análise exérgica, o apêndice (B) que mostra os principais modelos, e correlações, nos quais esta baseado o Genesym para a simulação de sistemas de refrigeração por compressão de vapor, o apêndice (C) mostra um resumo das características utilizadas nos testes de otimização realizados com o GAFIS nos estudos de casos, e o apêndice (D) mostra uma breve introdução com respeito à padrões de escoamento em CDMC's e a pesquisa bibliográfica referente à transferência de calor e queda de pressão para processos de condensação em microcanais, a qual foi a base para a seleção dos modelos teóricos utilizados no pacote de simulação para este dispositivo.