



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**

MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO E LASER DOPPLER ANEMOMETRY

**Campus Joinville
2019**

APRESENTAÇÃO

O túnel de vento experimental, o Laser Doppler Anemometry e seu conjunto de equipamentos presentes nessa instituição têm o propósito de atender as demandas das atividades pedagógicas docentes, discentes e das comunidades interna e externa do campus Joinville, nas áreas de ensino, pesquisa e extensão.

O Laser Doppler Anemometry opera segundo as técnicas de Anemometria a Laser Doppler (LDA), método utilizado para medir velocidades de fluxos, ou, de maneira mais precisa, de pequenas partículas em fluxos. Nesse sentido, o fluxo de ar gerado dentro do túnel de vento é semeado com pequenas e leves partículas de vaselina líquida, que são iluminadas com uma frequência de luz conhecida, proveniente do laser. Essas partículas dispersam a luz, que passa a oscilar com uma frequência específica, diretamente relacionada com a velocidade dessas partículas.

Além disso, a técnica é não-intrusiva, ou seja, não há necessidade de contato físico com o fluido. Assim, não são geradas perturbações no fluxo e o método pode ser diversamente aplicado.

Este manual tem o objetivo de explicar o funcionamento dos equipamentos, bem como conectá-los e conservá-los.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gerador de partículas	1
Figura 2: Pisseta para inserção de vaselina	2
Figura 3: Abertura para sucção de ar	3
Figura 4: Protetor Auricular do tipo concha	3
Figura 5: Máscara Semi-Facial com filtro	4
Figura 6: Máscara respirador sem válvula.....	4
Figura 7: Óculos protetor fornecido pela Dantec Dynamics.....	4
Figura 8: Conexões que precisam ser respeitadas para o correto funcionamento dos equipamentos	5
Figura 9: Laser Flow Explorer e auxiliar	6
Figura 10: Entradas e saídas utilizadas na parte traseira do Flow Explorer	6
Figura 11: Entradas e saídas utilizadas, respectivamente, nas partes traseira e frontal do Auxiliar	7
Figura 12: Sistema da Travessa	7
Figura 13: Equipamento ISEL	8
Figura 14: Saídas utilizadas na parte traseira do ISEL.....	8
Figura 15: Padrão de conexão dos eixos da Travessa que deve ser respeitados	9
Figura 16: BSA	9
Figura 17: Entradas e saídas utilizadas, respectivamente, nas partes frontal e traseira do BSA...	10
Figura 18: Entradas e saídas utilizadas, respectivamente, nas partes traseira e frontal do gabinete do computador.....	10
Figura 19: Recursos dentro do Device List.....	11
Figura 20: Propriedades do Group 1	11
Figura 21: Propriedades do LDA 1	12
Figura 22: Sequência de acionamento dos equipamentos: BSA e travessa, ligar o computador, inserir o pen-drive antes de abrir o software e só ligar o laser antes de iniciar o teste	13
Figura 23: Ícone do software presente na Área de Trabalho.....	13
Figura 24: Opções de projeto.....	14
Figura 25: Conectando os sistemas.....	14
Figura 26: Acessando o controle dos eixos da Travessa	15
Figura 27: Inserindo uma nova região de pontos que serão analisados pelo laser.....	15
Figura 28: Exemplo de alteração da posição do laser	16
Figura 29: Válvula de ar comprimido e Tambor para ajuste de Pressão	16
Figura 30: Gerador de partículas	17
Figura 31: Papel em destaque indicando a direção de rotação	17
Figura 32: Iniciando a medição de dados.....	18
Figura 33: Dados em tempo real do experimento.....	18
Figura 34: Feixe de luz atingindo modelo de terreno.....	18

SUMÁRIO

1 CONSERVAÇÃO E LIMPEZA DOS EQUIPAMENTOS	1
1.1 TÚNEL DE VENTO	1
1.2 GERADOR DE PARTÍCULAS	1
1.3 OUTROS COMPONENTES	2
2 SEGURANÇA ANTES E DURANTE EXPERIMENTOS	2
2.1 SEGURANÇA GERAL	2
2.2 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO	3
3 CABOS E CONEXÕES ENTRE EQUIPAMENTOS	5
4 CONFIGURAÇÕES DENTRO DO BSA FLOW SOFTWARE	10
5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	12
5.1 MONITORANDO O EXPERIMENTO	18
5.2 ENCERRANDO O EXPERIMENTO	19
6 REFERÊNCIAS	20

1 CONSERVAÇÃO E LIMPEZA DOS EQUIPAMENTOS

1.1 TÚNEL DE VENTO

Devido à vaselina que percorre o túnel durante os experimentos, ela acaba se acumulando ao longo de sua superfície e paredes de vidro, o que pode interferir na leitura do laser. Portanto,

- Com o lado amarelo da esponja, limpar a superfície e o vidro (por dentro e por fora) com água e sabão e secar com papel toalha ou uma toalha macia que não risque o acrílico **(P)**
- Limpar o chão aos arredores (vaselina, sujeira e objetos) para descartar o risco de algo adentrar o túnel durante um experimento **(S)**
- Limpar e secar a superfície da parte de baixo da seção de teste, a fim de se deixar a superfície limpa e mais aderente para a fita **(S)**

(P) Periodicamente **(S)** Sempre antes de realizar um novo experimento

1.2 GERADOR DE PARTÍCULAS

Para o bom funcionamento do equipamento e dos experimentos, é importante o monitoramento frequente da quantidade de vaselina disponível dentro do gerador de partículas, sendo que o ideal é em torno de 2 Litros. Assim, retire uma das mangueiras que estão conectadas e ilumine o interior do gerador, através da abertura, para a visualização do nível de vaselina.

