

**UNIVERSIDADE DE RIO VERDE – UNIRV  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DETALHAMENTO DA LINGUAGEM FORTRAN NA SIMULAÇÃO DE  
EVAPORADORES**

**ERIVAN GONÇALVES MELO FILHO**

**Orientador: Prof. Me PAULO HENRIQUE NEVES PIMENTA**

**Monografia apresentada a faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV – Universidade de Rio Verde – Como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.**

**RIO VERDE – GO**

**2015**

**UNIVERSIDADE DE RIO VERDE – UNIRV  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DETALHAMENTO DA LINGUAGEM FORTRAN NA SIMULAÇÃO DE  
EVAPORADORES**

**ERIVAN GONÇALVES MELO FILHO**

**Orientador: Prof. Me PAULO HENRIQUE NEVES PIMENTA**

**Monografia apresentada a faculdade de  
Engenharia Mecânica da UniRV –  
Universidade de Rio Verde – Como parte das  
exigências para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Mecânica.**

**RIO VERDE – GO**

**2015**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta monografia aos meus pais, Erivan Gonçalves Melo e Marlene Queiroz Barbosa Marquez, a minha irmã, Vanessa Barbosa Melo, que sempre me incentivaram, me apoiaram e me deram todo o suporte para que eu chegasse aqui, também a Naiara Nogueira de Souza por sempre estar ao meu lado e a todos meus familiares que sempre me apoiaram e me incentivaram no decorrer dessa longa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus primeiramente, sem ele eu não teria forças para concluir essa longa jornada.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde, que tiveram a paciência e sabedoria de ensinar a mim aos meus colegas o necessário para conseguirmos esse título.

Ao meu orientador Paulo Henrique Neves Pimenta pela paciência, dedicação e horas que estive atormentando ele no whats app referente ao trabalho, muito obrigado.

Aos meus pais, Erivan Gonçalves Melo e Marlene Queiroz Barbosa Marquez, a minha irmã, Vanessa Barbosa Melo, que me apoiaram em todas as horas de dificuldades, pelo amor, incentivo que sempre me deram.

À Naiara Nogueira de Souza que por muitas vezes pensei em desistir foi a primeira que me convenceu a seguir em frente, e muito do homem que sou hoje é por causa dela, muito obrigado.

À minha família e amigos, por sua capacidade de acreditar e investir em mim.

## **RESUMO**

**FILHO, E. G. M. DETALHAMENTO DA LINGUAGEM FORTRAN NA SIMULAÇÃO DE EVAPORADORES.** 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – UniRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015.

Atualmente a engenharia conta com uma grande variedade de softwares, que facilitam no desenvolvimento de novos projetos e produtos. Esses softwares englobam toda uma série de sistemas que auxiliam o profissional desde a análise da física básica até sistemas mais complexos. Os conhecimentos tecnológicos e científicos obtidos no decorrer do curso, fornecem ao engenheiro conhecimentos de modelos matemáticos que visam explicar fenômenos que possam vir a acontecer, e possibilita a realização de simulações do que pode vir a ocorrer. Esse trabalho tem por objetivo detalhar o funcionamento de um código computacional desenvolvido por Pimenta (2015), o algoritmo está escrito em Fortran e simula o funcionamento transiente de evaporadores do tipo tubo aletados, comumente utilizados em sistemas de refrigeração. Deseja-se fazer alterações na estrutura do código e dividi-lo em pequenos módulos que contem parte do código original, de modo a facilitar o entendimento do programa por usuários futuros. Portanto o mesmo tende a complementar o trabalho desenvolvido por Pimenta (2015), e serve como uma espécie de “manual do usuário”. Com esse tipo de simulação são economizadas varias horas, pois para se obter os resultados requisitados manualmente seriam feitos muitos cálculos a mão e torna quase que inviável devido ao tempo, enquanto que com o programa em poucos segundos surge o resultado em mãos.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Fortran, Simulação, Refrigeração, Evaporador.

## **ABSTRACT**

**FILHO, E. G. M. DETAILS OF LANGUAGE IN FORTRAN EVAPORATORS SIMULATION.** 2015. Monograph (Undergraduate in Mechanical Engineering) - UniRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2015

Currently the engineering has a wide range of software with the intention of generating a simulation to facilitate the implementation of some service or experiment. This is due to the knowledge acquired during the course of engineering among the various subjects taken, provide the engineer knowledge of mathematical models that seek to explain phenomena that might happen, so being able to create simulations that can occur. This paper aims to detail the operation of a computer code developed by Pimenta (2015), the algorithm is written in Fortran and simulates the transient operating evaporators type finned tube, commonly used in cooling systems. You wish to make changes to the structure of the code and divide it into small modules containing part of the original code in order to facilitate understanding of the program for future users. Therefore it tends to complement the work of Pimenta (2015), serving as a kind of “user manual”. With this type of simulation is saved several hours, as to obtain the required results would be made manually on paper many calculations, making it almost impractical due to the time, while with the program in a few seconds have the result in hands.

## **KEYWORDS**

Fortran, Simulation, Refrigeration, Evaporator.

## **LISTA DE FIUGRAS**

Figura 1 – FLUXOGRAMA DOS MÓDULOS .....	30
---	----

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES**

- ANN – Artificial Neural Network (Rede Neural Artificial)
- ATFE – Agitated Thin Film Evaporator
- COP – Coefficient Of Performance (Coeficiente de Desempenho)
- DMC – Dynamic Matrix Control (Controle por Matrix Dinâmica)
- GAC – Granular Activated Carbono (Carvão Ativado Granular)
- HSPF – Hidrologic Simulation Program Fortran (Programa Hidrológico Simulado em Fortran)
- IBM – Internacional Business Machina
- ISE – Integral of Square Error (Integral do Erro ao Quadrado)
- ISO – Internacional Standards Organization (Organização Internacional de Padrões)
- ISU – Integral ao Quadrado da Ação de Controle de Variável Manipulada
- MED – Multiple-Effect Distillation (Destilação de Múltiplo Efeito)
- MPC – Model Predictive Control (Controle Preditivo com Modelo)
- NIST – National Institute of Standards and Technology
- P – Controlador Proporcional
- SISO – Single Input Single Output (Uma entrada e Uma saída)
- SQP – Sequential Quadratic Programme (Programa Quadrático Sequencial)
- SWAT – Soil-Water Assessment Tool (Ferramenta de Avaliação gua-Solo)
- TMDL – Total Maximum Daily Load (Total da Carga Máxima Diária)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Revisão de literatura.....	12
2.2 Linguagem Fortran.....	17
3 MÉTODO DE ANÁLISE.....	19
3.1 Area.f90 .....	19
3.2 Atrito.f90 .....	20
3.3 Constants.f90 .....	20
3.4 Dados_malha.f90 .....	21
3.5 Data_type.f90 .....	21
3.6 Declara.f90 .....	21
3.7 Declara_solver.f90 .....	21
3.8 Eficencia_aleta.f90 .....	21
3.9 Evaporador_ph.f90 .....	22
3.10 Funcoes.f90 .....	22
3.10.1 Funções para o Ar .....	22
3.10.2 Propriedades do ar .....	22
3.10.3 Funções para a parede do tubo .....	23
3.10.4 Funções para a aleta .....	24
3.10.5 Função para o fator de atrito .....	24
3.10.6 Funções para Água .....	25
3.11 Gauss_refrigerante.f90 .....	25
3.12 Jacobiano_ar.f90 .....	25
3.13 Jacobiano_refrigerante.f90 .....	25
3.14 Newton_raphson_ar.f90 .....	26
3.15 Newton_raphson_refrigerante.f90 .....	26
3.16 Prop_ar.f90 .....	26
3.17 Prop_refri.f90 .....	27

3.18 Rungekutta_aleta_circular.f90 .....	27
3.19 Solver_mvf2.f90 .....	27
3.20 Trans_calor.f90 .....	28
3.21 Transientes.f90 .....	28
3.22 Valor_funcao_ar.f90 .....	28
3.23 Valor_funcao_refrigerante.f90.....	29
4 CONCLUSÃO .....	32
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a engenharia conta com uma grande variedade de “softwares”, que facilitam no desenvolvimento de novos projetos e produtos. Esses “softwares” englobam toda uma série de sistemas que auxiliam o profissional desde a análise da física básica até sistemas mais complexos.

