

5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O nosso objetivo é avaliar o desempenho dos dispositivos optoeletrônicos LED e fotodetectores como sensores de medição da variação da concentração de poluentes particulados atmosféricos. Com este propósito fizeram-se as seguintes atividades:

- Selecionaram-se os emissores e detectores ópticos (LED e fotodetectores).
- Formaram-se e avaliaram-se os Pares Emissores-Detectores, Pares E-D.
- Construiu-se um circuito com os Pares E-D e construiu-se uma maquete que foi instrumentada com estes Pares E-D.
- Desenvolveu-se um programa de aquisição de dados no software LabVIEW.
- Simulou-se uma contaminação ambiental jogando fumaça sobre a maquete instrumentada.

5.1. Seleção dos emissores e detectores ópticos.

Escolheram-se os emissores e fotodetectores considerando-se as especificações individuais fornecidas pelo fabricante.

Como emissor de luz foi selecionado o LED: L-1060SRC, Super Bright da Multicomp com as seguintes características:

- Comprimento de onda: 700nm (cor vermelha)
- Tempo de resposta: na ordem de nanosegundos.
- Intensidade luminosa: 500mcd
- Ângulo da luz emitida: 30°
- Tamanho: 1,8mm

Selecionou-se este LED por estar dentro do range da luz visível e assim ficou mais demonstrativo nas experiências. O LED apresentou maior intensidade luminosa e baixo custo em relação aos outros.

No referente ao dispositivo fotodetector, escolheram-se quatro dispositivos fotodetectores diferentes:

- **Fotodetector 1:** Fotodiodo de silício Monolítico com amplificador operacional. (TSL250).
- **Fotodetector 2:** Fototransistor de silício NPN (OP505D).
- **Fotodetector 3:** Fototransistor NPN de silício (BPW85B).
- **Fotodetector 4:** Fototransistor NPN de silício (BPW85C).

Para a seleção dos fotodetectores foram considerados os seguintes parâmetros:

- As respostas espectrais dos fotodetectores. Eles abrangem o comprimento de onda (700nm) correspondente à luz emitida pelo LED utilizado.
- O tempo de resposta, na ordem de microsegundos.
- Tamanho.

As especificações fornecidas pelos fabricantes do LED e dos fotodetectores encontram-se nos seguintes endereços eletrônicos:

Fotodetector 1 (TSL 250): <http://www.farnell.com/datasheets/17050.pdf>

Fotodetector 2 (OP505D): <http://www.farnell.com/datasheets/24082.pdf>

Fotodetector 3 (BPW85B): <http://www.farnell.com/datasheets/5305.pdf>

Fotodetector 4 (BPW85C): <http://www.farnell.com/datasheets/5305.pdf>

5.2. Formação dos Pares E-D.

A formação dos Pares E-D apresenta-se na tabela 4:

Tabela 4- Pares Emissores-Detectores formados.

PARES E-D	EMISSOR	DETECTOR
Par E-D 1	LED L-1060SRC	Fotodiodo TSL250
Par E-D 2	LED L-1060SRC	Fototransistor OP505D
Par E-D 3	LED L-1060SRC	Fototransistor BPW85B
Par E-D 4	LED L-1060SRC	Fototransistor BPW85C

Os Pares E-D foram dispostos em uma placa metálica como se observa na figura 20. O circuito foi montado numa placa Protoboard.