Se mais vaselina for necessária, deve-se, primeiro, medir a quantidade desejada na pisseta graduada e, em seguida, despejá-la no gerador através da abertura.



Figura 1: Gerador de partículas



Figura 2: Pisseta para inserção de vaselina

Periodicamente, deve-se abrir e limpar o gerador de partículas (bicos e parte interna) para que o acúmulo de sujeira interna não prejudique a geração de partículas. Quando for realizada esta limpeza, utilizar luvas e papel toalha para secar as partes. Limpar também as mangueiras que são conectadas ao túnel e secá-las com ar comprimido.

1.3 OUTROS COMPONENTES

Limpar com pano seco apenas para evitar acúmulo de poeira e degradação. Além disso, é importante verificar periodicamente se a travessa ou o laser não estão com pontos de umidade visíveis e limpar com um pano seco se assim for necessário.

2 SEGURANÇA ANTES E DURANTE EXPERIMENTOS

2.1 SEGURANÇA GERAL

O túnel possui uma entrada para sucção de ar que, apesar de uma tela de proteção, pode apresentar perigo.



Figura 3: Abertura para sucção de ar

Para segurança dos operadores, durante um experimento:

- Não se aproximar com cabelos longos, estejam eles soltos ou presos
- Não se aproximar com objetos que possam ultrapassar a grade de proteção
- Retirar qualquer objeto que possa obstruir a sucção de ar de perto da área

2.2 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO

Protetor Auricular: Equipamento de proteção individual que serve para abafar ruídos e proteger a audição. Deve ser utilizado sempre durante os experimentos devido ao grande ruído provocado. Segue exemplo de protetor que deve ser utilizado:



Figura 4: Protetor Auricular do tipo concha

Equipamento de proteção respiratória: Respirador ou máscara que protege o usuário contra a inalação de contaminantes gerados por agentes químicos no ar. Deve ser

utilizado sempre durante os experimentos devido ao particulado de vaselina no ar. Seguem exemplos que respiradores que podem ser utilizados:



Figura 5: Máscara Semi-Facial com filtro



Figura 6: Máscara respirador sem válvula

Óculos de Proteção: Óculos de proteção contra os raios do laser. Utilizá-lo sempre que algum procedimento próximo ao laser for realizado. Segue exemplo do equipamento fornecido pela fabricante do laser e que está presente no laboratório:



Figura 7: Óculos protetor fornecido pela Dantec Dynamics

3 CABOS E CONEXÕES ENTRE EQUIPAMENTOS

Devido ao elevado número de conexões, para facilitar o entendimento e garantir o correto funcionamento, cada entrada e saída de um equipamento ou conjunto de equipamentos será numerada:

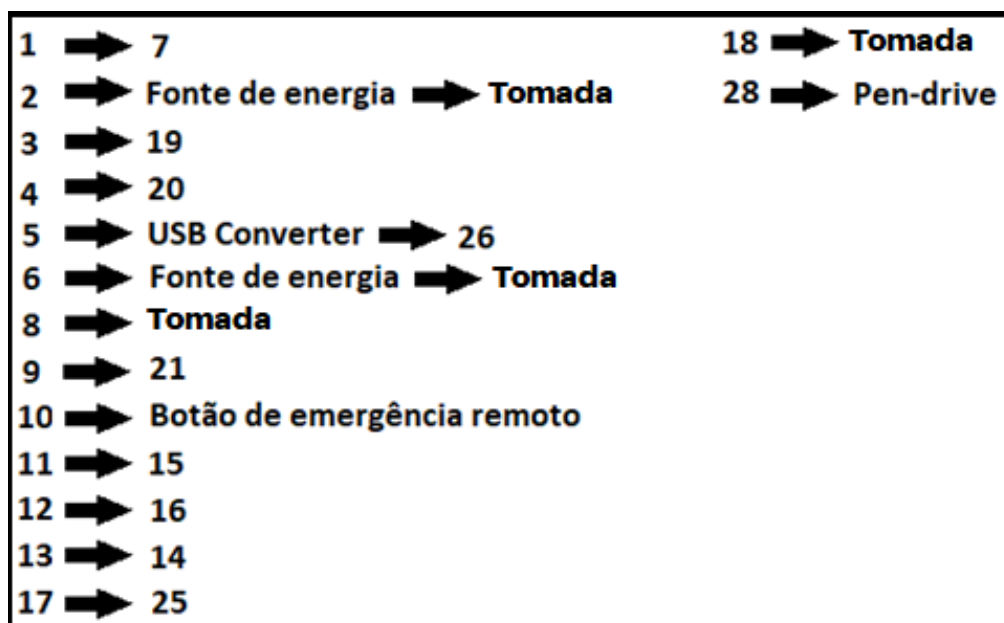


Figura 8: Conexões que precisam ser respeitadas para o correto funcionamento dos equipamentos

Flow Explorer e Auxiliar 1: composto pelo laser de medição e acessório auxiliar que conecta o equipamento à alimentação, saída de dados para computador e possui uma chave liga/desliga temporária para a saída de luz no laser.

