



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG  
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**JOÃO VICTOR REBELO VIANA**

**SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE PROBLEMAS ENVOLVENDO O  
ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM BOMBAS HIDRÁULICAS**

SANTARÉM

2020

**JOÃO VICTOR REBELO VIANA**

**SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE PROBLEMAS ENVOLVENDO O  
ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM BOMBAS HIDRÁULICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia para obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências.

Orientador: Josecley Fialho Goes

SANTARÉM

2020



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA - PROPPIT**  
**DIRETORIA DE PESQUISA**  
**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PIBIC/IBITI**

**1. IDENTIFICAÇÃO**

Bolsista: João Victor Rebelo Viana

E-mail: rebelo012@gmail.com

Telefone: 93 991059648

Título do Plano de Trabalho: Simulação numérica de problemas envolvendo o escoamento de fluido em bombas hidráulicas.

Título do Projeto ao qual está vinculado o plano de trabalho: Simulação numérica do processo de escoamento de fluidos em turbomáquinas.

Orientador: Josecley Fialho Góes.

E-mail do orientador: [josecley.goes@ufpa.edu.br](mailto:josecley.goes@ufpa.edu.br)

Telefone: 93 981200014

Instituto: Instituto de Engenharia e Geociências.

Bolsa: ( ) PIBIC/UFOPA      ( ) PIBIC/FAPESPA      ( ) PIBIC/CNPq  
( X ) PIBITI/UFOPA      ( ) PIBITI/CNPq      ( ) PIBIC-AF/CNPq      ( ) PIBIC-AF/UFOPA  
( ) PIBIC-AF/UFOPA – Indígena      ( ) PIBIC-AF/UFOPA - Quilombola

Vigência da bolsa: 2018/2019

**2. INTRODUÇÃO**

As bombas centrífugas são uma subclasse de turbomáquinas de absorção. Seu funcionamento consiste em fornecer ao fluido de trabalho energia através da conversão de energia cinética de rotação para energia hidrodinâmica. Bombas são amplamente usadas no mundo, na sucção de água, de esgoto, petróleo, industrial petroquímica, na agricultura entre outras aplicações[9].

Estruturar e implementar os conhecimentos relativos à dinâmica dos fluidos computacional (DFC) para análise e projeto de bombas hidráulicas produzidas pela empresa TSA a fim de otimizar as características operacionais destas. A TSA é uma empresa na área de turbomáquinas do Oeste do Pará com sede em Santarém. A empresa é uma das parceiras do curso de B.I em Ciência e Tecnologia que fornece estágio para os alunos do curso. O projeto Simulação numérica do processo de escoamento de fluidos em turbomáquinas representa a parceira empresarial da região de

Santarém com a UFOPA, principalmente no âmbito de obtenção de estágios para os alunos. Nesse contexto, a relevância do desenvolvimento de tecnologias em bombas hidráulicas exige um minucioso, gradativo e amplo processo de pesquisa e implementação.

Essencialmente, no que se refere ao estudo de escoamentos e geometria de bombas hidráulicas, a mecânica computacional figura como uma ferramenta poderosa para a simulação e análise das características de escoamento e aspectos físicos das bombas. Deve-se frisar que os escoamentos em bombas hidráulicas apresentam alto grau de complexidade e, por conseguinte, demandam a implementação de métodos analíticos avançados, abordagens experimentais e/ou técnicas computacionais para a geração de soluções apropriadas[9],[12].

Em geral, infelizmente, os métodos analíticos (transformadas, séries, etc) retornam soluções para problemas físicos simplificados que não representam a maioria dos problemas de engenharia que, por sua vez, apresentam geometria e condições de contorno complexas. No que tange aos ensaios experimentais, apesar desses apresentarem vantagens como a realização de simulações sob condições desejadas, os mesmos necessitam de alto investimento (mão de obra especializada e instrumentação) e exigem alto nível de segurança (por exemplo, elevadas rotações de turbomáquinas)[10].

Nesse contexto, as técnicas computacionais possuem vantagens extremamente atrativas como: baixo custo, velocidade no retorno das simulações, pluralidade de informações e a facilidade em implementar situações com condições realísticas (condições de contorno, geometrias complexas e elevadas rotações). Nesse ínterim, a aplicação da DFC para a análise e projeto de bombas hidráulicas é imprescindível, ao passo que realiza às simulações computacionais de escoamento, bem como retorna parâmetros que servem como critérios para a fabricação e operação das bombas[1].

