



WTA 2015



LTA - Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas
PCS – Poli - USP

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa



R. M. Marè, M. F. Barros, M. A. Dota, C. E. Cugnasca, B. C. C. Leite
EPUSP

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ AGENDA

- + Contextualização e Motivação
- + Objetivo
- + Árvores de Decisão Adaptativas
- + Materiais e Método
- + Resultados
- + Conclusões

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa



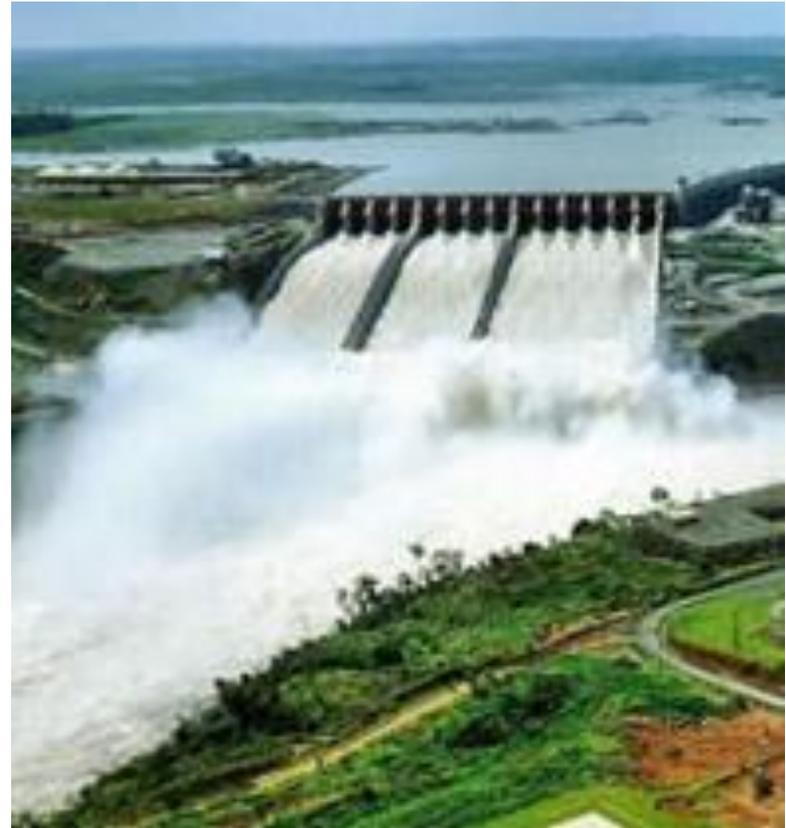
Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ Contextualização e Motivação 1

- + Papel dos sistemas de ar condicionado: filtrar e renovar o ar; climatizar.
- + Operação sustentável de edificações, compatibilizando consumo de energia X qualidade do ambiente interior
- + **Impacto direto nos usuários e valorização:**
 - + Produtividade (qualidade e velocidade das ações), saúde, bem estar...
 - + Parte integrante de sistemas de certificação ambiental (+30%)

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

- + **Contextualização e Motivação 1**
- + Consumo de energia:
 - + Brasil: 50% de toda a energia gerada na operação e manutenção prediais
 - + EUA: 70% AC, aquecimento de água, iluminação
 - + Europa: AC utilização crescente



Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

- + **Contextualização e Motivação 2**
- + Mudanças no edifício ao longo de sua vida útil (uso e ocupação)
- + Tecnologia deve acompanhar, fornecendo suporte para estratégias eficientes de operação
- + **Alternativa:**
- + **Informação contínua + estratégias adaptativas ao contexto**