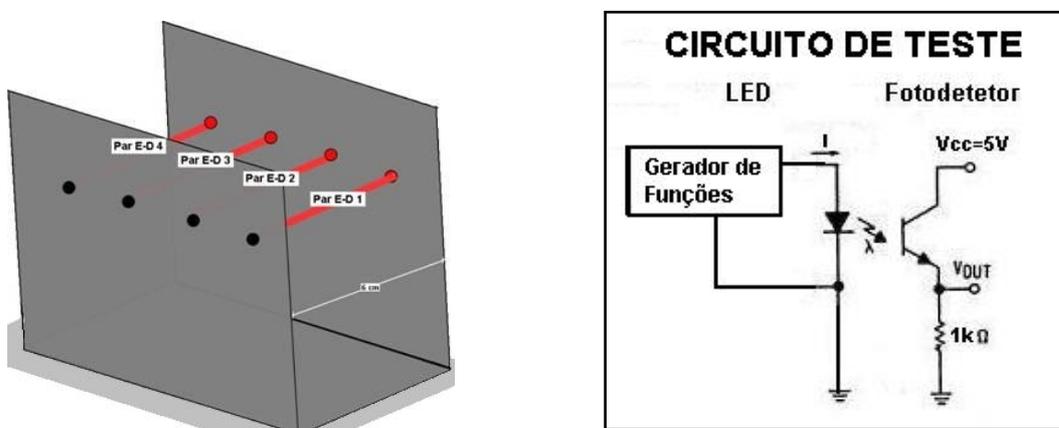


Figura 20- Circuito dos Pares Emissores – Detectores.

5.3. Avaliação dos Pares E-D

Os Pares E-D foram avaliados individualmente para evitar interferências de luz entre eles, e os testes realizaram-se em ambiente completamente escuro para evitar interferências da luz do ambiente. Os testes foram feitos a 20 e 25°C segundo especificações do fabricante.

5.3.1. Avaliação do tempo de resposta dos Pares E-D

Consideramos como parâmetro importante o tempo de resposta devido ao nosso interesse em avaliar o desempenho dos emissores e detectores ópticos como sensores da variação da concentração dos poluentes particulados atmosféricos em relação ao tempo.

Utilizando o gerador de funções, gerou-se um trem de pulso de onda quadrada de 100Hz para excitar o LED, o que fez o papel de switch para acender e apagar o LED e desta forma mediu-se o tempo que demora o fotodetector em responder aos sinais emitidos pelo LED.

Entenda-se como Tempo de Resposta, ao tempo que demora o fotodetector em responder a uma excitação no LED, e Constante de Tempo é o tempo que demora o fotodetector em responder até alcançar o 63,2% do sinal total.

As medições foram feitas em um ambiente completamente escuro para evitar interferências externas de luz.

Repetiram-se as medições para 20, 25 e 30°C, com o objetivo de garantir a estabilidade dos componentes nesta faixa de temperatura, porque desta será a faixa de trabalho dentro do túnel de vento na continuação do projeto.

Segundo o tempo de resposta selecionaram-se o Par E-D 2 e o Par E-D 4. Eles apresentaram o menor tempo de resposta (11 e 16 μ s respectivamente, para o sinal de elevação do sinal e de 16 e 16 μ s respectivamente, para sinal de queda do sinal).

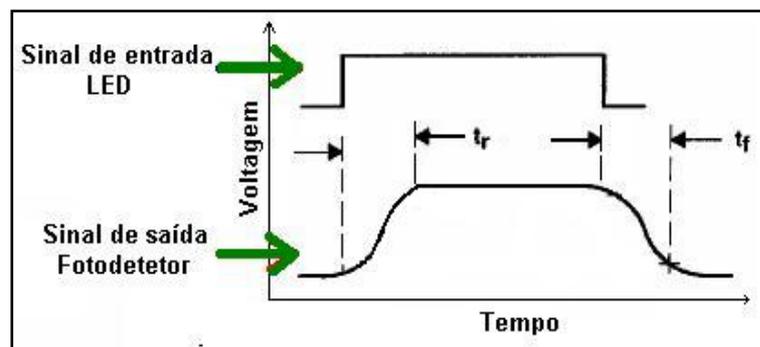


Figura 21- Sinal do LED e sinal de resposta do Fotodetector.

5.3.2. Equipamento utilizado

Como fonte de alimentação dos LED e dos fotodetectores utilizou-se uma fonte digital modelo PS-5000D (ICEL-GUBINTEC), ver figura 22. Ela é composta de três saídas independentes em um mesmo gabinete. Sendo uma saída fixa de 5V com capacidade até 3A, e duas saídas ajustáveis independentemente até 30V e capacidade até 3A cada uma.