Apesar de simplificar o processo de desenvolvimento de projetos e produtos, a correta operação deles requer do engenheiro o conhecimento físico do problema, de modo a criar um modelo computacional a partir de um produto real. Esses modelos são representações simplificadas do processo real, porém, têm a função de compreender as variáveis relevantes e descartar aquelas que não alteram significativamente o comportamento do processo, de modo a diminuir o grau de complexidade do problema e ao mesmo tempo garantir a eficiência da simulação.

O programa em questão foi desenvolvido em linguagem Fortran, que foi a primeira linguagem criada para fins de pesquisa, e a mais utilizada no meio acadêmico. O Fortran permite a implantação de cálculos matemáticos de forma rápida, segura e é muito fácil de ser utilizado, devido haver um farto material didático e ferramental para uso, e também varias referências bibliográficas em diversas línguas, disponíveis em bibliotecas ou livrarias, mas a maior vantagem de se usar Fortran é devido existir uma quantidade imensa de programas que utilizam essa linguagem, e dezenas de compiladores tanto pagos, como gratuitos, disponíveis na internet, e se torna assim um meio inviável a criação em outra linguagem.

A simulação é uma tendência dinâmica e irreversível, de grande importância principalmente na área de refrigeração. Com o amplo crescimento do mercado, a necessidade de desenvolvimento de equipamentos de maior eficiência e menor custo se faz necessária. E a simulação torna-se primordial, pois através dela é possível orientar o processo de tomada de decisão, analisar e avaliar sistemas físicos e propor soluções para a melhoria do projeto, prever alguns resultados experimentais ou mesmo a realização de experiências que possam comprometer a integridade física do ser humano.

## 1.1 Objetivo

Esse trabalho tem por objetivo detalhar o funcionamento de um código computacional desenvolvido por Pimenta, (2015), o algoritmo está escrito em Fortran e simula o funcionamento transiente de evaporadores do tipo tubo aletados, comumente utilizados em sistemas de refrigeração. Deseja-se fazer alterações na estrutura do código e dividi-lo em pequenos módulos contendo parte do código original, de modo a facilitar o entendimento do programa por usuários futuros. Portanto o mesmo tende a complementar o trabalho desenvolvido por Pimenta (2015), que serve como uma espécie de “manual do usuário”.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste item é feito uma revisão sobre trabalhos numéricos disponíveis na literatura, avaliar a pesquisa realizada, visa identificar a importância da simulação na engenharia. Também é feita uma abordagem da linguagem Fortran e sua viabilidade de aplicação.

### **2.1 Revisão de literatura**

Rahman et al. (2013) apresenta uma otimização econômica do evaporador e área de coletor de ar de um sistema de secagem de uma bomba solar auxiliado por calor. No qual a viabilidade econômica de sistemas de aquecimento solar é normalmente feita com base nos fluxos de custos recorrentes durante a vida útil dos sistemas solar e sistemas convencionais alternativos. Portanto a identificação de variáveis ideais usa-se um programa de simulação e uma análise econômica com base no período de recuperação do sistema. A linguagem Fortran é usada para executar a simulação. O efeito da carga e das diferentes variáveis econômicas no período de retorno também é investigado. A análise econômica revela que o sistema tem quantidade suficiente de economia durante o ciclo de vida com um período mínimo de retorno de cerca de 4 anos, sendo que ao final da simulação mostrou um período mínimo de retorno de cerca de 4,37 anos. Os resultados obtidos sugerem que as variações no combustível taxa de inflação e a taxa de desconto têm um efeito significativo no retorno no período. Também é revelado que o sistema ideal é insensível às variações na taxa de inflação de combustível.

Almeida (2009) programou estratégias para o controle do nível de licor nos efeitos e da concentração de sólidos do licor negro de um sistema de evaporação múltiplo efeito, composto por seis estágios e de alimentação direta. A linguagem utilizada para a criação do programa foi o Fortran. Além disso, foi implementado um sistema de controle avançado preditivo para a concentração de sólidos do licor negro na saída da evaporação através de um DMC (Dynamic Matrix Control – Controle por Matrix Dinâmica) do tipo SISO (Single Input Single Output - Uma entrada e Uma saída) pertencente à família de controladores baseado em modelo MPC (Model Predictive Control – Controle Preditivo com Modelo). Ao comparar essas estratégias de controle através de índices de desempenho quadráticos para a variável controlada ISE (Integral of Square Error – Integral do Erro ao Quadrado) e para a variável

manipulada ISU (Integral ao Quadrado da Ação de Controle de Variável Manipulada). E mesmo os controladores P (Controlador Proporcional) e PI (Controlador Proporcional e Integral) tendo uma resposta mais rápida, o controlador DMC aplica ações de controle mais suaves o que impede que o limite físico do elemento final de controle (válvula de vapor) seja ultrapassado ou completamente saturado, o que é extremamente interessante no controle da evaporação de licor negro, estabiliza a vazão de vapor necessária para a concentração do licor, fazendo com que a sintonia do controlador DMC seja mais simples que os controladores convencionais, através de um simulador pode-se encontrar a melhor sintonia e estudar seus parâmetros separadamente e fazer com que o DMC seja melhor do que ao P e PI em termos de superioridade e robustez.

Pertense et al (2011) observaram que os níveis de bactérias em Buffalo Bayou em Houston eram muito altos, com isso decidiu criar o Programa Hidrológico Simulação em Fortran (HSPF) para avaliar o impactos que essas bactérias causavam nas bacias hidrográficas, para isso fizeram cálculos de estimativas simples de cargas bacterianas juntamente com as avaliações de origem a partir de curvas de duração da carga com intuito de demonstrar que o escoamento pode desempenhar um papel significativo na manutenção de níveis elevados de bactérias em todas as condições de fluxo e que a compreensão das variações temporais no carregamento de origem bacteriana é fundamental para garantir que reduções de carga irão atingir os padrões de qualidade da água. As previsões do modelo demonstraram que os padrões de qualidade da água não foram cumpridos a maior parte do tempo na bacia. Estimativas simples de cargas bacterianas foram calculadas, em comparação com TMDLs (Total Maximum Daily Load - Total da Carga Máxima Diária) estimada a partir de uma curva de duração da carga e utilizados para avaliar os resultados do modelo. Os cálculos indicaram que a simples os padrões de qualidade da água poderiam ser satisfeitos em tempo seco, reduzindo bactérias indicadoras para tempo seco que carregam em 69%.