Para fazer uso da DFC existem duas maneiras: a primeira é fazer uso de códigos comerciais que já trazem interface gráfica e torna a modelagem mais amigável ou a segunda construir o próprio código. Nesse trabalho foi optado por utilizar a primeira maneira fazendo uso do software Ansys. O Ansys possui enormes aplicações não só em fluido dinâmica computacional como em eletromagnetismo, transferência de calor e massa, análise de estruturas, análise de materiais.

No Ansys foi escolhido o pacote Ansys Fluent, responsável por simulações na área de DFC. O Ansys Fluent possui implementação do método numérico Volumes Finitos, o método dos volumes finitos consiste em dividir o domínio do cálculo em pequenos volumes de controles em uma abordagem integral, garantindo o princípio da equação de conservação de massa.

### **3. OBJETIVOS**

1. Levantamento bibliográfico acerca das técnicas de modelagem e implementação computacional para a dinâmica dos fluidos;

2. Desenvolvimento de programas computacionais e/ou treinamento em pacotes computacionais para realizar simulações capazes de prever proficuamente os fenômenos físicos no que tange aos escoamentos em bombas hidráulicas;
3. Desenvolvimento de ferramentas e modelos de análise e projeto de bombas hidráulicas;
4. Simulação numérica para avaliar a influência de rotores na eficiência operacional da bomba hidráulica;
5. Simulação do escoamento potencial em grade de turbomáquinas (grade de Gostelow);
6. Modelagem e implementação computacional para o escoamento potencial através de uma caixa espiral para bombas de fluxo radial.

Os objetivos 1 e 2 fazem referência a parte de pré-processamento do projeto de DFC. Ambos fazem parte da escolha bibliográfica para a base do desenvolvimento do projeto, o estudo sobre as equações de governantes do movimento dos fluidos (massa, momentum e energia) e seus parâmetros, sistema de coordenadas, parâmetros das bombas centrífugas e escolha do programa de simulação.

Os objetivos 3 e 4 fazem referência a parte do processamento. Foram implementados os conhecimentos obtidos da parte de processamento. Para tais implementações foi escolhido o software Ansys Fluent 16, tendo em visto que a UFOPA não disponibiliza o software, foi realizada a parceria com a Universidade Federal do Oeste do Pará – UFPA. O Ansys disponibiliza um módulo, completo, de ajuda com todas as informações necessárias para o funcionamento de suas ferramentas.

O quinto objetivo não foi atingido. O projeto foi dividido em três partes, esse plano de trabalho condiz com a parte um do projeto, a parte de fundamentação teórica de turbomáquinas – bombas, durante a execução do plano do trabalho foi identificado que a implementação da grade de Gostelow se faz necessária na segunda parte do projeto em que será analisado os perfis das pás do rotor e proposta um novo modelo.

O sexto objetivo não foi implementando devido a escolha do software, alguns modelos de códigos comerciais de DFC necessitam que a implementação ocorra dentro de uma caixa espiral, no caso do Ansys essa implementação não se faz necessária.

#### **4. METODOLOGIA**

Com base nos trabalhos escolhidos do levantamento bibliográfico, o software escolhido foi Ansys. No Ansys foi escolhido o pacote Ansys Fluent, responsável por simulações de fluidos de modo geral. No Ansys Fluent vem os subpacotes Geometry, Mesh, Setup e Results. O subpacote Geometry - DesignModeler foi o responsável por carregar a geometria da bomba com três partes: casing, impeller\_zone e impeller, depois foi criado o domínio do fluido, é a parte da geometria que representa o rotor preenchido por fluido, o domínio foi criado por meio da função boolean da

extração entre `impeller_zone` e `impeller`. Outra função booleana foi utilizada para criar a entrada da bomba, a subtração entre `casing` e `impeller_zone`, mas preservando os corpos. Resultando em quatro partes: `casing_inlet`, `impeller_zone`, `casing` e `impeller`. Para fins de simulação foi optado por suprimir a parte `impeller`. Em seguida no subpacote Mesh foi criada a malha da bomba, de tamanho de  $10^{-3}$  e criadas as condições de contorno Inlet e Outlet. No Setup foram definidas as condições de operação de bomba, regime transiente, para a condição Inlet foi utilizado condição de velocidade de entrada 0.3 m/s, para Outlet condição de pressão de 200kPa, para o `casing` e `casing_inlet` condição de parede e `impeller_zone` com rotação de 1800 rpm. Fluido de trabalho é a água a condições normais. Para a análise de turbulência foi escolhido o modelo k – épsilon, com resolução second upwinde parâmetros default. Os parâmetros para as equações de momentum, de massa, e energia foram as default do Fluent, como erro de solução de  $10^{-6}$ , com passos de tempo de 0.0003 s com total de passos de 100 e cada passo com 85 iterações, salvando os resultados a cada 4 passo de tempo.