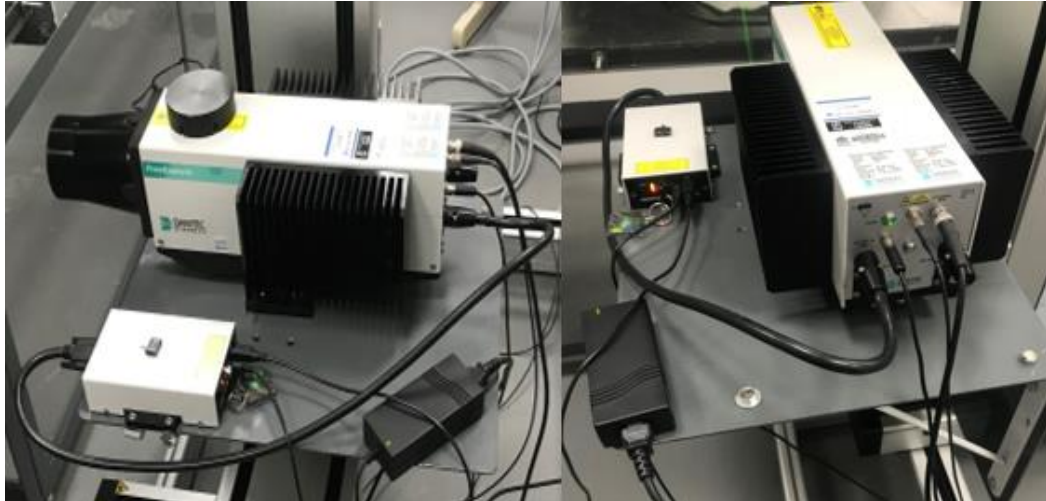


Figura 9: Laser Flow Explorer e auxiliar

As entradas e saídas utilizadas são:

- Flow Explorer

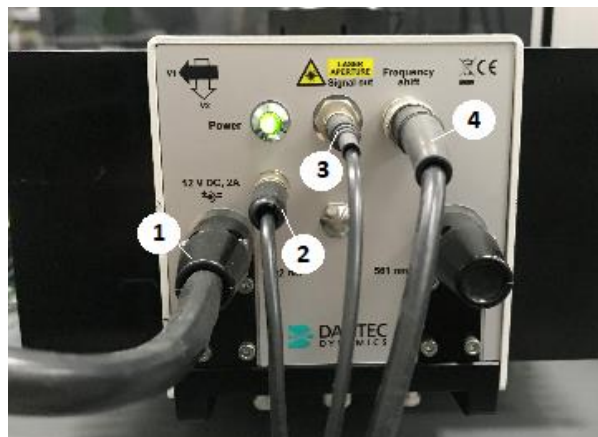


Figura 10: Entradas e saídas utilizadas na parte traseira do Flow Explorer

- Auxiliar 1

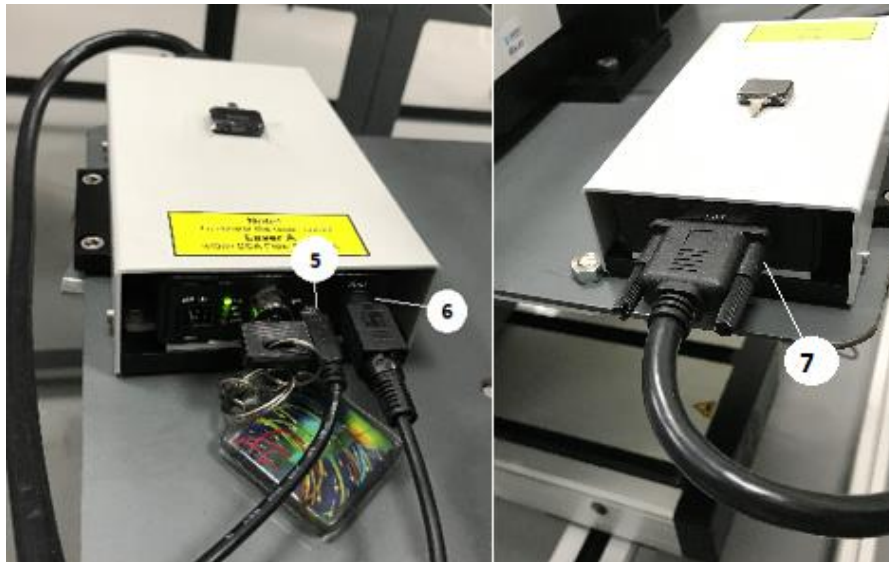


Figura 11: Entradas e saídas utilizadas, respectivamente, nas partes traseira e frontal do Auxiliar

Travessa e Caixa ISEL: composto por uma travessa que controla a movimentação do laser nos eixos X,Y e Z, através de uma caixa vermelha ISEL (semelhante a um gabinete de computador) que está conectado ao computador e, além disso, contém 2 botões de emergência, sendo que um deles é remoto.



Figura 12: Sistema da Travessa



Figura 13: Equipamento ISEL

Obs.: o equipamento em vermelho possui uma chave que precisa estar na posição AUTO durante um experimento.

As entradas e saídas utilizadas são:

- Caixa Isel

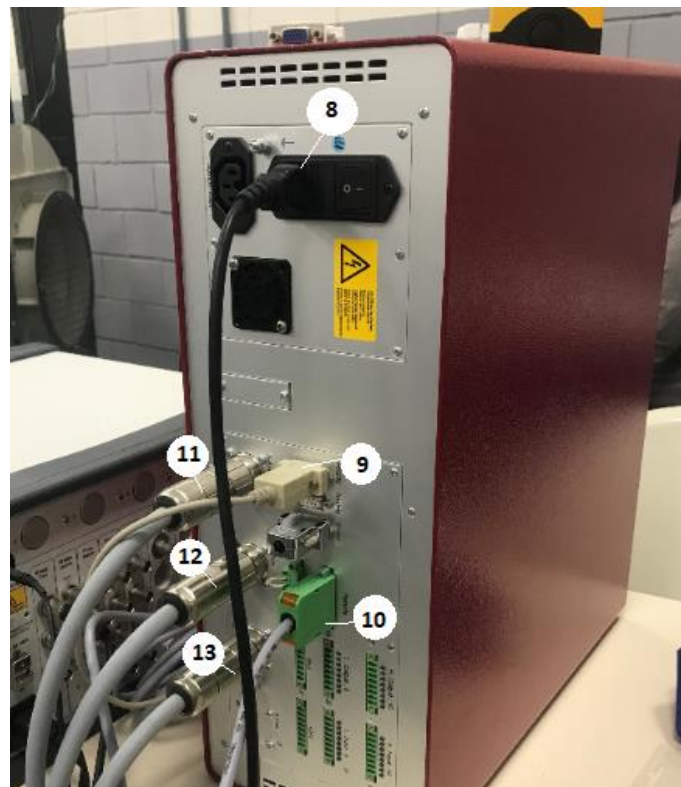


Figura 14: Saídas utilizadas na parte traseira do ISEL

- Travessa

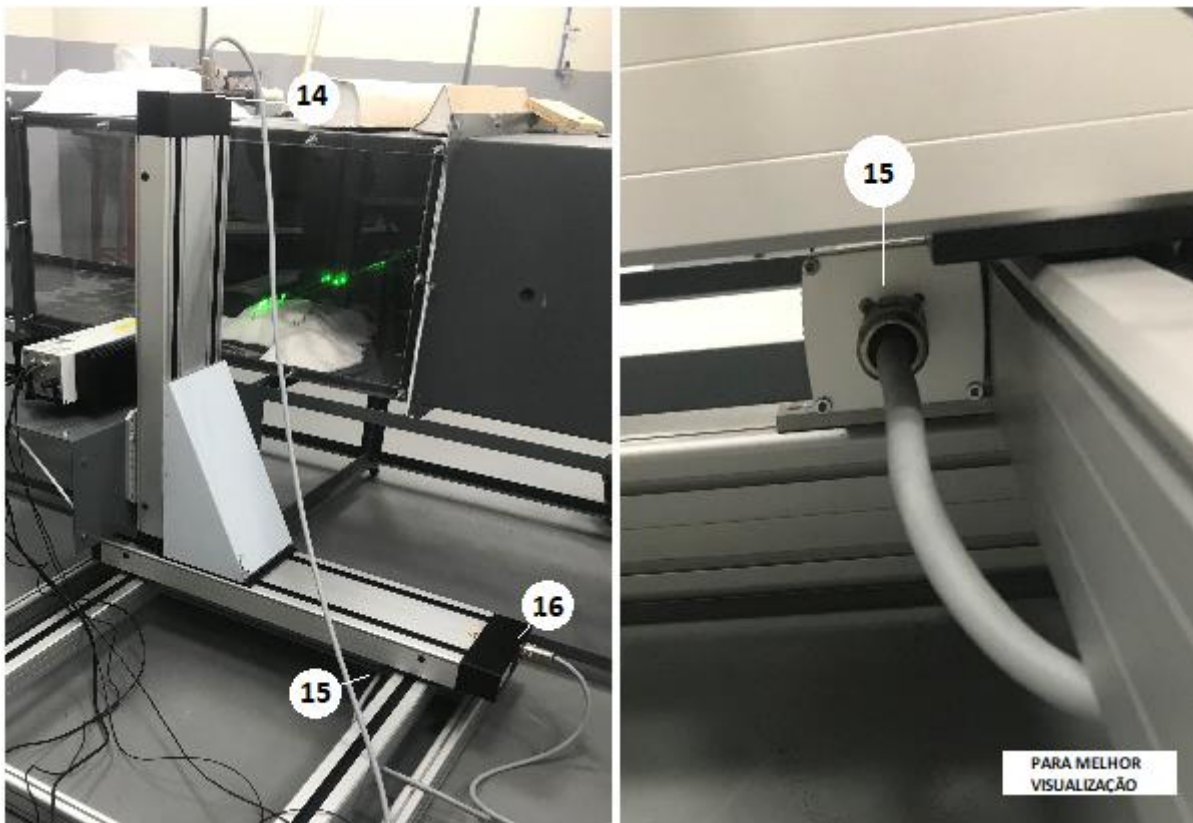


Figura 15: Padrão de conexão dos eixos da Travessa que deve ser respeitados

BURST SPECTRUM ANALYSER (BSA): processador de sinal para sistemas LDA E PDA.



Figura 16: BSA

As entradas e saídas utilizadas são:

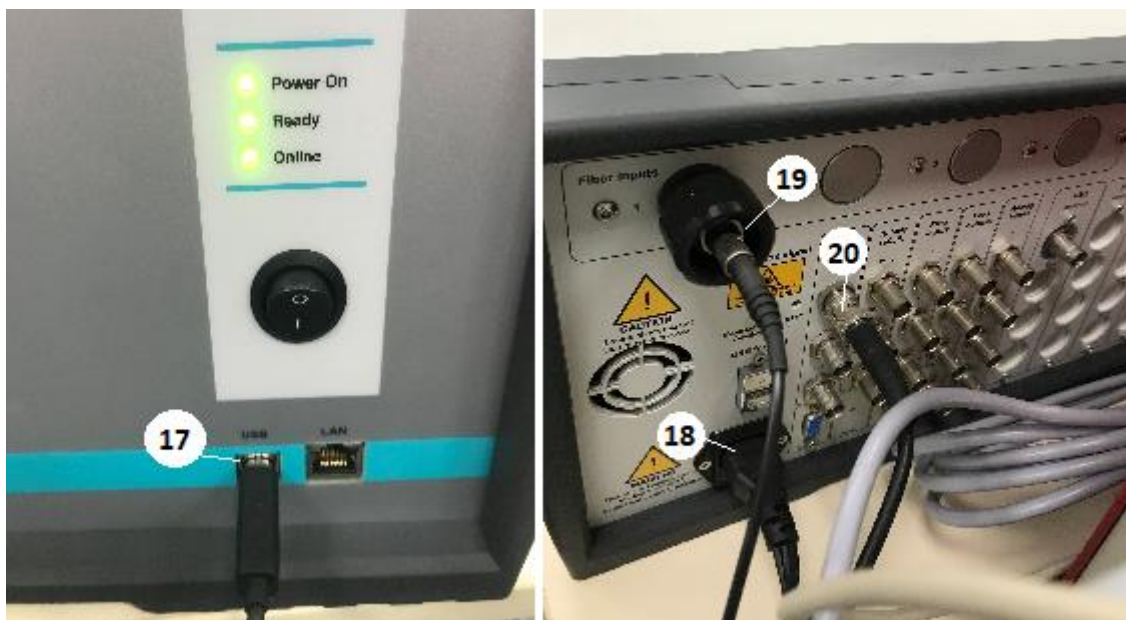


Figura 17: Entradas e saídas utilizadas, respectivamente, nas partes frontal e traseira do BSA

COMPUTADOR: equipamento que abriga o BSA Flow Software, esse que possibilita a captação, visualização e tratamento dos dados adquiridos através do laser.