Ding (2007) fez uma breve revisão sobre a história de simulação para sistemas de refrigeração por compressão de vapor que em sua visão tornou-se muito útil, mas para fazer uma simulação prática seus métodos devem ser estáveis, rápidos e precisos. Os requisitos em matéria de estabilidade, rapidez e precisão podem entrar em conflito um com o outro e em seguida, uma solução deve ser feita de acordo com o objetivo de simulação em específico. Demonstra algumas técnicas de simulação que envolvem regressão implícita e método de cálculo explícito para propriedades termodinâmicas do refrigerante, metodologia de simulação inteligente baseado em modelo e método de simulação baseada gráfico-teoria, tudo isso simulado no programa ANN (Artificial Neural Network - Rede Neural Artificial).

Também ele expõem métodos potenciais para simulações futuras como a simulação de ruído em campo, simulação com metodologia de cálculo e os métodos de engenharia do conhecimento para propriedades de nanofluidos. Pode concluir que para a simulação de um sistema de refrigeração que consiste em vários componentes, os modelos de componentes devem ser mais simples do que para a simulação de um único componente. O modelo dinâmico do compressor para simulação sistemas de refrigeração pode ser dividido em duas partes: a parte de estado estacionário para o cálculo da taxa de fluxo de massa e a parte dinâmica para o cálculo do processo de permuta de calor, no qual o nanofluido pode ser utilizado amplamente no futuro.

El-Nashar (2000) dissertou a respeito de um programa de computador chamado SOLDES que foi desenvolvido para simular o funcionamento de usinas de energia solar de dessalinização que utilizam coletores tubos de vácuo, acumuladores de calor e sistemas de destilação de vários efeitos MED (Multiple Effect Distillation – Destilação de Múltiplo Efeito). O acumulador de calor utilizado é do tipo estratificado termicamente e utiliza água pura como fluido de armazenamento. O procedimento foi escrito em linguagem Fortran. O sistema coletor de calor utiliza um circuito de derivação para permitir a coleta do calor do fluido (água pura) para recircular de volta para o campo de coletores solares quando a temperatura de saída a partir do campo de coletores está abaixo de um valor nominal. Quando a temperatura de saída do coletor sobe acima do ponto de ajuste, a operação é alterada para o lado do acumulador. Um controlador de tipo célula solar é usado para iniciar e parar a bomba de água de circulação do campo coletor. A operação do evaporador MED é controlado pelo estado de carga do acumulador de calor através da utilização de interruptores “set-point” que permitem que o evaporador funcione quando a temperatura da água está acima de um acumulador set-point e para encerrar se a temperatura da água cai abaixo do “set point”. A fim de validar o programa SOLDES, foi feita uma comparação entre os resultados previstos do programa e os dados reais medidos a partir de uma central solar de características similares do projeto para o programa de simulação. Com base nas comparações entre os valores medidos e os resultados da simulação, notou-se que o programa de simulação SOLDES pode ser utilizado com confiança para prever o desempenho de instalações de dessalinização solares que utilizam coletores de tubo de vácuo, como uma fonte de calor e em um sistema de destilação MED para a dessalinização da água do mar.

Askalany et al (2012) dissertaram sobre um sistema de refrigeração de absorção que foi projetado e construído empregou GAC (Granular Activated Carbono - Carvão Ativado Granular) e R134a. O desempenho do sistema foi determinado ao se utilizar um programa de

computador de simulação escrita em linguagem Fortran, e também é usado para prever o desempenho do sistema. O desempenho do sistema foi determinado com a variação da condução da fonte térmica, temperaturas de entrada e as temperaturas do evaporador entregues. A condução da temperatura máxima na fonte de calor é mantida abaixo de 100°C para utilizar as fontes de energia ou calor desperdiçado em energia solar térmica. Os resultados mostraram boa concordância entre os dados teóricos e experimentais. O máximo COP (Coefficient Of Performance – Coeficiente de Desempenho) teórico é obtido como 0,35. O sistema de arrefecimento pressurizado de absorção pode efetivamente ser utilizado em baixo grau de resíduos de calor a temperatura abaixo de 100°C.

Bendaoud et al. (2010) demonstraram uma nova abordagem e modelagem, representa o calor transferido a hidrodinâmica do problema, que se destina a prever o comportamento dinâmico de uma serpentina de refrigeração em condições secas. Um programa Fortran foi criado que permita o estudo de uma grande variedade de configurações de circuito refrigerante complexos. Após a criação do programa exemplos de simulações foram em seguida realizada em um evaporador tipicamente empregue em supermercados, que mostra o efeito do circuito em funcionamento e seu desempenho. Mostram que circuitos são uma prática comum em refrigeração e nesta simulação demonstra que o cuidado deve ser exercido em fazer a seleção. A configuração de dois circuitos foi escolhido para análise. Em termos de capacidade de transferência de calor, mostrou-se que os dois circuitos foram bem equilibrados em termos de queda de pressão e da capacidade de transferência de calor. Queda da pressão baixa do CO<sub>2</sub> resultou em um deslize de temperatura reduzida, em comparação com um único circuito. Também foi criado um modelo teórico para permitir a simulação de um evaporador com aletas de alumínio onduladas foi desenvolvido e validado com dados experimentais obtidos em uma instalação de refrigeração de Canmet ENERGY em Varennes. Pacotes de simulação de estado estacionário equipados com rotinas de otimização podem ser usados para realizar a reconciliação de dados, e a estimativa de parâmetros por meio de modelos internos existentes que satisfaçam automaticamente a massa e energia nas restrições de balanço. O tempo necessário para desenvolver um problema de reconciliação de dados pode ser reduzido pelo uso de significativamente destes pacotes sem sacrificar a qualidade dos resultados.

Chuaprasert et al (1998) estudaram um evaporador ATFE (Agitated Thin Film Evaporator) para a concentração de xarope e açúcar e utiliza o sistema de simulação AspenPlus. A otimização foi realizada ao se usa o “built-in” SQP, (Sequential Quadratic Programme – Programa Quadrático Sequencial) rotina de otimização. A reconciliação dos dados melhorou a relação entre o modelo de simulação e os dados experimentais em torno de

30% a 98%, assim se pode garantir que a medição de processos ajustados possam satisfazer os balanços de massa e energia. Após a reconciliação de dados uma melhoria significativa de peso dos dados medidos também foi observada. Em média o entre valores medidos e o processo de modelo foi aumentada em cerca de 60%. E com os pacotes de simulação no estado de equilíbrio e equipada com rotinas de otimização pode ser usado para realizar de reconciliação de dados e obter resultados precisos. Esta abordagem pode ser usada para conciliar problemas lineares e não lineares através da minimização de uma função objetivo mínimos quadrados ponderados, e que varia variáveis fluxograma apropriados.

Butcher et al (2014) desenvolveram um modelo de simulação na qual foram utilizados os programas, tais como o HSPF e SWAT (Soil-Water Assessment Tool - Ferramenta de Avaliação Água-Solo) são frequentemente usados para projetar as respostas dos processos de bacias hidrográficas para as alterações climáticas, mas nem sempre representam os efeitos das mudanças nas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre o crescimento das plantas. E com o aumento em concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> pode diminuir a necessidade de plantas para manter a condutância estomática para conseguir entradas suficientes de CO<sub>2</sub>, reduz-se assim a transpiração de água com efeitos potencialmente importantes sobre o equilíbrio de água de bacias hidrográficas. Os resultados encontrados por eles sugerem que enquanto o efeito da redução da transpiração da planta devido ao aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico é importante. Além disso, propõe uma abordagem geral para modificar os modelos de bacias hidrográficas para simular a resposta da transpiração das plantas para aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico com as alterações climáticas.