O cálculo da altura de elevação, rendimento e eficiência foram realizados manualmente, a altura de elevação é dada por:

$H = P2 - P1 / \gamma$ , sendo P2 a pressão de saída e P1 a pressão de entrada, e  $\gamma$  o peso específico da água.

O cálculo para potência foi dividido em duas partes: Potência hidráulica e Potência de eixo, dadas respectivamente por:

$Ph = \gamma QH$  em que  $\gamma$  é o peso específico Q é a vazão e H é a altura manométrica.

$Pe = wT$ , em que w é a frequência angular e T é o torque.

A eficiência, por sua vez, é a razão entre Ph e Pe.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

A seguir os principais resultados.

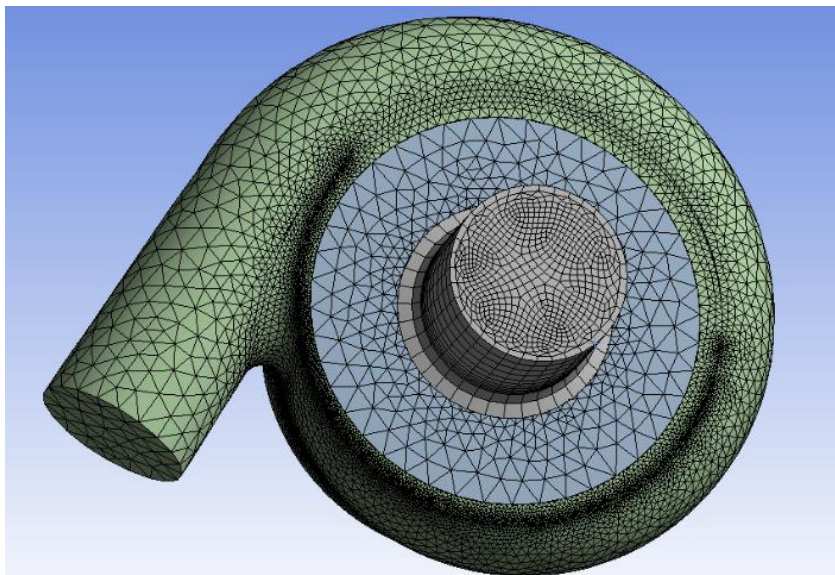


Figura 1: Imagem da malha obtida pelo Geometry.

A figura 1 é a malha resultante do processo descrito na metodologia. Ansys Mesh possui uma função que uma vez citado qual será o programa que irá simular tal malha, ele define uma malha default que melhor se adequa as condições do computador. Nesse trabalho, como foi escolhido o programa para solução de DFC – Ansys Fluent, foi utilizado como default a malha tetraédrica com nós 213.402 e em elementos 1.092.033. Vale ressaltar que a definição do tipo de malha é parte fundamental nos trabalhos de DFC. Para o caso de bombas, a complexidade da geometria, isto é, junção de várias formas geométricas, dificulta tanto o programa como o pesquisar na escolha da malha. Também, vale lembrar que a quantidade de nós e elementos depende principalmente do computador utilizado, quanto maior seus números, maior será o custo computacional.