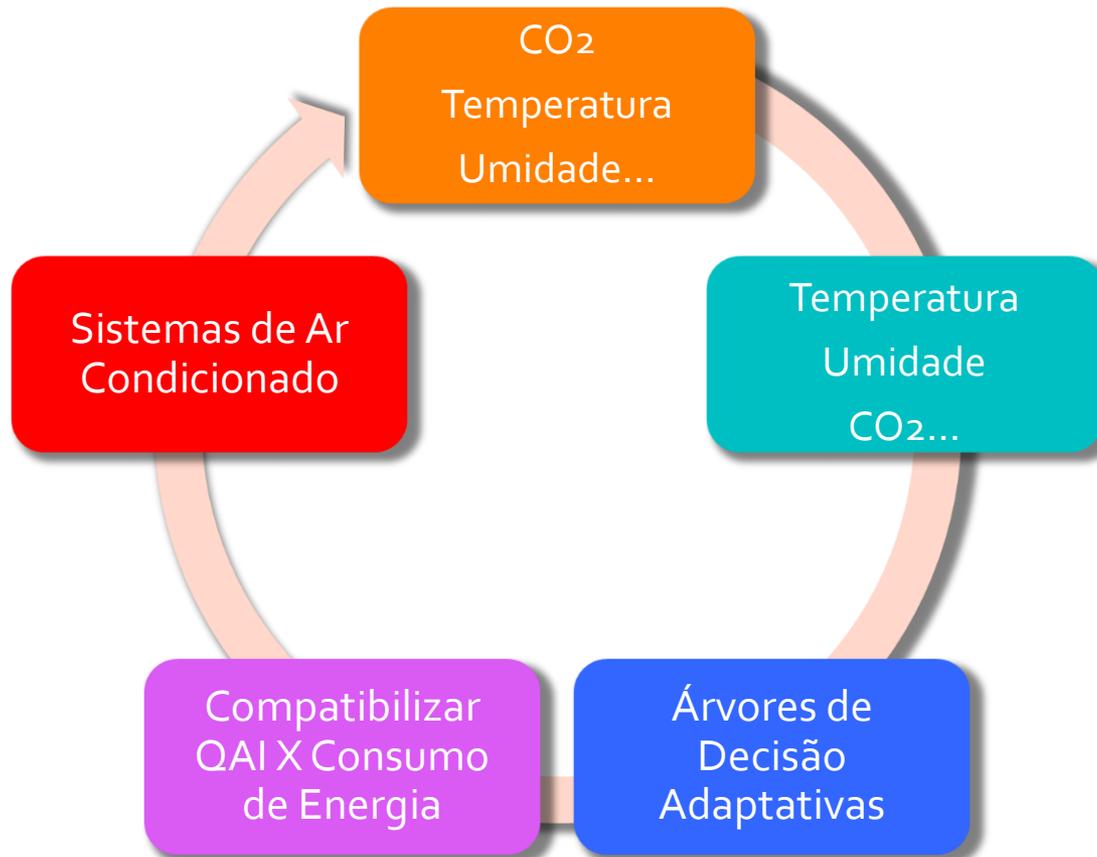


>>

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa



Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa



Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ OBJETIVO

+ Dado que:

- + Sistemas de ar condicionado operam segundo uma estratégia (*loops* de controle).
- + Alterações nos ambientes internos e externo requerem alterações na estratégia.

+ Este trabalho propõe:

- + O uso de tecnologia adaptativa para definir as novas funções de controle ou, especificamente, um novo conjunto de *setpoints* que, neste trabalho, serão qualificados como uma nova classe.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ ÁRVORES DE DECISÃO ADAPTATIVAS ¹

- + A técnica proposta para a criação de um classificador da QAI foi a **Indução por Árvore de Decisão (IAD)**.
- + A IAD tem potencial para diversas aplicações:
 - + diagnóstico de falhas
 - + detecção de eventos
 - + explicação e avaliação de fenômenos ambientais, etc.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ ÁRVORES DE DECISÃO ADAPTATIVAS 2

- + A **Árvore de Decisão (AD)** é um tipo de classificador treinado por seleção iterativa de características individuais mais relevantes em cada nó na árvore.
- + Existem vários métodos heurísticos para a construção de classificadores de AD. Geralmente são construídos de cima para baixo, começando no nó raiz e, sucessivamente, o conjunto vai sendo particionado de acordo com suas características.

>>

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ ÁRVORES DE DECISÃO ADAPTATIVAS 3

- + As **AD** possuem duas fases de trabalho: a aprendizagem e a operação.
- + **Árvores de Decisão Adaptativas (ADA)** são AD que podem executar as duas tarefas na mesma fase.
- + Em se tratando de QAI, diante de uma situação não conforme, a própria árvore se modifica estruturalmente, incorporando novas informações indisponíveis originalmente, sem interromper a operação.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ MATERIAIS E MÉTODO 1



MONITORAR

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ MATERIAIS E MÉTODO 2

- + CO₂, T, UR, consumos de energia, entre outros parâmetros
- + Considerável massa de dados (leituras a cada 30s, desde 2009)
- + Estratégia de controle do sistema de ar condicionado, baseada em 5 loops e inúmeras variáveis (sistema supervisorio).
- + Objetivo: satisfação de ao menos 80% dos usuários em relação ao conforto térmico (normas).