As entradas e saídas utilizadas em seu gabinete são:

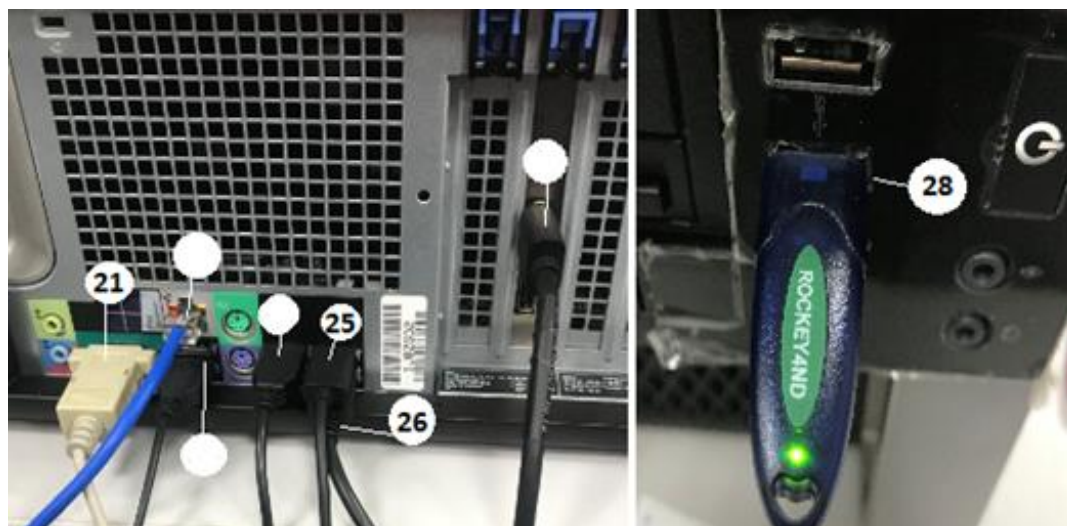


Figura 18: Entradas e saídas utilizadas, respectivamente, nas partes traseira e frontal do gabinete do computador

Obs.: o pen-drive Rockey4nd identificado na entrada 28 é um dispositivo de proteção para o software instalado no computador. Por isso, ele deve estar sempre conectado quando se for iniciar o software BSA.

4 CONFIGURAÇÕES DENTRO DO BSA FLOW SOFTWARE

Insira o pen-drive, abra um programa anteriormente montado ou crie um programa para, então, ser possível modificar as configurações. A seguir, clicando no ícone BSA F/P

Application, uma lista de dispositivos (Device List) é exibida. Clique no ícone desejado para exibir as propriedades no canto inferior esquerdo da tela. Algumas das propriedades desses recursos necessitam de ajustes dependendo do experimento a ser feito e outras deverão permanecer com as configurações impostas pelo fabricante.

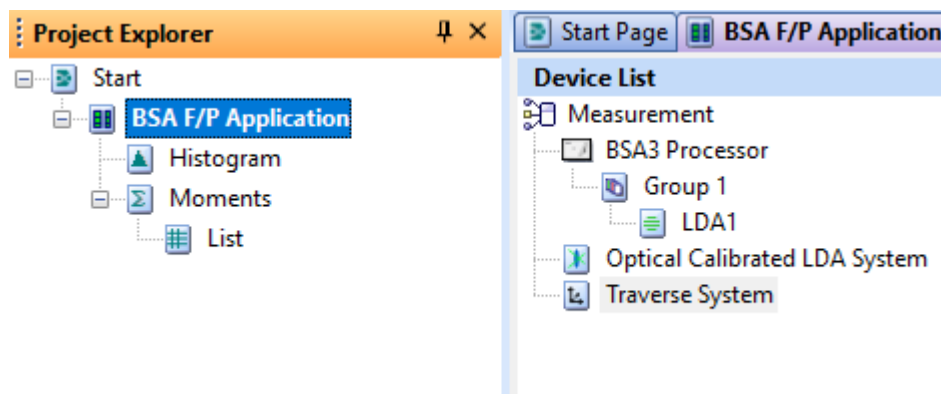


Figura 19: Recursos dentro do Device List

As propriedades a serem ajustadas estão listadas abaixo:

Group 1:

- **Max. Samples (Número máximo de dados adquiridos em cada ponto):** ajustável a cada experimento
- **Max. Acquisition time (Tempo máximo de aquisição de dados em cada ponto):** ajustável a cada experimento
- **Method:** não ajustável, pois o tipo de laser e experimento realizados tornam o método sempre o mesmo