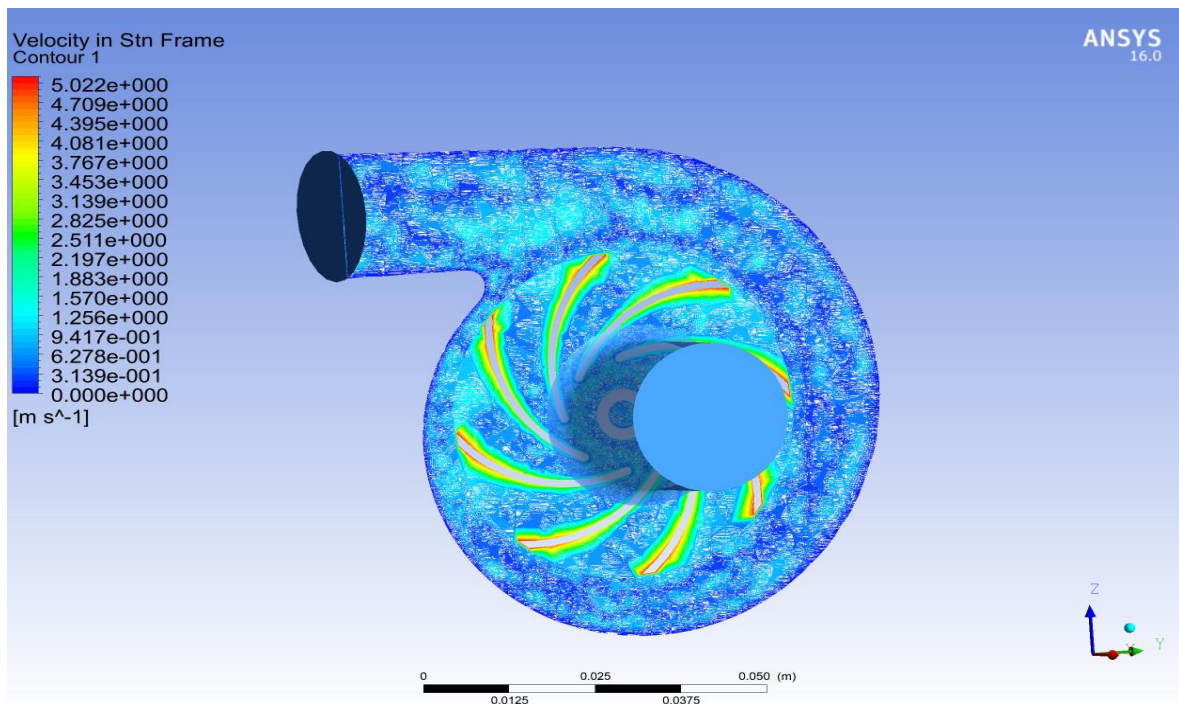
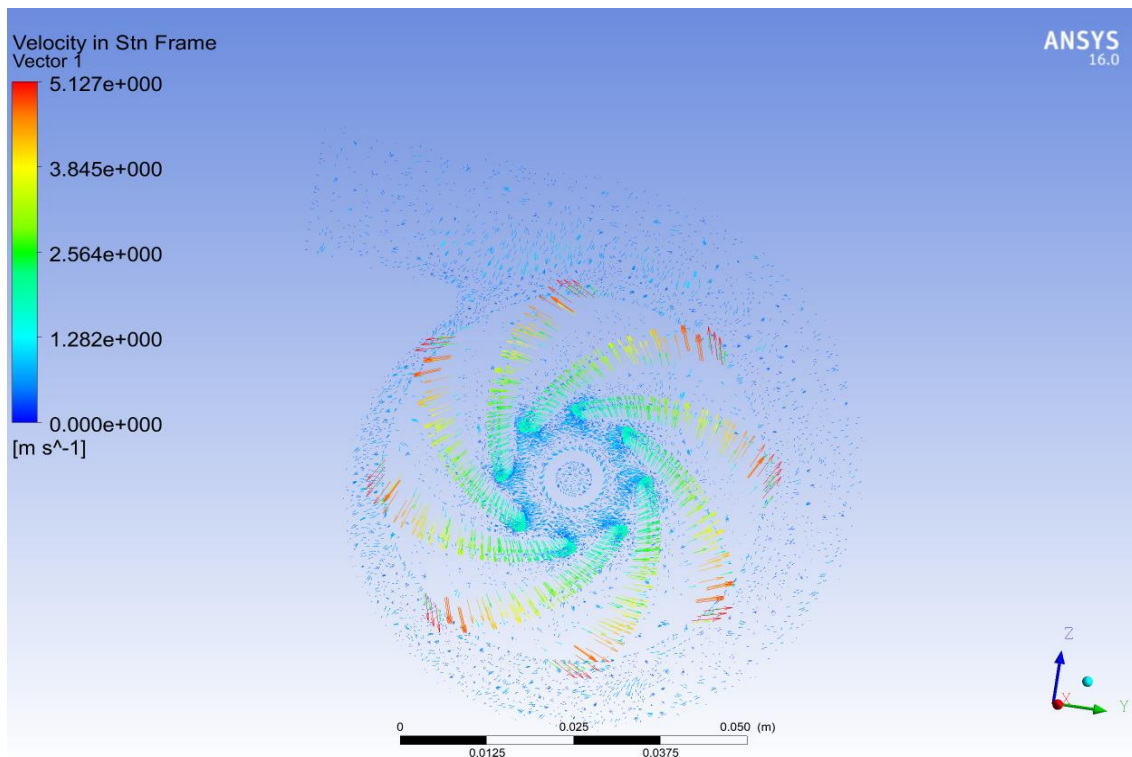


Figura 2: Imagem do campo de velocidades.



