

## 6

### Conclusões

O presente trabalho buscou projetar um modelo de simulação de um sistema de condicionamento do ar de admissão para testes de motores de combustão interna. O modelo possui como componentes principais um trocador de calor por serpentinas de água gelada, uma caixa de aquecimento por resistências elétricas, e um umidificador por injeção de vapor de água. Os sinais de atuação do sistema de controle PID são: a vazão de água gelada através das serpentinas do trocador de calor, a potência elétrica das resistências da caixa de aquecimento e a vazão do vapor de água do umidificador.

Para avaliar o desempenho do modelo foram propostas duas estratégias de sintonização dos parâmetros dos controladores PID. O primeiro esquema de sintonização utiliza a fórmula de Ziegler-Nichols e o segundo aplica técnicas de inteligência computacional com sistemas fuzzy como sintonizador automático. As simulações foram feitas usando dados experimentais das condições do ar de admissão para um motor Diesel testado sob o ciclo de ensaios do 13 modos em estado estacionário.

Os resultados obtidos, tanto no controle da temperatura quanto no controle da umidade relativa do ar de admissão, permitem estabelecer as seguintes conclusões:

- o sistema condicionador com sistema de controle fuzzy supervisório, para o ajuste *on-line* dos parâmetros dos controladores PID, apresentou um melhor desempenho dinâmico, em termos de estabilidade diante variações tanto na vazão quanto nas condições do ar de combustão;
- o melhor desempenho dos controladores fuzzy supervisório PID é devido a que os parâmetros dos controladores PID são modificados continuamente para obter uma resposta estável diante variações externas ao sistema de condicionamento ou alterações na dinâmica do ar associados às condições de temperatura, umidade e vazão de admissão do motor;
- os resultados das simulações permitem avaliar o desempenho das duas estratégias de controle adotadas com respeito ao consumo de energia total dos equipamentos. As curvas do consumo de energia do trocador de calor

e da caixa de aquecimento, Figuras 5.6 e 5.8 respectivamente, apresentam resultados aproximados entre si ao longo do período de simulação, mas a diferença das estratégias de controle está nas condições de trabalho das serpentinas de água gelada do trocador de calor, ver Figura 5.5. No caso do controle fuzzy supervisório, o perfil de temperatura da água gelada na saída das serpentinas apresenta um valor máximo de  $T_{w,s} = 8,5^{\circ}\text{C}$  o que representa uma variação na temperatura da água gelada de  $\Delta T_w = 2,5^{\circ}\text{C}$ , considerando uma temperatura de entrada igual a  $T_{w,e} = 6^{\circ}\text{C}$ . Já o perfil de temperaturas do controle PID de parâmetros fixos mostra um  $\Delta T_w = 6,5^{\circ}\text{C}$ . Portanto, o sistema de controle fuzzy supervisório oferece melhores resultados se o que se busca é um menor  $\Delta T_w$  das serpentinas de água gelada;

- um parâmetro importante para a obtenção de um ótimo desempenho no sistema de controle do condicionador é a temperatura da água gelada na entrada do trocador de calor, a qual deve ser mantida em um valor constante  $T_{w,e} = 6^{\circ}\text{C}$ . Se esta temperatura,  $T_{w,e}$ , apresentar variações oscilatórias, como mostrado na Figura 5.9, o controle tanto da temperatura quanto da umidade relativa do ar de admissão também terão o mesmo comportamento oscilatório.

## 6.1

### Trabalhos futuros

Para dar continuidade ao presente trabalho, sugerem-se as seguintes contribuições e ações futuras:

- as equações dinâmicas e os algoritmos de controle do modelo de simulação desenvolvido neste trabalho podem ser implementados também em código C ou C++, os quais resultariam em arquivos executáveis que serviriam como ferramenta para o dimensionamento dos principais componentes de outros sistemas de condicionamento de ar com diferentes condições de operação, segundo os requerimentos da aplicação desejada;
- na modelagem matemática do presente trabalho pode ser incluída uma análise da perda de carga do ar através do trocador de calor, da caixa de aquecimento e dos dutos do sistema condicionador, para avaliar o desempenho do sistema de controle e demais dispositivos de atuação simulados;
- os resultados obtidos no Capítulo 3, que apresenta a seleção e o dimensionamento do projeto, serão utilizados na construção de um sistema de

condicionamento do ar para a realização de testes em dinamômetros de bancada no Laboratório de Engenharia Veicular da PUC-Rio;

- o sistema de controle recomendado para a implementação e fabricação do projeto é o controle fuzzy supervisório PID, que pode ser implementados em microcontroladores que possuem bibliotecas prontas para a programação dos seus algoritmos. O número de regras fuzzy utilizada neste trabalho foi de 49 para cada sistema fuzzy, mas trabalhos futuros podem sugerir um menor número de regras e, com isto, garantir um menor tempo de processamento do sistema de controle.

Este trabalho é parte de uma nova linha de pesquisa na área de desenvolvimento de novas tecnologias nacionais, que contribui à realização de testes para analisar o desempenho e as emissões de motores de combustão, usando diversos combustíveis, sob condições-padrão de ensaios segundo normas técnicas.