Tito (2011) desenvolveu um modelo de simulação para trocadores de calor de placas soldadas, sendo executado em regime permanente em um sistema de refrigeração em cascata por compressão de vapor, compostos por condensador, trocador de calor intermediário e evaporador. O modelo segue um método de análise local, na qual o trocador de calor é dividido em uma série de pequenos volumes de controle, para os quais as equações de troca de calor e de conservação de massa e de energia foram aplicadas. Para os cálculos dos coeficientes locais de transferência de calor e fator de atrito foram usadas correlações que estão descrita no trabalho do mesmo, e que considera as regiões de escoamento monofásico ou bifásico em cada um dos trocadores, estas correlações cobrem valores com temperaturas de saturação entre 5 ° C e 30 ° C, fluxo de calor entre 2,5 kW/m<sup>2</sup> e 185 kW/m<sup>2</sup>, e aplicam-se a geometrias com ângulos de enrrugação entre 20° e 60° graus. Um programa foi criado em linguagem Fortran para fazer os cálculos de desempenho térmico dos trocadores de calor e das correlações de saída dos dois fluidos. Na simulação foram consideradas conhecidas as

condições de entrada dos fluidos e a geometria do trocador. As propriedades termo física dos fluidos foram calculadas e se utilizou a mais recente versão do padrão NIST (National Institute of Standards and Technology - Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia) de referência de propriedades termodinâmicas e de transporte, o que permite a simulação dos trocadores de calor que opera com vários tipos de refrigerantes. Os resultados da simulação foram comparados com os experimentos de outros autores para os refrigerantes R22 e R290, obter uma boa concordância. Uma análise de sensibilidade foi realizada com os novos refrigerantes R1234yf e R1234z.

Li et al (2000) criam uma simulação em Fortran baseada num sistema de absorção de energia solar para ar condicionado com um par de absorção de brometo de lítio e água. Na qual foi feita uma tentativa de aumentar o COP do sistema e divide um único tanque de armazenamento em duas partes. De manhã quando o sol é baixo, a parte superior é ativada, e na parte da tarde, o conjunto tanque (superior e inferior) está ligado ao coletor. A análise indica que é preferível utilizar um tanque de água repartida em vez de separados normalmente, porque com o tanque de água de arrefecimento pode ser realizado mais rapidamente a comparação com o tanque de armazenamento de água separada normal. Além disso, a eficiência global de arrefecimento (carga a proporção de energia solar total de arrefecimento) verificou ser mais elevada para o sistema de ar condicionado de armazenamento particionado. Ar condicionado alimentado por energia solar tem uma boa vantagem quando comparado com outras aplicações, pois quanto mais sol maior o arrefecimento, o que só poderia ser alcançado através do sistema de refrigeração solar. A fim de conseguir uma operação contínua e para aumentar a viabilidade do sistema, um dispositivo de armazenamento de um tanque de água quente é muito essencial. O sistema de simulação mostra que os resultados dos tanques de armazenamento de água quente antes do arrefecimento, e por consequência o COP gerado no sistema é superior, em comparação com um sistema de armazenamento separado normal.

## **2.2 Linguagem Fortran**

Aparecido (2013) diz que o ser humano sempre procurou um modo para facilitar sua vida e em questões de cálculo não é diferente, até uns trinta anos atrás se utilizavam no modo mais grosseiro e faziam cálculos manualmente, mas com a invenção do computador tudo se tornou mais fácil, e com a criação de “softwares” que desenvolvem cálculos que a primeira vista são quase impossíveis de serem calculados manualmente, e assim tem facilitado nossas

vidas e ajudado em descobertas e experimentos. Esses softwares podem ser criados através de vários tipos de linguagens computacionais.

Biachini (2014) diz que o Fortran é uma linguagem de programação de finalidade geral, desenvolvida principalmente para projetos da área de engenharia. Fortran é um acrônimo de FORmula TRANslation. Foi a primeira linguagem de programação de alto-nível, criada pela IBM (Internacional Business Machine) em 1957. Convencionalmente, a versão da linguagem Fortran é conhecida pelo fato de vir acompanhado pelo dois últimos números do ano.

Após trinta anos de existência, o Fortran não era mais a única linguagem de programação disponível para os programadores, pois surgiram novas linguagens que foram desenvolvidas para certos tipos de aplicações em particular. O Fortran sempre se destacou nas áreas de aplicações numéricas, científicas, técnicas e de engenharia. A comunidade de usuários do Fortran realizou um investimento gigantesco em códigos, com muitos programas em uso frequente, alguns com centenas de milhares ou milhões de linhas de código, mas isso não foi o bastante para satisfazer seus usuários. Vários programadores passaram a utilizar outros códigos para suas linguagens como Pascal, C e C++. Para tentar modernizar o Fortran, o comitê técnico X3J3, aprovado pela ANSI e que trabalha com o corpo de desenvolvimento do comitê da ISO (International Standards Organization – Organização Internacional de Padrões) ISO/IEC JTC1/SC22/WG5 (doravante conhecido como WG5), criou um novo padrão inicialmente conhecido como Fortran 8x, que nos dias de hoje é conhecido como Fortran 90 (Gaelzer, 2012).

Fortran tem sido uma linguagem de programação muito usada em aplicações de engenharia. Por algum tempo pessoas que se dizem especialistas predizem que o Fortran será rapidamente enfraquecido em popularidade e com o passar do tempo deixará de existir. Essa previsão invariavelmente tem falhado. Pois ela é a linguagem mais duradoura na história da programação de computador. Uma das principais razões de sobrevivência do Fortran é o software e que não houve alterações com o passar do tempo. Uma vez que uma empresa tenha despendido muitos anos-homens e ganhado milhões de dólares em produtos de “softwares”, é improvável que tente mudar o software para uma linguagem diferente, ainda porque a transição é sempre uma tarefa muito difícil (Bianchini, 2014).

### **3 METODOLOGIA DE FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA**

O presente trabalho tem como finalidade a criação de um manual referente ao programa criado por Pimenta (2015). Tal programa será dividido em módulos, que serão explicados separadamente. Será apresentado um roteiro com a sequência lógica seguida pelo programa, bem como os dados que devem ser fornecidos para o funcionamento do mesmo.

Neste item é apresentado o que cada módulo do programa desenvolvido por Pimenta (2015) apresenta-se e quais módulos são necessários para a troca de informações para simular o escoamento e a transferência de calor do refrigerante no interior dos tubos e do ar externo, para os regimes permanente e transiente ao longo de evaporadores de tubo aletado.

#### **3.1 Area.f90**

Este módulo contém os cálculos das áreas de escoamento e troca de calor ao longo do evaporador. Nele é criada uma sub-rotina chamada 'areas' nela são calculadas as áreas e parâmetros geométricos do evaporador. O módulo começa quando utiliza-se o comando "use" para poder acessar os módulos: "data\_type", "constants" e "declara". O comando "only" foi inserido para que apenas algumas variáveis fossem consideradas dos módulos "constants" e "declara". Em seguida são declaradas algumas variáveis que são utilizadas mais adiante, depois de declará-las são feitos cálculos da: área da seção transversal do tubo, a área total de transferência de calor, a área dos coeficientes globais de transferência de calor. Ao término desses cálculos é feito o cálculo de parâmetros da aleta, mas para isso são feitas duas considerações para a variável "L" e "M". Se o resultado de "L", for menor ou igual a "M", apresentará a seguinte mensagem "Inverteu os parâmetros da aleta L e M", e o módulo será pausado, caso isso não ocorra o módulo continuará com suas atribuições de valores e cálculos até que as variáveis "RE\_R", "FI" e "FIRE" sejam calculadas.