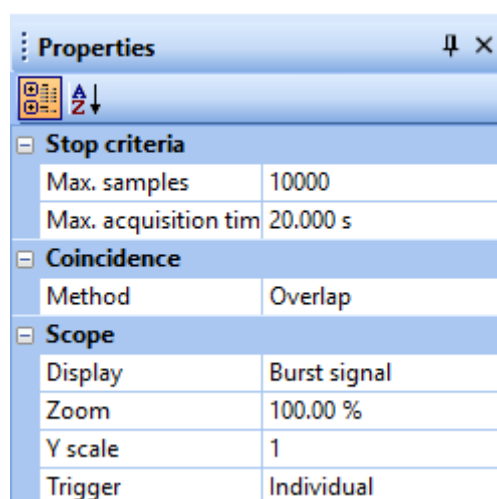
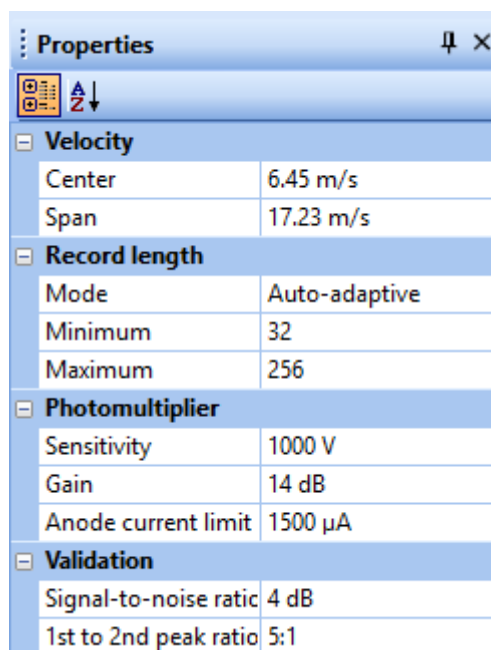


Figura 20: Propriedades do Group 1

LDA 1:

- **Center e Span:** dependem da velocidade do experimento que se está medindo dentro do túnel. Consulte o manual do fabricante para obter informações aprofundadas.



Properties	
<div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div>A</div> <div>Z</div> <div>↓</div> </div> </div>	
Velocity	
Center	6.45 m/s
Span	17.23 m/s
Record length	
Mode	Auto-adaptive
Minimum	32
Maximum	256
Photomultiplier	
Sensitivity	1000 V
Gain	14 dB
Anode current limit	1500 μ A
Validation	
Signal-to-noise ratio	4 dB
1st to 2nd peak ratio	5:1

Figura 21: Propriedades do LDA 1

Optical Calibrated LDA System: apenas se a lente do laser for substituída (para cada lente há, automaticamente, um arquivo de calibração e é recomendável conferir se estes estão corretos).

5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A. Ligar os equipamentos na sequência:



Figura 22: Sequência de acionamento dos equipamentos: BSA e travessa, ligar o computador, inserir o pendrive antes de abrir o software e só ligar o laser antes de iniciar o teste

Obs.: os equipamentos estarão em pleno funcionamento quando todas as luzes indicadoras estiverem verdes e estabilizadas.

B. No computador, clicar no ícone BSA Flow Software.

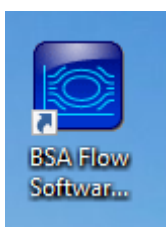


Figura 23: Ícone do software presente na Área de Trabalho

C. Na página inicial, criar um novo projeto ou abrir um já existente. Além disso, é possível selecionar o tipo de Template que melhor atende o experimento em questão. Para conhecer o que cada opção oferece, leia o manual do fabricante do equipamento que está presente no laboratório e/ou o arquivo BSA Flow Software Users Guide.

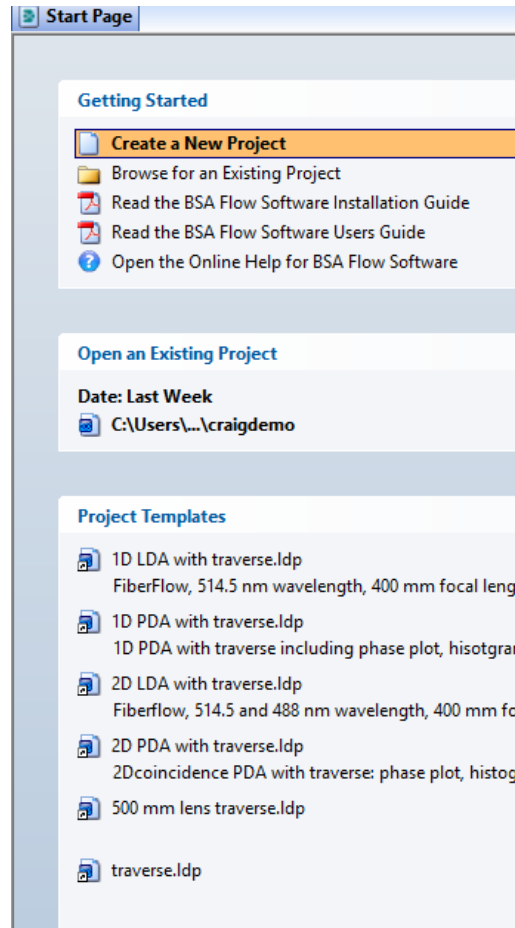


Figura 24: Opções de projeto

D. Depois de aberto o programa desejado, com o botão direito, clicar em: Measurement
→ Connect All

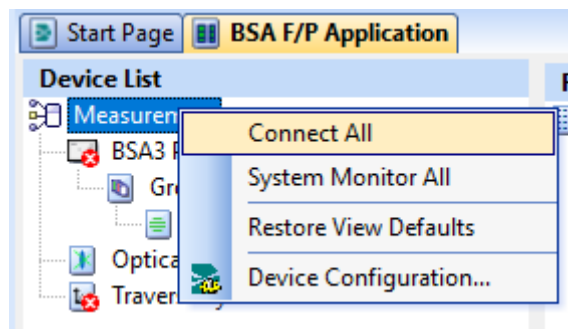


Figura 25: Conectando os sistemas

E. Clicar em: Traverse System → Traverse Controller → Move to Home Switch para que a travessa possa ir para o ponto zero da máquina e começar a responder aos comandos de movimentação.