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ MATERIAIS E MÉTODO 3

- + Definiram-se como condições de contorno para este trabalho a **análise do conforto térmico no ambiente** e, dentre as inúmeras variáveis associadas a esta condição, adotou-se como variável adaptativa a **temperatura do ar de insuflamento**.
- + Em relação ao **classificador** para a QAI, consideraram-se como características (atributos para a construção da árvore):
 - + temperatura do ar
 - + teor de CO₂

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ MATERIAIS E MÉTODO 4

- + Sistema de controle proposto: baseado em um Controlador Lógico Programável, que receberá informações tanto dos sensores quanto do **resultado da classificação do ambiente interior**, agindo sobre o sistema de ar condicionado.
- + Sempre que os resultados não forem compatíveis com o conforto esperado pelos ocupantes ou diante de valores críticos, uma nova **ADA** será desenvolvida, gerando novas classificações. Em função destas classes, o controle acionará o conjunto de *setpoints* mais adequados ao novo cenário.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ MATERIAIS E MÉTODO 5

- + A fim de obter-se a classificação, utilizou-se a ferramenta de aprendizado WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis – software livre).
- + Foram realizadas simulações para a montagem da ADA com **3000 dados de 4 condições de uso do ambiente**:
 - + Aula com alunos sentados utilizando computadores;
 - + Pós-aula (alunos em movimentação na sala);
 - + Sala inativa (vazia);
 - + Monitoria (monitor e alguns alunos).
- + Com a árvore montada, foi possível confrontar-se a classificação gerada com os vários tipos de atividade da sala.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ RESULTADOS 1

- + Visando-se avaliar a coerência da classificação, os dados foram submetidos ao **algoritmo Functional Trees** (implementado no WEKA), sendo utilizado o procedimento experimental **cross-validation** (k-fold-cross-validation) com $k = 10$.
- + A amostra foi dividida em 10 partes (sendo 9 para treino e 1 para teste), repetindo-se o procedimento 10 vezes e calculando-se ao final a média das 10 execuções.
- + O arquivo de dados de treino foi utilizado para construir um modelo, enquanto o arquivo de dados de teste foi utilizado para verificar se o modelo construído apresenta e mantém coerência (precisão) com diferentes conjuntos de dados.
- + **Desta forma, garante-se que o modelo será capaz de analisar novos dados e classificá-los de acordo com o conjunto de dados utilizado previamente.**

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ RESULTADOS 2

- + Um resultado interessante da execução foi o valor de **Kappa**. Ele é um índice análogo a um coeficiente de correlação, sendo que:
 - + igual a zero, indica ausência de relação estatística entre as instâncias de uma classe;
 - + próximo a 1, indica uma forte relação.
- + O **Kappa** do teste realizado resultou em **0,9184**, muito próximo a 1, demonstrando uma forte relação estatística entre as diferentes instâncias dentro de uma mesma classe corretamente classificada.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ RESULTADOS 3

- + Outros resultados relevantes foram os relativos às **Instâncias Corretamente Classificadas (ICC)** e às **Instâncias Incorretamente Classificadas (IIC)**.
 - + Onde instância nesse caso é um conjunto de leituras em um determinado intervalo de tempo (sistema de monitoramento).
- + Os valores de **ICC** e **IIC** para o teste realizado foram **94,8%** e **5,2%** respectivamente.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ RESULTADOS 4

- + O ICC resultante indicou coerência da árvore gerada, representando o modelo real.
- + A classificação proposta se mostrou coerente, ou seja, há uma forte relação estatística entre as instâncias dentro da classe.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ CONCLUSÕES 1

- + A proposta deste artigo, de criar uma metodologia para que sistemas de ar condicionado central com insuflamento de ar pelo piso possam se autoconfigurar por meio de técnicas adaptativas, mostra-se promissora e útil ao mercado.
- + A proposta de utilizar ferramentas IAD como única função adaptativa de uma ADA mostrou-se uma solução simples, de fácil implementação e eficaz. Porém, esta solução consome mais recursos computacionais e aumenta o tempo de execução, comparativamente a uma ADA típica.

Operação Sustentável de Sistemas de Ar Condicionado Usando Tecnologia Adaptativa

+ CONCLUSÕES 2

+ Como trabalhos futuros, pretende-se:

- + Analisar as condições ambientais (conforto térmico, qualidade do ar) proporcionadas frente ao consumo de energia correspondente para cada sistema de ar condicionado do estudo de caso.
- + Incluir na estratégia adaptativa de operação faixas de consumo de energia aceitáveis, concomitantes às condições ambientais internas conformes.
- + **Desta forma, espera-se chegar a estratégias de operação efetivamente sustentáveis.**

AGRADECIMENTOS



AGRADECIMENTOS AOS OUVINTES!

**MSc. Eng. Renata Marè
Doutoranda – PCS
renatamare@gmail.com**