#### **3.2 Atrito.f90**

Este módulo contém o cálculo do fator de atrito para o refrigerante. Cria-se uma sub-rotina chamada 'fator\_atrito', utilizam-se os módulos: "data\_type", "pro\_refri", "funcao" e "declara". Antes de começar o módulo são declaradas as variáveis que serão utilizadas. A

sub-rotina começa quando se calcula o número de Reynolds do Vapor, a partir desse ponto utiliza-se a ferramenta ‘case’, onde os cálculos que são feitos dependeram de como a variável ‘FORCA\_ATRITO’ for declarada com a finalidade de encontrar o resultado da perda de pressão devido ao atrito, caso a declaração for incorreta aparecerá uma mensagem de problema. Após isso é calcula-se a perda de pressão devido às curvas onde a equação depende do número de Reynolds.

### **3.3 Constants.f90**

Este módulo tem a simples função de definir as constantes que são utilizadas no decorrer do programa, onde ele utiliza o modulo “data\_type” para impor condições na hora de declarar as constantes PII, RO\_W e RO\_F e utiliza-se o comando “save” para que os dados contidos no módulo não fiquem voláteis na transição entre os módulos.

### **3.4 Dados\_malha.f90**

Este módulo tem a função de fornecer dados para que no final possa gerar uma malha, para isso ele é separado em duas sub-rotinas.

Na sub-rotina entrada de dados tem a função de fornecer os dados para a entrada do evaporador e refrigerante (puros e misturas), para isso utiliza-se a estrutura “case” que tem a função de escolher um determinado bloco de código entre vários para ser executado, no caso da escolha do evaporador o bloco dependerá da declaração que for feita para variável “nome\_caso”, existem 10 opções de evaporadores, caso nenhuma das declarações forem iguais as que são fornecidas pelo módulo o programa imprime na tela a seguinte mensagem “Problemas com o nome do caso. Checar módulo dados\_malha”. Para o refrigerante terá a opção de 33 fluidos puros e 29 misturas, e a escolha será feita quando a variável refrigerante for declarada, por não haver compatibilidade entre as informações o programa gera uma mensagem “Problemas com o nome refrigerante. Checar módulo dados\_malha”.

Em seguida é criada uma sub-rotina chamada de malha onde ela gerará a malha que é utilizada na solução das equações governantes, ela utiliza os módulos “data\_type” e “declara”, em seguida são feitos os cálculos para as variáveis MMJ, DELTA\_Z, MI, DELTA\_Y e MK.

### **3.5 Data\_type.f90**

O objetivo deste módulo é estipular o tamanho em bits de cada variável real ou inteira, para que possa ser usado depois em outros módulos sem que precise ser declarados novamente.

### **3.6 Declara.f90**

O objetivo deste módulo é guardar as declarações de variáveis que são globais no programa afim de que não seja necessário declará-las durante o programa ou simplesmente para uma melhor organização e quando for necessário utilizá-las e já estão declaradas. Nesse módulo contém as declarações de variáveis para os dados de entrada, módulo de dados\_malha, módulo prop\_ar, módulo refri\_prop, transferência de calor, multiplicar bifásico – fator de atrito e módulos solver.

### **3.7 Declara\_solver.f90**

Este módulo contém as variáveis globais utilizadas no processo de solução das equações governantes, ela utiliza os módulos “data\_type”, “dados\_malha” e “declara”. E como no módulo “constants” usa-se o “save” para evitar que os dados fiquem voláteis, após isso as variáveis são declaradas e termina o módulo.

### **3.8 Eficencia\_aleta.f90**

Este módulo tem a finalidade de calcular a eficiência da aleta. É criada uma sub-rotina chamada ‘eficiencia’ onde são utilizados os módulos “dados\_malha”, “data\_type”, “funcao”, “trans\_calor”, “declara\_solver”, “constants”, “prop\_ar” e “RUNGEKUTTA”. É criado um laço de repetição que se repetirá até  $N - 1$ , o resultado dos cálculos dependerá de como a variável ‘SET\_AR’ é declarada, mas nesse caso os cálculos são feitos tanto para umidade relativa ‘UR’ ou para ‘WA’. Ao final do cálculo se a eficiência for maior que 1 ou menor que 0 apresentará uma mensagem de erro e o programa será pausado, caso não ocorra o módulo e a sub-rotina são encerrados normalmente.

### **3.9 Evaporador\_ph.f90**

Esta parte não é mais um módulo, mas o programa em si onde acontece a simulação, e se utiliza um modelo distribuído de um evaporador de serpentina com tubos aletados. O escoamento bifásico é considerado homogêneo onde o modelo matemático considera a condensação de vapor d'água do ar sobre os tubos. Nele são utilizados os módulos “data\_type”, “declara”, “funcao”, “MSIMSLMD”, “constants”, “dados\_malha”, “area”, “atrito”, “prop\_ar”, “prop\_refri”, “trans\_calor” e “solver\_mvf2”. E nele que se declara diversos variáveis que são utilizadas nos módulos para fazer os cálculos e retornar ao programa para ser impresso na tela. Nele também é calculado as condições iniciais em geral.

Neste item do programa funciona como um cérebro, que coordena as atividades e os comandos de execução e ordena a relação entre a execução de cada modulo.

### **3.10 Funcoes.f90**

Este módulo armazena todas as funções que são utilizadas no decorrer do programa.

#### **3.10.1 - Funções para o Ar**

Função FBW: essa função tem como finalidade encontrar o valor da temperatura de bulbo úmido. São utilizados os módulos “data\_type” e “declara” apenas para algumas variáveis, em seguida declaram as variáveis que são utilizadas nesse módulo. Após isso, inicia-se o cálculo do PWAS\_NOVO (pressão parcial de saturação) primeiramente ele transforma o valor de TR1 de Celsius para Kelvin. Depois de feito isso, existem duas probabilidade para se fazer esse cálculo primeira é se  $-100 < TR1 < 0$  atribui-se valores para C1 ate C7 e faz o cálculo conforme a fórmula, caso TR1 não satisfaça essa condição utiliza a segunda opção onde  $0 < TR1 < 200$ , assim são feitas atribuições de valores de C8 ate C13 e os valores são jogados na formula. Em seguida o TR1 é transformado novamente para graus Celsius e é feito um cálculo para o PWAS\_NOVO, depois é calculado a umidade absoluta do ar saturado (FBW).

#### **3.10.2 - Propriedades do ar**

Função VISCO\_AR(T): Esta função calcula a viscosidade do ar dada a temperatura ( $240 \leq T \leq 340$ ) em Kelvin para a pressão a 101.325 kPa. Utiliza-se o módulo

“data\_type” em seguida declaram as variáveis que são necessárias no cálculo e atribui-se valores para A e B, e por fim é feito o cálculo da viscosidade do ar e a função é encerrada.

- Função VISCO2\_AR(T): Esta função é semelhante a anterior o que muda entre as duas é a faixa de temperatura que agora será de  $250 \leq T \leq 350$  e os valores atribuídos a A e B e por final a unidade de medida.