Forneceu-se para o LED uma tensão de alimentação na faixa de 2 a 2,2V e uma intensidade de corrente na faixa de 20 a 40mA. Para os fotodetectores forneceu-se uma tensão de alimentação de 5V.

A fonte apresenta uma exatidão de \pm (0,5% da leitura + 2 dígitos). As condições de utilização são: para temperatura na faixa de 0° a 40°C, a umidade menos que 80% de umidade.



Figura 22- Fonte digital de alimentação PS-5000D -ICEL-GUBINTEC.

Para avaliar o tempo de resposta dos fotodetectores à luz emitida pelo LED, utilizou-se um gerador de funções GV-10, ICEL-GUBINTEC. Ver figura 23. Gerou-se um trem de pulso de onda quadrada de 100Hz, para excitar o LED, que fez o papel de switch para acender e apagar o LED e desta forma mediu-se o tempo de resposta, tempo que demora o fotodetector em responder aos sinais emitidos pelo LED.



Figura 23- Gerador de funções GV-10 - ICEL-GUBINTEC.

O Tempo de resposta foi medido utilizando um osciloscópio HP 54645A, HEWLETT PACKARD. Ver figura 24. A resolução vertical de 8 bits e uma faixa nominal de 1mV/div até 5V/div. A resolução na base de tempo é de 40ps e a faixa nominal de 2ns/div até 50s/div. A exatidão do delta t quando as leituras são feitas no mesmo canal é de ($\pm 0,01\%$ da leitura $\pm 0,2\%$ largura da janela $\pm 40ps$).

As medições foram feitas a $25,1 \pm 0,3^{\circ}C$, nas condições de referência dadas pelo fabricante.

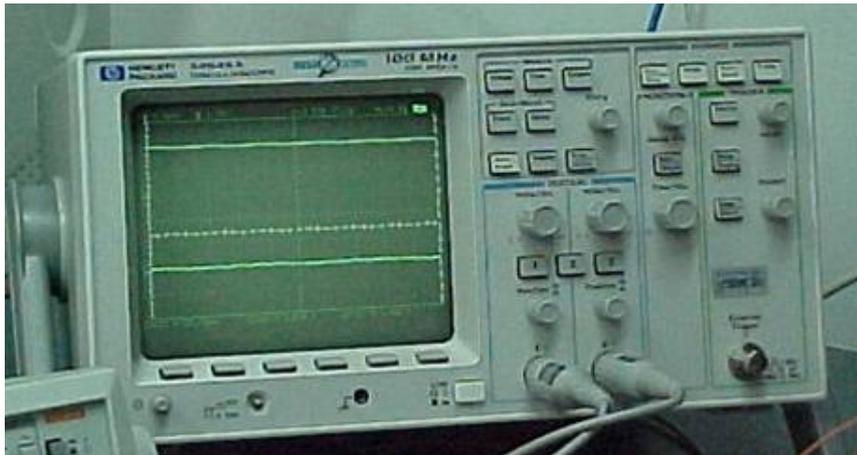


Figura 24- Osciloscópio HP 54645A - HEWLETT PACKARD.

Para medir a temperatura utilizou-se um Termopar K, modelo CL24. OMEGA. Resolução de $0,1^{\circ}C$. Exatidão de $\pm 0,3^{\circ}C$. Ver figura 25.



Figura 25- Termopar K, CL24 – OMEGA.

Para verificar a tensão fornecida pela fonte de alimentação aos LED e aos fotodetectores utilizou-se um Multímetro FLUKE 111.

Para medições da Intensidade de corrente em corrente contínua (DC Amps) apresenta uma faixa nominal de 0,01A até 10A e exatidão de $\pm (1,0\%$ da leitura + 3 dígitos). Para medições de tensão em corrente contínua (DC Volts) apresenta uma faixa nominal de 1mV até 600V e uma exatidão: $\pm (0,7\%$ da leitura + 2 dígitos)



Figura 26- Multímetro FLUKE 111.