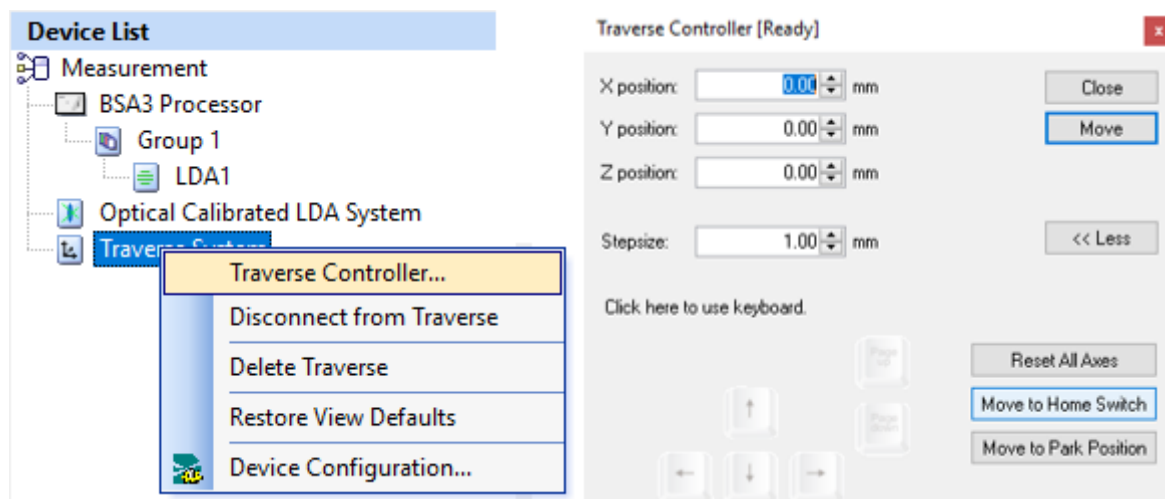


Figura 26: Acessando o controle dos eixos da Travessa

F. Se já se sabe onde colocar o experimento dentro do túnel, prenda-o em sua superfície de maneira a mantê-lo firme, mas sem interferir ou interferir o mínimo possível no escoamento durante a passagem de ar. Um exemplo de material possível a se utilizar é a fita durex, que deve ser colada evitando-se a entrada de bolhas e ar, justamente para sua rugosidade não interferir no experimento. Por outro lado, caso queira saber qual o melhor ponto para fixá-lo, mova o laser sobre a região que se tem em mente e verifique se todos os pontos desejados são atingidos.

G. Criar uma lista clicando com o botão direito em Region → Insert Region. O programa deve conter as coordenadas x, y e z dos pontos que o laser percorrerá, cujos respectivos dados serão extraídos.

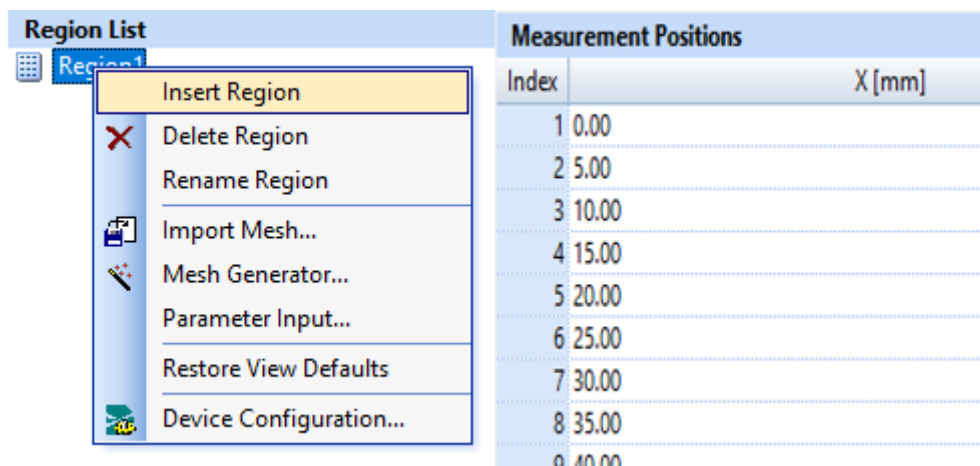


Figura 27: Inserindo uma nova região de pontos que serão analisados pelo laser

Obs.: a montagem da lista pode ser auxiliada pela visualização direta e em tempo real da posição do laser. Para acessar e alterar as coordenadas do laser, clicar em: Traverse System → Traverse Controller. Após aberta a janela, inserir as coordenadas x,y e z desejadas e clicar em Move para ver se está de acordo com o que se deseja.