Função COND\_AR(T): Esta função calcula a condutividade térmica do ar com temperatura ( $240 \leq T \leq 340$ ) em Kelvin e pressão a 101.325kPa. Utiliza-se o módulo “data\_type” em seguida são feitas as declarações das variáveis que são necessárias para o cálculo e atribui-se valores para A e B, e o valores são jogados na equação da condutividade térmica do ar e encerra a função.

Função CP\_AR(T): Esta função calcula o calor específico para pressão constante do ar dada a temperatura ( $240 \leq T \leq 340$ ) em Kelvin e pressão a 101.325 kPa. E como nas funções anteriores é utilizado o módulo “data\_type”, declarada as variáveis, atribuem valores para A e B, joga os valores na equação do calor específico e encerra a função.

Função DAB(T): Esta função calcula a difusividade da água no ar, com a mistura na pressão de 101.325 kPa. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis que serão utilizadas, atribui valores para A, B e C e executam-se os cálculos da difusividade da água no ar (DAB).

Função ENTAL\_AR2(T,W): Esta função calcula a entalpia do ar úmido. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis que são utilizadas, atribuem-se valores para A, B e C, transforma-se T1 em graus e por fim executam-se os cálculos para a entalpia do ar úmido (ENTAL\_AR2) e finaliza a função.

Função TEMP\_AR(H,W): Esta função calcula a temperatura do ar úmido. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis a serem utilizadas, atribuem-se valores para A, B e C, executa-se os cálculos para a temperatura do ar úmido (TEMP\_AR) e encerra a função.

Função WSF(T): Esta função calcula a umidade absoluta do ar úmido á temperatura da aleta. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declara-se as variáveis a serem utilizadas, atribui-se valores para A, B, C e D, transforma-se T1 em graus Celsius, calcula a umidade absoluta do ar úmido (WSF) e encerra a função.

### 3.10.3 - Funções para a parede do tubo

Função COND\_W(T): Esta função calcula a condutividade térmica do cobre puro dada a temperatura (  $200 \leq T \leq 400$  ) em Kelvin. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis a serem utilizadas, atribuem-se valores para A, B1 e B2, calcula-se a condutividade térmica (COND\_W) e encerra a função.

Função CP\_W(T): Esta função calcula o calor específico para pressão constante do cobre puro dada a temperatura (  $200 \leq T \leq 400$  ) em Kelvin. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis a serem utilizadas, atribuem-se valores para A, B1 e B2, calcula-se o calor específico (CP\_W) e encerra a função.

#### **3.10.4 - Funções para a aleta**

Função COND\_F(T): Esta função calcula a condutividade térmica do alumínio puro dada a temperatura (  $200 \leq T \leq 400$  ) em Kelvin. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis a serem utilizadas, atribuem-se valores para A e B, calcula-se a condutividade térmica (COM\_F) e encerra a função.

Função CP\_F(T): Esta função calcula o calor específico para pressão constante do alumínio puro dada a temperatura (  $200 \leq T \leq 400$  ) em Kelvin. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis a serem utilizadas, atribuem-se valores para A, B1 e B2, calcula-se o calor específico (CP\_F) e encerra a função.

#### **3.10.5 - Função para o fator de atrito**

Função F\_ATRITO(REYNOLDS): Esta função calcula o fator de atrito. Utilizam-se os módulos “data\_type” e “declara” apenas algumas variáveis, declaram-se as variáveis a serem utilizadas. Em seguida usa-se a estrutura “case” onde o cálculo de F\_ATRITO dependerá de como será declarada a variável FACTOR\_ATRITO, caso a variável seja declarada como 'CHURCHILL' fará primeiramente o cálculo de C, e se  $1/C \leq 0$  então apresentará a seguinte mensagem 'Erro log fator de atrito', se essa condição não for verdadeira serão feitos cálculos para A, B e F\_ATRITO.

Caso a variável FACTOR\_ATRITO seja declarada como 'BLASIUS' ela terá duas probabilidades de ser calculada o F\_ATRITO, primeiro se o número de Reynolds  $\leq 1187$  ele fará o cálculo, senão atribuirão valores para A e B e fará o outro cálculo.

E caso a declaração não for igual a 'CHURCHILL' e 'BLASIUS' o programa imprime na tela a seguinte mensagem 'Problemas com o nome do fator de atrito. Checar módulo função.' e encerra a função F\_ATRITO.

### **3.10.6 - Funções para Água**

Função LAT\_H2O(T): Esta função calcula o calor latente de condensação da água para uma faixa de temperatura entre 273,15 K à 373,15 K. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis a serem utilizadas, atribuem-se valores para A e B, calcula-se o calor latente de condensação da água (LAT\_H2O) e encerra a função.

Função ENTAL\_H2O(T): Esta função calcula a entalpia da água líquida saturada para uma faixa de temperatura entre 273,15 K à 373,15 K. Utiliza-se o módulo “data\_type”, declaram-se as variáveis a serem utilizadas, atribuem-se valores para A e B, calcula-se a entalpia da água líquida saturada (ENTAL\_H2O) e encerra a função.

### **3.10 Gauss\_refrigerante.f90**

Nele é utilizado o módulo “declara\_solver” e criado uma sub-rotina chamada ‘gauss’ onde se resolvem o sistema linear e se utilizando o método de Gauss sem pivoteamento, nessa sub-rotina utiliza-se os módulos “data\_type” e “declara”. São criados vários laços de repetição para estabelecer algumas considerações que serão usadas no decorrer do programa.

### **3.12 Jacobiano\_ar.f90**

Este módulo contém a sub-rotina chamada ‘usrfun2’ que fará o cálculo da matriz Jacobiano das equações do ar, utilizam-se os módulos “declara\_solver”, “valor\_funcao\_ar”, “data\_type”, “declara” e “dados\_malha”. Para que o cálculo jacobiano seja feito é necessário que a variável JACO2 seja igual a ‘SIM’, caso a declaração seja ‘NÃO’ é feita a seguinte consideração FVER\_TEMP2 = FVER2.

### **3.13 Jacobiano\_refrigerante.f90**

Este módulo contém a sub-rotina chamada ‘usrfun’ que fará o cálculo da matriz Jacobiano das equações do refrigerante e da parede do tubo, ela utilizará os módulos

“declara\_solver”, “valor\_funcao\_refrigerante”, “data\_type”, “declara” e “dados\_malha”. Como no jacobiano\_ar o cálculo jacobiano será feito se a variável JACO for igual a ‘SIM’, caso declarada como ‘NÃO’ é feita a seguinte consideração  $FVER\_TEMP = FVER$ .

### **3.14 Newton\_raphson\_ar.f90**

Este módulo contém a sub-rotina ‘newton\_raphson2’ com o método de Newton-Raphson, para as equações do ar e resolve toda malha de uma só vez. A sub-rotina onde utiliza-se dos módulos “declara\_solver”, “jacobiano\_ar”, “data\_type”, “MSIMSLMD”, “declara” e “dados\_malha”. São criados laços de repetição para fazer alguns cálculos, em seguida resolve-se o sistema linear da sub-rotina do IMSL.