5.4. Construção da maquete instrumentada

Construiu-se uma maquete que representa uma zona urbana. Foram instalados na maquete oito Pares E-D, quatro de cada tipo dos Pares E-D 2 e 4 seleccionados anteriormente. Cada LED trabalhou com um fotodetector específico, formando assim novos Pares E-D.

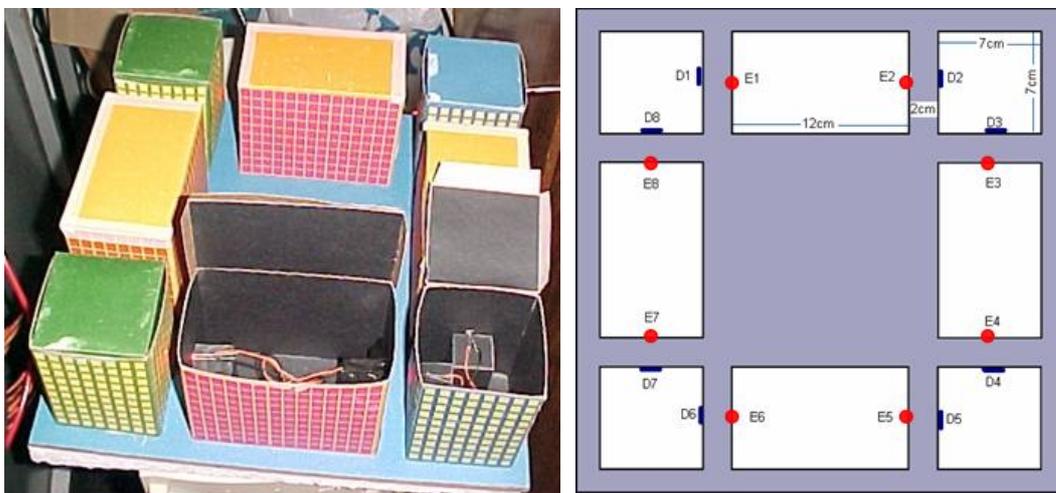


Figura 27- Disposição dos LED e fotodetectores.

Teve-se cuidado na disposição física dos Pares E-D para evitar interferências de luz entre eles e para assegurar que a luz emitida pelo LED incidisse com ângulo adequado sobre o fotodetector, e assim ter um sinal de saída do fotodetector com nível razoável (2V como mínimo).

Para diminuir a maior quantidade de fontes de ruído, a maquete revestiu-se de cor preta por dentro.

Os testes foram feitos em um ambiente completamente escuro para evitar interferências de luz do ambiente e trabalhou-se numa temperatura de 25,1°C.

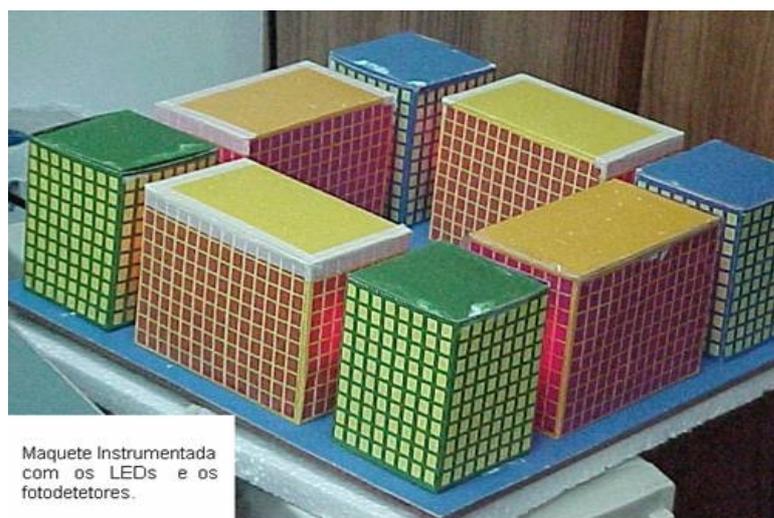


Figura 28- Maquete Instrumentada.