*Figura 3: Imagem com os vetores velocidades.*

As figuras 2 e 3 são referentes os resultados obtidos a distribuição de velocidade do no interior da bomba. A distribuição velocidade é um parâmetro chave em qualquer escoamento de fluido, para bombas ele representa o caminho de que o fluido percorre/percorrerá e qual sua trajetória. A figura 2 traz, detalhadamente, os valores de velocidade (módulo) e sua intensidade ao longo da bomba, já a figura 3 mostra a direção, isto é, de que forma as partículas de fluido estão movimentando e para onde irão. Lembrando que em uma bomba centrifuga, os maiores valores de velocidades estão na região do rotor, nesse trabalho na região *impeller\_zone*, que representa a parte de rotação da maquina. Vale ressaltar que esses são resultados preliminares, fase II do projeto esses resultados serão avaliados, analisados e comparados os valores obtidos com os dados da literatura.



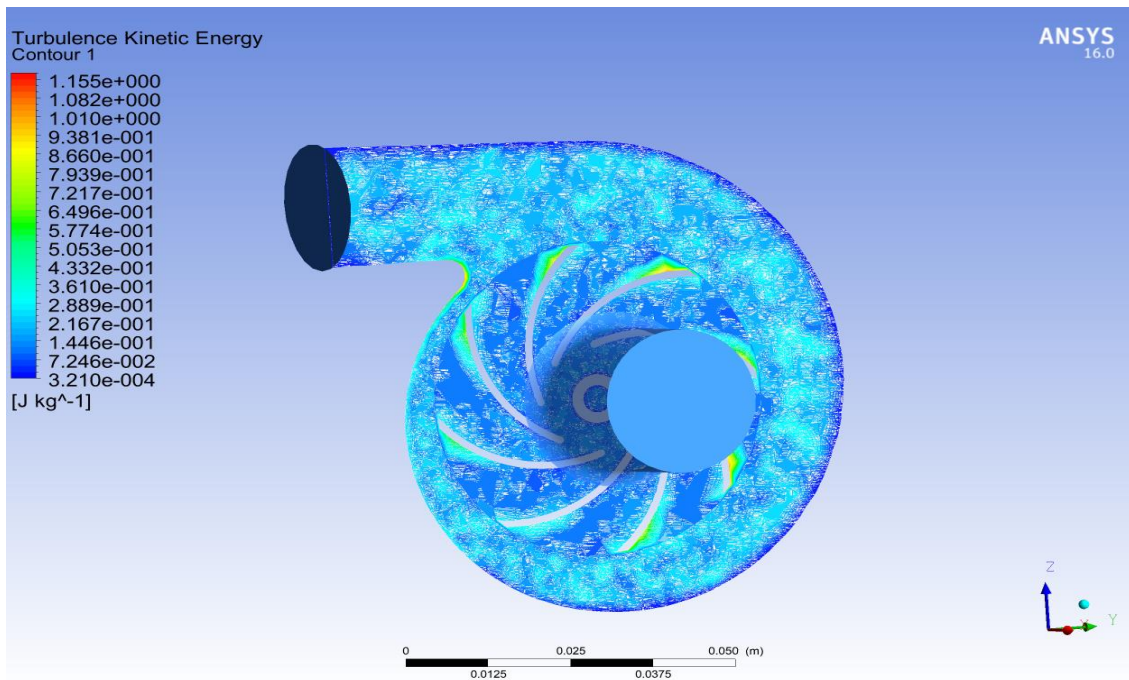
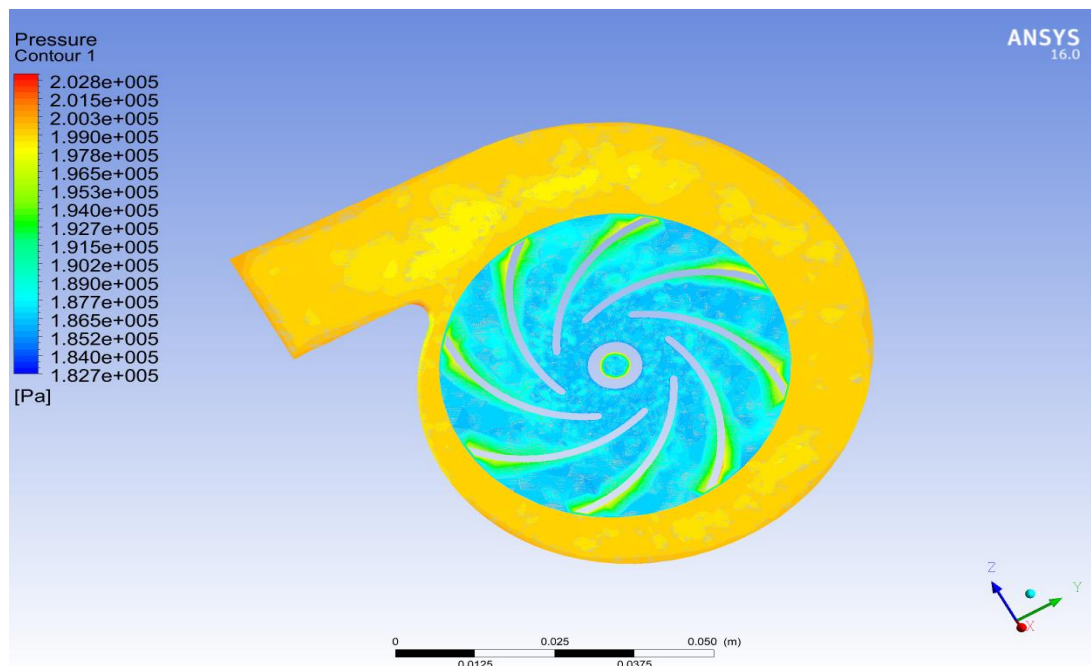