### **3.15 Newton\_raphson\_refrigerante.f90**

Este módulo contém a sub-rotina chamada ‘newton\_raphson’ com o método de Newton-Raphson, para as equações do refrigerante e parede do tubo. A sub-rotina utiliza-se dos módulos “declara\_solver”, “jacobiano\_refrigerante”, “gauss\_refrigerante”, “data\_type”, “MSIMSLMD”, “declara” e “dados\_malha”. Como no módulo “newton\_raphson\_ar” são criados laços de repetição para fazer alguns cálculos para que em seguida possa resolver o sistema linear da sub-rotina do IMSL, no desenvolver do programa se  $ERRX \leq TOL\_X$  ele finaliza o módulo, mas se o resultado não condizer com essa condição e  $K = NTRIAL$  é impresso na tela uma mensagem de erro e o programa será pausado.

### **3.16 Prop\_ar.f90**

Este módulo contém a sub-rotina chamada ‘psicrometrica’ onde se calculam-se as propriedades do ar úmido quando fornecido: temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR) ou umidade absoluta (WA), pressão fixada na pressão de  $P = 1$  atm (atmosfera) ou  $P = 101.325$  kPa. Utilizam-se os módulos “data\_type”, “funcao” e “declara”. A sub-rotina começa por calcular o PWAS onde haverá duas possibilidades de cálculo e dependerá do valor que TBS assumir. Em seguida é calculado o PWA onde há duas possibilidades de cálculo e dependerá de como a variável SET\_AR for declarada. Após isso calcula-se a umidade absoluta, umidade absoluta ar saturado, grau de saturação, volume específico, entalpia, temperatura do ponto de orvalho, neste caso o cálculo dependerá do valor que PWA

assumir, e por fim o cálculo da temperatura de bulbo úmido, onde se  $F2 \cdot F1 \geq 0$  é apresentado uma mensagem de erro, mas caso não ocorra essa condição são feitos os cálculos normalmente.

### 3.17 Prop\_refri.f90

Este módulo contém o cálculo das propriedades do refrigerante, onde é criada uma sub-rotina chamada 'ref\_prop' que se utilizam os módulos "data\_type" e "declara". Inicia-se por calcular o peso molecular do fluido puro (NC=1) ou mistura (NC=2), as outras propriedades do refrigerantes que serão consideradas ou calculadas dependerá do valor da variável TITULO sendo que se ele for maior que 0,99 assumirá valores da região superaquecida e se for menor ou igual a 0,99 assumirá valores para região saturada, após isso os cálculos também dependerão de como a variável SET\_REFRI for declarada.

### 3.18 Rungekutta\_aleta\_circular.f90

Este módulo contém o cálculo do Perfil de temperatura das aletas por meio do método de Runge Kutta, nele é criada a sub-rotina chamada 'RUNGEKUTTA\_ALETA' que se utiliza-se os módulos "data\_type", "declara", "dados\_malha", "funcao", "trans\_calor", "declara\_solver", "constants" e "prop\_ar".

### 3.19 Solver\_mvf2.f90

Este módulo cria uma sub-rotina chamada 'solver\_eqs2' onde se utiliza os módulos "data\_type", "dados\_malha", "prop\_refri", "trans\_calor", "atrito", "prop\_ar", "funcao", "transientes", "declara", "newton\_raphson\_refrigerante" e "newton\_raphson\_ar". Nesse módulo contém as sub-rotinas que resolvem as equações de conservação:

- a) Para o refrigerante: massa (densidade), quantidade de movimento (velocidade), energia (entalpia);
- b) Para a parede do tubo: energia (temperatura);
- c) Para o ar: energia (temperatura), umidade (umidade absoluta).

Utiliza-se o método de Newton-Raphson para resolver o sistema de equações não linear. As equações de conservação são discretizadas pelo método de volumes finitos. Esta

sub-rotina simula o comportamento transiente de um evaporador de serpentina com tubos aletados, e considera a variação de pressão e é responsável por imprimir os valores na tela.

### **3.20 Trans\_calor.f90**

Este módulo contém o cálculo dos coeficientes de transferência de calor do refrigerante e do ar e o coeficiente de transferência de massa do ar. Na primeira sub-rotina criada chamada 'globais' utilizam-se os módulos "data\_type", "declara", "funcao" e "área"; nela calcula-se o coeficiente transferência de calor do ar, eficiência da aleta, coeficiente transferência de calor efetivo do ar, coeficiente transferência de calor para o refrigerante e por final o cálculo do coeficiente transferência globais. Após isso, cria-se outra sub-rotina chamada 'convec\_bifasico' onde se utilizam se os módulos "data\_type", "prop\_refri", "funcao" e "declara", nela contém o cálculo dos coeficientes de transferência de calor do refrigerante na região bifásica. Ao finalizá-los é criada outra sub-rotina chamada 'convec\_monofasico' que contém o cálculo dos coeficiente de transferência de calor do refrigerante na região monofásica e utiliza os módulos "data\_type", "funcao", "declara" e "prop\_refri". Outra sub-rotina é criada chamada 'convec\_ar' que contém o cálculo dos coeficiente de transferência de calor e de massa do ar, considera se as aletas e a condensação e se utilizam os módulos "data\_type", "funcao", "declara", "prop\_refri" e "prop\_ar".

### **3.21 Transientes.f90**

Este módulo cria uma sub-rotina que se chama 'unsteady' nela utilizam se os módulos "data\_type", "funcao", "declara", "constants", "dados\_malha", "area", "atrito", "prop\_ar" e "prop\_refri". Nessa sub-rotina é usada a estrutura "case" onde se depende da declaração que for feita para a variável 'NOME\_CASO' serão fornecidos os dados do evaporador para que sejam feitos os cálculos de fluxo de massa de refrigerante (GR), a vazão em massa de ar (MA), o fluxo de massa de ar (GA), a massa da parede do tubo por unidade de comprimento (MW), a fração de vazio (VAZIO), a densidade do refrigerante (Mistura) inicial (RO\_M), a velocidade do refrigerante inicial (U) e a entalpia do refrigerante mistura inicial (ENTAL\_M).

### **3.22 Valor\_funcao\_ar.f90**

Este módulo contém a sub-rotina que avalia as funções no ponto para o ar no ponto XNR2. Cria-se uma sub-rotina chamada 'valor\_funcao2' utiliza-se os módulos "data\_type", "cosntants", "funcao", "area", "dados\_malha", "declara\_solver", "prop\_refri", "prop\_ar", "trans\_calor", "declara", "rungekutta" e "eficiencia\_aleta". Esse módulo contém os cálculos da conservação da energia para o ar e para conservação da umidade para o ar.

### **3.23 Valor\_funcao\_refrigerante.f90**

Neste módulo contém uma sub-rotina que avalia as funções no ponto para o refrigerante e parede do tubo no ponto XNR. Utilizam-se os módulos "data\_type", "declara\_solver", "funcao", "area", "trans\_calor", "dados\_malha", "prop\_ar", "prop\_refri", "atrito", "declara" e "valor\_funcao\_ar". Nela se desenvolve os cálculos para conservação da massa, quantidade de movimento, conservação da energia e conservação da energia para parede do tubo.