Nos testes iniciais observou-se que a placa Protoboard era uma fonte de ruído considerável, então se trasladou o circuito da placa Protoboard para um circuito impresso. A relação sinal ruído que se obteve foi de 1% do sinal de saída do fotodetector.

5.5. Circuito Eletrônico com os Pares E-D

Para instrumentar a maquete, montou-se um circuito eletrônico com oito Pares E-D em uma placa de circuito impresso, com o propósito de diminuir o nível de ruído. Utilizaram-se quatro pares emissores-detectors do tipo Par E-D2 e quatro do tipo par E-D 4. Utilizaram-se resistências de 1k Ω no circuito dos fotodetectores.

Na figura 29 apresenta-se o circuito eletrônico que foi utilizado para instrumentar a maquete.

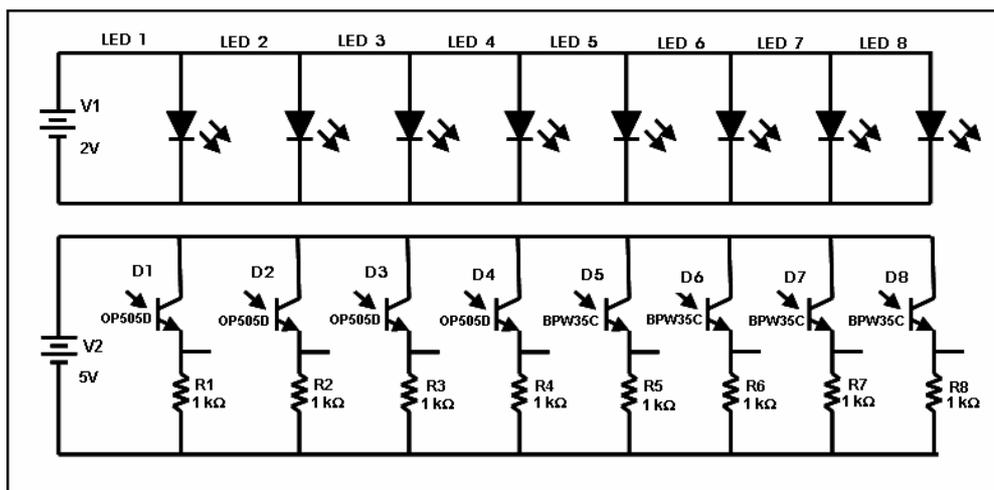


Figura 29- Circuito Eletrônico dos Pares E-D.

5.6.

Desenvolvimento do programa de aquisição de dados.

Desenvolve-se um programa específico no software LabVIEW. O programa foi utilizado para adquirir os sinais emitidos pelos fotodetectores.

Este programa permitiu registrar dados a cada $10\mu\text{s}$ que foram armazenados em uma base de dados para posterior análise. Os sinais emitidos pelo fotodetector foram registrados em Volts pelo LabVIEW e foram conferidos, no momento da aquisição, utilizando o osciloscópio.

Utilizou-se uma placa de aquisição AT-MIO-16E10 da National Instruments, com uma frequência de aquisição de 100kHz. As vantagens da utilização deste software foi a automação das medições e armazenamento dos dados em uma base de dados.

Pode-se observar o painel frontal e o diagrama do programa de aquisição nas figuras 30 e 31. A descrição do programa de aquisição e as instruções de operação encontram-se no apêndice 11.1