Figura 4: Imagem da distribuição de turbulência.

A figura 4 diz respeito a distribuição de energia cinética ao longo do escoamento. Toda porção de massa possui algum tipo de energia, quando essa massa ganha velocidade a energia é denominada de energia cinética, a figura 4 mostra a distribuição de energia da água no interior da bomba, é notável a relação de entre velocidade e energia cinética, com auxílio da figura 2 e 3 é perceptível que em zonas de maiores velocidades a energia cinética é maior.



*Figura 5: Imagem da distribuição de pressão durante o escoamento.*

A figura 5 mostra a distribuição de pressão no interior da bomba. A principal função de uma bomba é descolar fluido de um lugar para outro, por meio da diferença de pressão. Com os auxilio das figuras 2 e 3 é possível notar que, ao contrário da velocidade, os maiores valores de pressão foram encontrados na saída da bomba e os menores na região dos rotores. A distribuição de pressão também indicar possíveis áreas de cavitação, na fase II do projeto será estudado onde ocorre essas áreas e propor melhoramento na geometria para evita-las.

As figuras 2,3,4 e 5 foram geradas no subpacote de visualização CFD-Post, nele foi criado um plano na direção YZ e escolhido, respectivamente de acordo com as figuras, as propriedades para a análise.

Ao completar todas as iterações o valor da pressão na entrada foi de, aproximadamente, 182 kPa (182735 Pa) e na saída de 200 kPa, resultando na diferença de pressão de aproximadamente de 18kPa. Isso significa que a água se desloca devido a pressão de 18kPa. A quantidade de metros que o fluido foi descolado é chamado de altura elevação. Com base nos valores de pressão, a altura calculada foi de 1.39 metros.

Com a valor da altura de elevação foi possível calcular a potência de eixo, a potência hidráulica e a eficiência da bomba.

A potência de eixo é a potência necessária para o funcionamento/ acionamento da bomba, calculada no valor de 538.88 W.

A potência hidráulica é a potência fornecida ao fluido para que ele se locomova, calculada em 463.62 W.

E por fim a eficiência da bomba no valor de 86%.

Ao analisar os valores de potência nota-se que são valores considerados baixos, com isso a conclusão que se tirar é que a geometria utilizada trata-se de um protótipo de bomba centrifuga. Essa conclusão é corroborada com o valor calculado da eficiência e pela escala usada dos programas de visualização do Ansys, tomando a escala em metros, é notável que a geometria da bomba possui tamanho máximo de 5 centímetros.