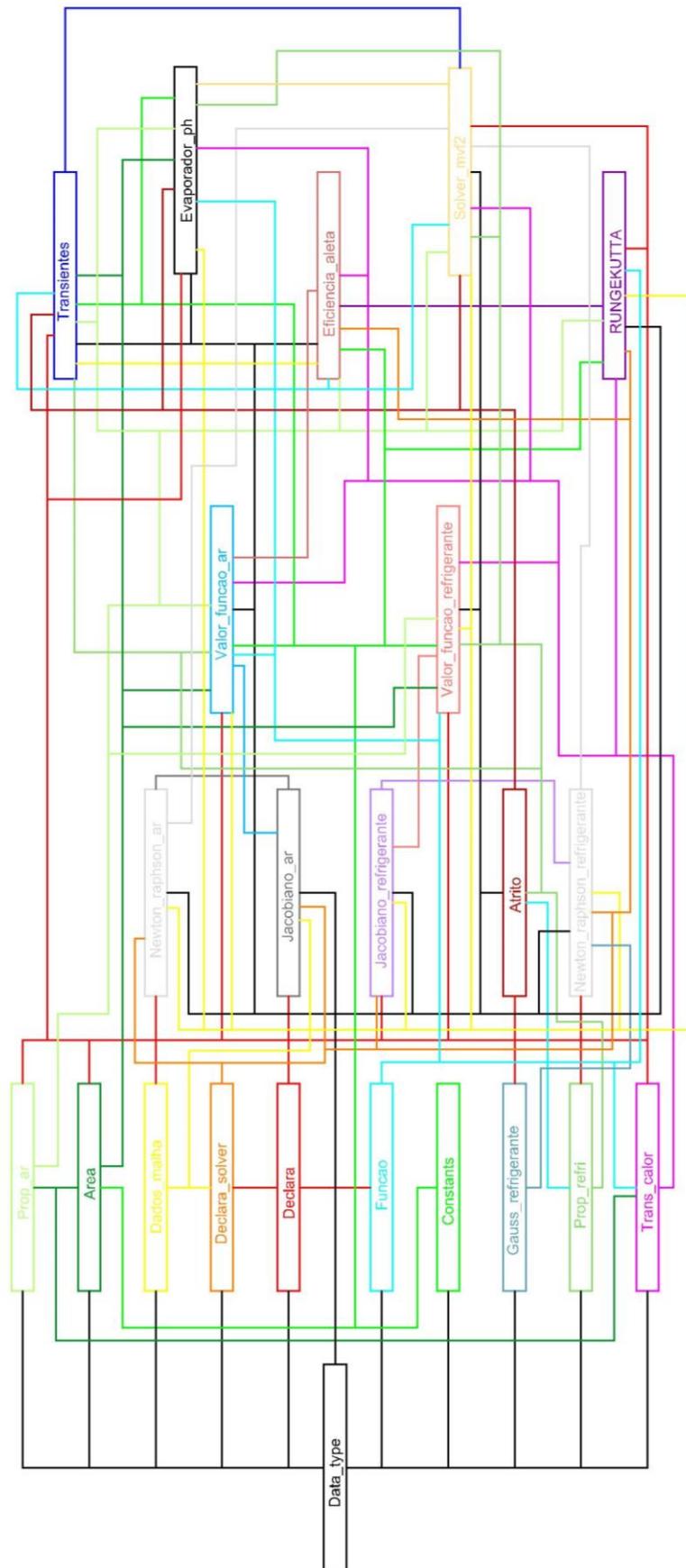


Figura. 1 – Fluxograma dos módulos

## 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo detalhar o funcionamento do código computacional desenvolvido por (Pimenta, 2015), escrito em Fortran, usado para a simulação do funcionamento transiente de evaporadores do tipo tubo aletados, comumente utilizados em sistemas de refrigeração. Foram feitas alterações na estrutura do código de modo a dividi-lo em pequenos módulos que contém parte do código original, que visa facilitar o entendimento do programa por usuários futuros.

- A metodologia aplicada mostrou-se eficiente no que diz respeito à subdivisão do algoritmo em pequenos módulos, pois facilitou muito o entendimento e possíveis alterações no funcionamento do programa. No entanto, verificou-se a necessidade de modificação da metodologia para simular evaporadores com múltiplas fileiras de tubos e configurações complexas da disposição dos tubos e das aletas;
- Com as novas modificações, o tempo de CPU para resolver problemas em regime permanente média de 2 minutos e para o caso de operação transiente de 25 minutos, em um computador Intel (R) core (TM) i7-2630QM CPU 2.00 GHz com 8,00 Gb de memória RAM, o mesmo tempo gasto quando o programa ainda não estava subdivido em módulos.

Ao se basear nas conclusões do trabalho desenvolvido verifica-se que algumas modificações ainda devem ser feitas a fim de melhorar o entendimento e manipulação do algoritmo. Dentre elas destaca-se:

- (i) Adaptar o procedimento de solução e conseqüentemente o algoritmo para simular evaporadores com múltiplas fileiras de tubos e configurações complexas da disposição dos tubos;
- (ii) Adaptar o algoritmo para simular o regime transiente de partida do sistema e criar uma lista de variáveis com seus respectivos nomes e unidades de medidas, o que facilitaria a manipulação do programa por usuários futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. M. **Modelagem, simulação e controle de um sistema de evaporação múltiplo efeito de licor negro**. 2009. 186f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Faculdade de Telêmaco Borba, Telêmaco Borba, 2009.
- ASKALANY A. A.; SAHA B. B.; AHMED M. S.; ISMAIL I. M. **Adsorption cooling system employing granular activated carbon - R134a pair for renewable energy applications**. ELSEVIER, International journal of refrigeration 36, p. 1037–1044, 2013.
- BENDAOU, A. L.; OUZZANE M.; AIDOUN Z.; GALANIS N. **A new modeling procedure for circuit design and performance prediction of evaporator coils using CO<sub>2</sub> as refrigerant**. ELSEVIER, Applied Energy 87, p. 2974–2983, 2009.
- BIANCHI, L. **Fortran 77**. Blumenau – SC, 2014. (Apostila)
- BUTCHER J. B.; JOHNSON T. E.; NOVER D.; SARKAR S. **Incorporating the effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> in watershed model projections of climate change impacts**. ELSEVIER, Journal of Hydrology 513, p. 322–334, 2014.
- CHUAPRASERT S.; DOUGLAS P.; NGUYEN M. **Data reconciliation of an agitated thin film evaporator using Aspenplus**. ELSEVIER, Journal of Food Engineering 39, p 261–267, 1999.
- DING G. **Recent developments in simulation techniques for vapour-compression refrigeration systems**. ELSEVIER, International Journal of Refrigeration 30, p. 1119–1133 2007.
- EL-NASHAR A. M. **Validing the performance simulation program “SOLDES” using data from na operating solar desalination plant**. ELSEVIER, Desalination 130, p. 235–253, 2000.
- GAEZLER, R. **Introdução ao Fortran 90/95**. Pelotas – RS, 2012. (Apostila)
- LI Z. F.; SUMATHY K. **Simulation of a solar absorption air conditioning system**. ELSEVIER, Energy Conversion & Management 42, p. 313–327, 2001.

PETERSEN, C. M.; RIFAI H. S.; VILLAREAL G. C.; STEIN R. **Modeling Escherichia Coli and Its Sources in an Urban Bayou with Hydrologic Simulation Program – FORTRAN**. Journal of Environmental Engineering, vol. 137, n°. 6, 2011.

RAHMAN S. M. A.; SAIDUR R.; HAWLADER M. N. A. **An economic optimization of evaporator and air collector area in a solar assisted heat pump drying system**. Energy ELSEVIER, Conversion and Management 76, p. 377–384, 2013.

TITO J. M. M. **Simulação de Trocadores de Calor de Placas para Sistemas de Refrigeração em Cascata**. 2011. 151f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC), Rio de Janeiro, 2011.