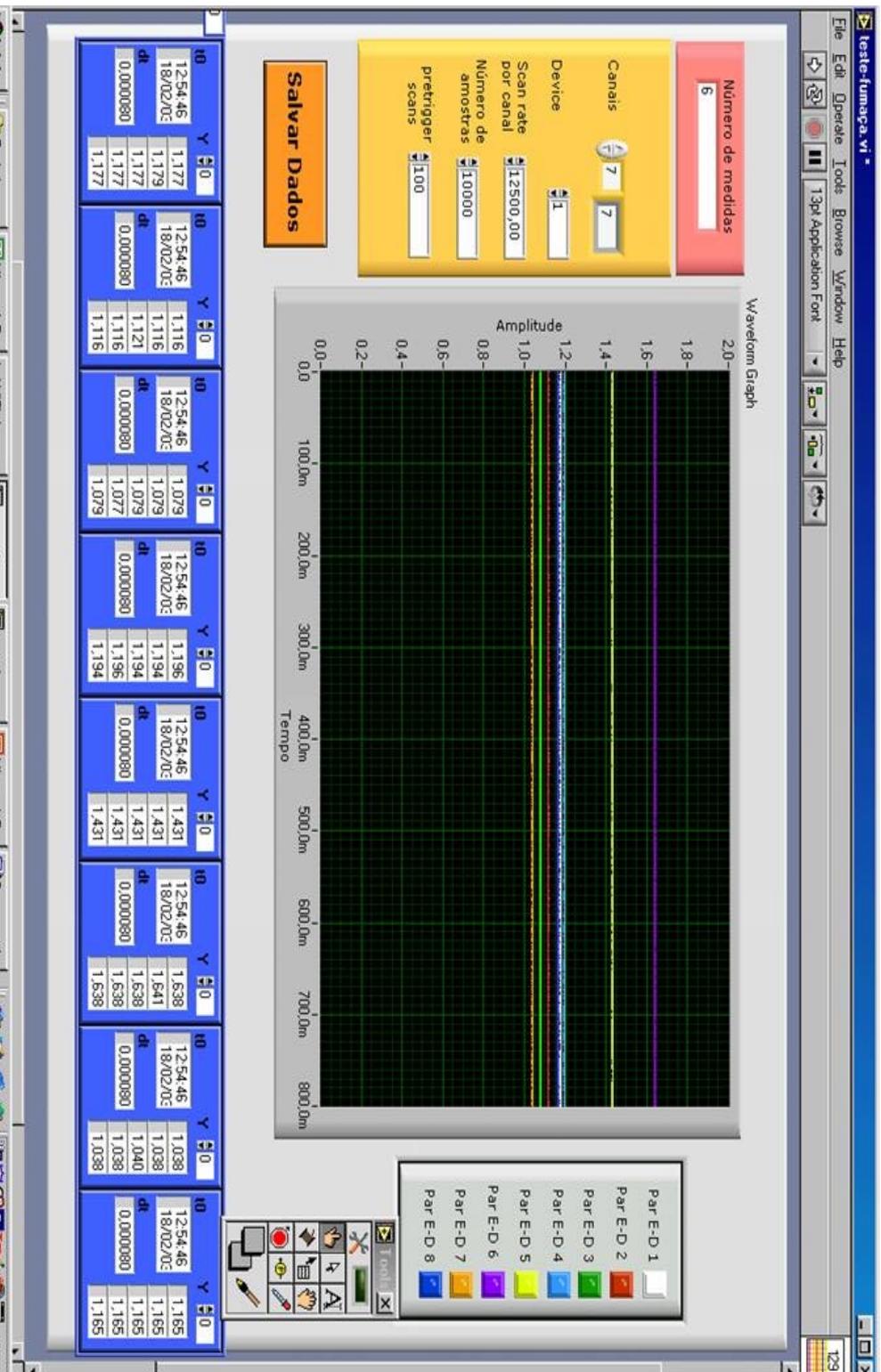


Figura 30- Painel frontal do programa de aquisição no LabVIEW.