## **6. PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS.**

*Bolsista: João Victor Rebelo Viana, Evento: IX seminário de iniciação científica, Jornada Acadêmica 2019 – Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA.*

## **7. PRINCIPAIS PROBLEMAS E DIFICULDADES PARA A REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES**

O principal problema enfrentado foi a falta de estrutura apresentada pela universidade. Falta de equipamentos para aquisição de medidas para medidas da geometria, isso resultou em uma busca de geometria mais genérica, falta de software CAD para a construção de geometria, a falta do software de modelagem e treinamento no seu ambiente de trabalho foram os maiores problemas. Além disso, o uso de DFC requer uma rede de computadores potentes, cluster, que a universidade não possui, e é uma grande perda para as aplicações de computação de alto desempenho, pois não só os estudos em DFC seriam beneficiados como outras áreas de conhecimento.

Se não fosse possível a parceria com a UFPA não seria possível realizar o plano de trabalho.

## **8. REFERÊNCIAS**

- [1] Anderson, J. D. Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications. 1. Ed. New York: Mcgraw-Hill, 1995.
- [2] Ferziger, J. H.; Péric, M. Computational Methods For Fluid Dynamics. 3 Ed. New York: Springer, 2002.
- [3] Fortuna, A. O. Técnicas Computacionais Para A Dinâmica Dos Fluidos. 2. Ed. São Paulo: Editora Da Universidade De São Paulo, 2012.
- [4] Fox, R. W.; Mcdonald, S. T. Introdução À Mecânica Dos Fluidos. 5. Ed. Rio De Janeiro: Ltc, 2014.
- [5] Kaushik, P. Simulation Study of Centrifugal Pump Perfomance With Variation Of Number Of Blades, Dissertação de Mestrado, Universidade Thapar, Patiala, Julho, 2014.
- [6] Maliska, C. R. Transferência De Calor E Mecânica Dos Fluidos Computacional. 2. Ed. Rio De Janeiro: Ltc, 2014.
- [7] Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer And Fluid Flow. Mc-Graw Hill. 197p. (Series In Computational Methods In Mechanics And Thermal Sciences).
- [8] Potter, M. C.; Wiggert, D. C. Mecânica Dos Fluidos. 1. Ed. São Paulo: Cengage Le-Arning, 2011.
- [9] Pfleiderer, C. E; Petermann, H., 1979, “Máquinas De Fluxo”, Ed. Livros Técnicos E Científicos Editora S.A. – Rio De Janeiro, Brasil.
- [10] Silva, L. J. S. Da. 1999. Cálculo Do Escoamento Potencial Em Grade De [9] Turbomáquinas Utilizando O Método De Elementos Finitos. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Mecânica – Área De Energia). Universidade Federal Do Pará, Belém, 87p.
- [11] Van-Els, R. H.; De Souza Vianna, J. N.; Brasil Junior, A. C. P. The Brazilian Experience Of Rural Electrification In The Amazon With Decentralized Generation The Need To Change The

Paradigm From Electrification To Development. Renewable & Sustainable Energy Reviews, V. 16, P. 14501461, 2012.

[12] Maitelli, C. W. S. P. 2010. Simulação Do Escoamento Monofásico Em Um Estágio De Uma Bomba Centrífuga Utilizando Técnicas De Fluidodinâmica Computacional. Tese De Doutorado, Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, 182f.

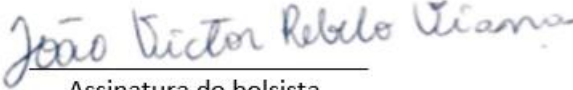
## 9. ANEXOS

## 10. PARECER DO ORIENTADOR

Diante do que foi exposto e dos resultados obtidos considero o trabalho com os objetivos alcançados. O bolsista mostrou-se preparado para desenvolver a fase II do projeto e alcançar os objetivos finais da pesquisa. Embora a Universidade necessite melhorar muito a infraestrutura dos laboratórios, principalmente do Laboratório de Modelagem Computacional, com um espaço inadequado e sem os programas necessários o bolsista foi extremamente assíduo, responsável e aplicado nas atividades. Portanto, considero o plano de trabalho do bolsista aprovado.

Santarém – Pará, 30 de agosto de 2019

  
Assinatura do orientador

  
Assinatura do bolsista