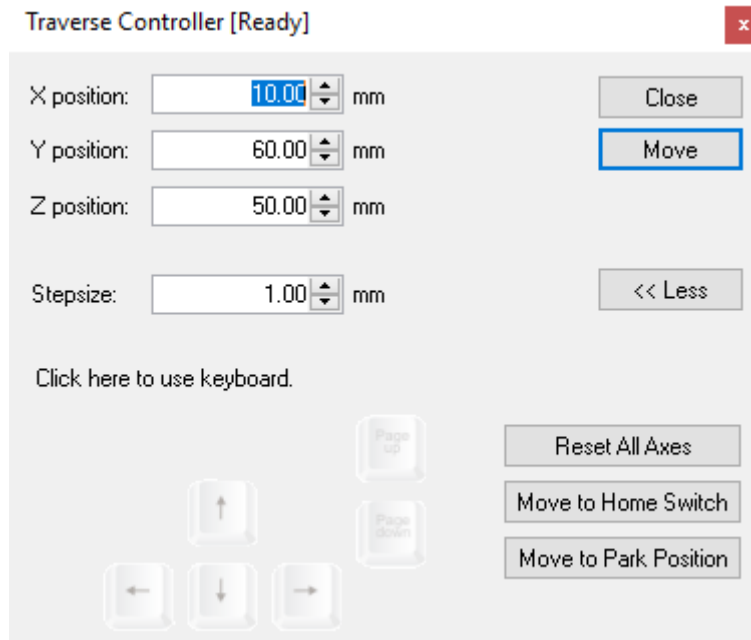


Figura 28: Exemplo de alteração da posição do laser

H. Com a lista devidamente criada e configurada, colocar os equipamentos de proteção.

I. Abrir a válvula azul para liberar a saída de ar comprimido. Logo após levantar o tambor preto e girá-lo para ajustar a pressão de saída do ar. A pressão ideal sugerida é 4 bar.



Figura 29: Válvula de ar comprimido e Tambor para ajuste de Pressão

J. Ajustar a pressão do gerador de partículas. A pressão ideal sugerida é 2 bar.



Figura 30: Gerador de partículas

K. Ajustar a rotação do inversor de frequência para a velocidade que se deseja no experimento e iniciar a saída de vento no túnel pressionando o botão verde (I).

Obs. 1: o valor da velocidade em rpm indicada dependerá do experimento realizado.

Obs. 2: a direção de rotação precisa ser a indicada no papel colado na superfície do inversor, pois, caso contrário, o túnel irá sugar o ar ao invés de soprá-lo.



Figura 31: Papel em destaque indicando a direção de rotação

L. Selecionar o ícone BSA F/P Application e clicar em Run

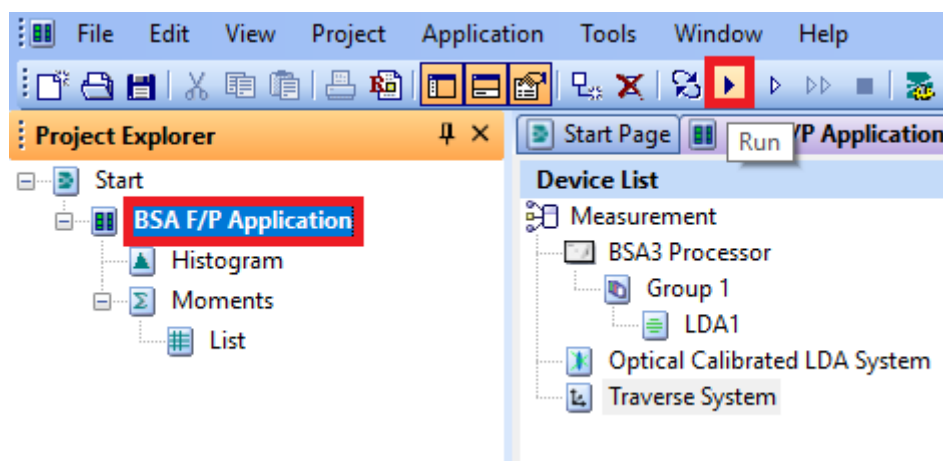


Figura 32: Iniciando a medição de dados

5.1 MONITORANDO O EXPERIMENTO

Dentro da aba “List” estão os dados captados ponto a ponto. A imagem a seguir mostra algumas das ferramentas exibidas.

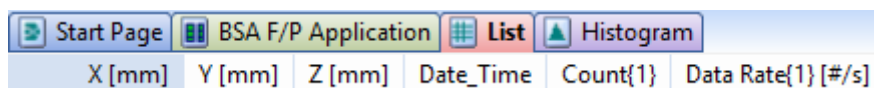


Figura 33: Dados em tempo real do experimento

Para garantir a confiabilidade das medições feitas com o laser, que é baseado na distribuição probabilística T de Student, o parâmetro “Data Rate”, que representa a taxa de aquisição de dados por ponto, deve apresentar uma taxa de, pelo menos, 50 dados por segundo. Além disso, deve-se garantir que validação do ponto seja superior a 95%, através do campo “Validation”.

Todavia, os pontos em que o laser não consegue medir um número considerável de pontos precisam ser analisados e estudados caso a caso. A título de exemplo, se o feixe de luz atingir alguma parte sólida do modelo estudado dentro do túnel de vento, nenhum dado de velocidade será extraído, pois o sólido não se mexe.



Figura 34: Feixe de luz atingindo modelo de terreno

5.2 ENCERRANDO O EXPERIMENTO

A. O BSA, após ler todos os pontos para o qual foi programado, se encerra sozinho. Dessa forma, não faça nada até o programa ser totalmente executado. A menos que algo maior e não previsto seja observado nas medições, não clique em “Stop” antes do final da execução do programa.

B. Clicar com o botão direito em List → Export para salvar os dados obtidos durante o experimento

C. Pressionar o botão “O”, em vermelho, do inversor de frequência para interromper o fluxo de vento no túnel

D. No gerador de partículas, girar o tambor até a pressão cair a zero.

E. Na saída de ar comprimido, girar primeiro o tambor preto até a pressão cair a zero e, em seguida, fechar a válvula azul para cessar a saída de ar comprimido

6 REFERÊNCIAS

- [1] Laser Doppler Anemometry [LDA]. Disponível em: https://web.mit.edu/fluids-modules/www/exper_techniques/LDA.text.pdf. Acesso em: 18/08/2019
- [2] Laser Doppler Anemometry. Disponível em: <http://www.nat.vu.nl/environmentalphysics/REAL%20Experiments/LDA%20exp/LDA.html>. Acesso em: 18/08/2019
- [3] Laser Doppler Anemometry. Disponível em: <https://www.dantecdynamics.com/laser-doppler-anemometry>. Acesso em: 18/08/2019