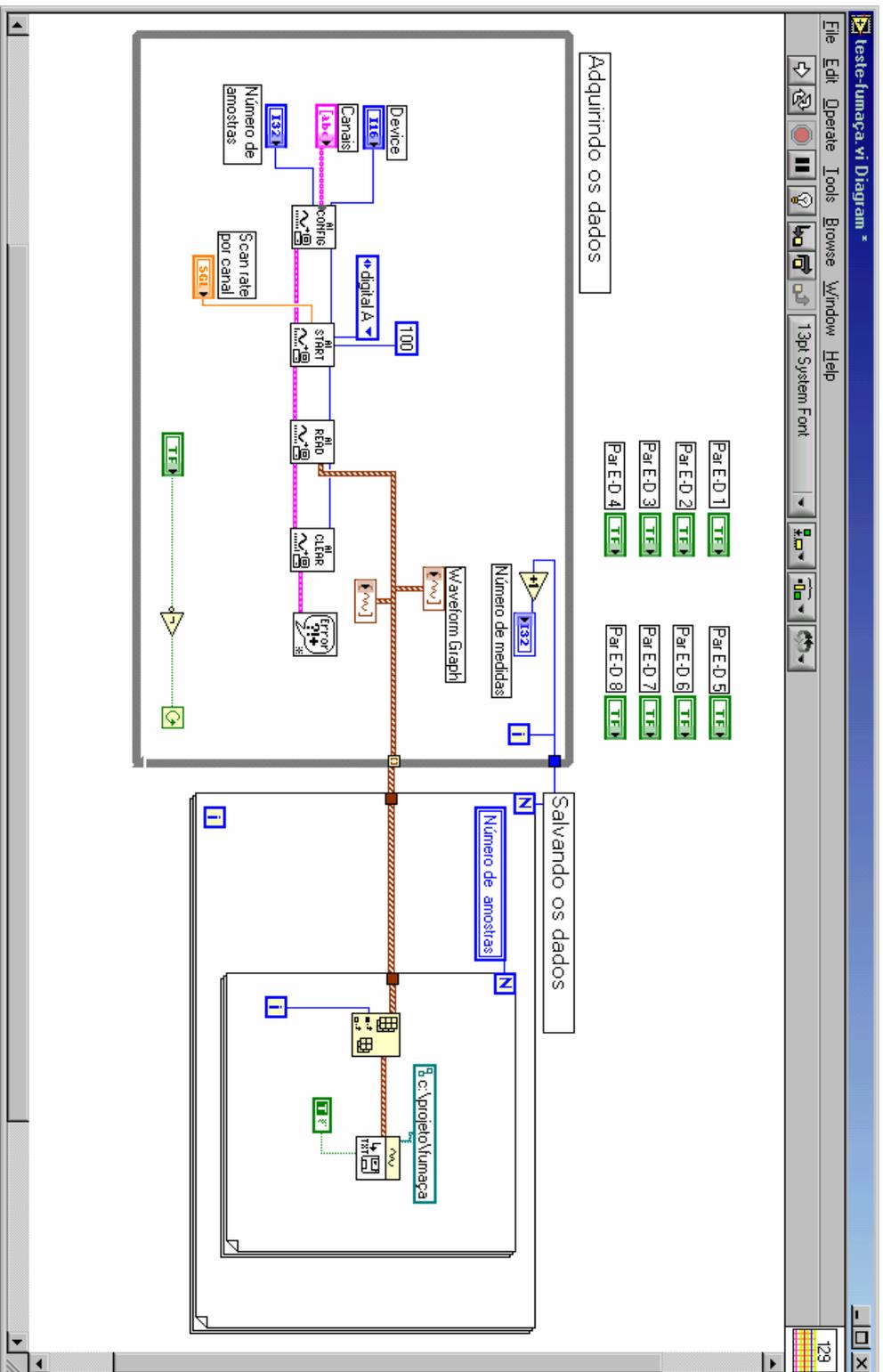


Figura 31 - Diagrama do programa no LabVIEW.

5.7. Simulação de contaminação ambiental

A maquete instrumentada foi submetida a simulações de contaminação ambiental para avaliar o desempenho dos Pares E-D. Gerou-se fumaça com auxílio de uma máquina de fumaça (FOG).

Simulou-se, desta forma, contaminação ambiental utilizando a máquina geradora de fumaça, a qual foi acionada segundo os requerimentos para aquisição dos dados.

Ligou-se o circuito e o software, e jogou-se fumaça sobre a maquete e procedeu-se a adquirir os dados para posterior análise da variação da concentração dos poluentes.